

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, MANAGUA
RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA**



**SEMINARIO DE GRADUACIÓN
PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO GEÓLOGO**

**ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL
NOROESTE DE BOACO (SERIE 3053-II), ESCALA 1:25,000**

Elaborado Por:

- **Br. Olga Larissa Downs Meza.**
- **Br. Bismarck Antonio Altamirano Ramírez.**

Tutor: MSc. Gema Velásquez Espinoza.

Asesor: MSc. Nelson Buitrago.

Managua, Marzo del 2017.

Dedicatoria.

A Dios, por darnos la vida, la sabiduría y el conocimiento para culminar nuestra carrera profesional con grandes éxitos y a nuestra familia que nos brindaron su eterno apoyo y confianza para salir adelante a lo largo de nuestra vida.

Por eso dedicamos este trabajo de graduación a nuestros padres, ya que con todo sus esfuerzos hicieron posible la realización de nuestros estudios universitarios a pesar de todos los obstáculos que se nos presentaron.

A todos y cada uno de nuestros maestros, en especial a quienes colaboraron como miembros del tribunal, quienes sembraron en nuestro día a día sus conocimientos y experiencias.

A nuestros grandes compañeros de universidad quienes sin duda son nuestros hermanos y forman parte indispensable de nuestro aprendizaje.

Agradecimientos.

En primer lugar y muy especial agradecimiento a Dios nuestro señor por darnos la sabiduría y la perseverancia para lograr culminar una etapa más de nuestra vida.

A nuestros padres pilares fundamentales, gracias por darnos la vida, por forjarnos y brindarnos su apoyo infinito, por estar siempre a nuestro lado, por sufrir mil penas y disfrutar de nuestras alegrías y por ofrecernos sus mejores consejos.

A nuestros Hermanos, abuelitos y familiares que estuvieron con nosotros brindándonos su apoyo y consejos.

A nuestra tutora de seminario, MSc. Gema Velázquez, por su tiempo, dedicación y empeño en la revisión y asesoramiento durante todo el desarrollo de la misma, de igual manera un agradecimiento al Ing. Nelson Buitrago, asesor de la misma por su aporte vital en el desarrollo de este.

A nuestra alma Mater, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-UNAN y a los docentes de la Facultad de Ciencias e Ingenierías, por los años invertidos en nuestra formación profesional.

A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron en el proceso de la realización de este trabajo.

Resumen.

El área de estudio se encuentra en la provincia geológica central de Nicaragua, específicamente en la zona Noroeste del departamento de Boaco. El objetivo principal de esta investigación es la actualización de la cartografía geológica del Noroeste del municipio de Boaco, abarcando un área de 130 km² a escala 1:25,000. Para llevar a cabo esta cartografía se realizó trabajo de campo, recopilación de información cualitativa y cuantitativa de la zona y análisis físico – mecánicos de las rocas.

En este estudio se proponen cuatro unidades litológicas que pertenecen al grupo Coyol de edad Terciario y depósitos Cuaternarios las cuales se mencionan a continuación de lo más antiguo a lo más reciente: Unidad de tobas, unidad de andesitas, unidad de dacitas y sedimentos Cuaternarios. Además, se definieron dos sistemas de fallas con orientación Noroeste – Sureste y Noreste – Suroeste, comprobación de falla, lineamientos, calderas, descripción de los indicadores cinemáticos. Cabe mencionar que tomando en cuenta el análisis físico – mecánico de las rocas se proponen los cerros Las Colinas y Cerro Largo lugares óptimos para la extracción de materiales para la construcción ya que cumplen con las normas de la construcción de Nicaragua.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
i. Antecedentes	2
ii. Justificación.....	3
iii. Planteamiento del problema.....	4
iv. Objetivos	5
v. Hipótesis	5
CAPITULO I. CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO	6
1.1. Ubicación y acceso del área de estudio.....	6
a. Vías de acceso.....	6
1.2. Fisiografía	8
1.3. Clima.....	12
1.4. Flora y Fauna	12
1.5. Hidrología.....	12
CAPITULO 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO	15
2.1. Trabajo de gabinete.....	15
2.2. Trabajo de campo.....	16
2.3. Materiales.....	17
2.4. Análisis y procesamiento de los datos	17
2.5. Elaboración de informe final	17
CAPITULO 3. TECTÓNICA DE CENTROAMÉRICA Y NICARAGUA.....	18
3.1. Tectónica de Centroamérica y Nicaragua	18
3.2. Geología regional de Nicaragua.....	21
a. Provincia geológica de las planicies de la Costa del Pacífico.....	22
b. Provincia geológica de la depresión de Nicaragua.....	22
c. Provincia geológica del Norte	22
d. Provincia de los llanos de la Costa Atlántica	23
e. Provincia geológica Central de Nicaragua.....	23

CAPITULO 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	26
4.1. Geología local	26
a. Unidad de Tobas (Tpci)	27
b. Unidad de andesitas Coyol Superior (Tpca).....	33
c. Unidad de Dacitas (Tmcd).....	35
d. Unidad Cuaternario aluvial (Qal).	36
4.2. Geología Estructural	40
a. Sistema de Fallas NW-SE	40
b. Sistema de Fallas NE-SW	43
4.3. Geología Económica.....	47
a. Localización.....	47
b. Criterios de selección de bancos de materiales.	49
c. Criterios económicos	49
d. Pruebas realizadas en el laboratorio	50
e. Análisis de los resultados.	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
a. Conclusiones	56
b. Recomendaciones.....	56
ANEXOS	61

INTRODUCCIÓN

La Cartografía Geológica es una herramienta útil para mostrar la distribución y extensión de las unidades geológicas y sus características. Esta información permite interpretar la historia geológica de un área establecida por el investigador y que se representa en un mapa a determinada escala, en representación al detalle que se quiera mostrar.

En este trabajo investigativo se plantea como objetivo específico la actualización de la cartografía geológica a escala 1:25,000 de la hoja topográfica de Boaco 3053 II, a partir de la realización de los objetivos generales que incluyeron: definición de las unidades litológicas; caracterización de la geología estructural del área, propuesta de bancos de materiales no metálicos con fines de explotación y la realización de análisis geotécnicos de los diversos bancos de materiales.

Como resultado de las observaciones de campo que se realizaron en el área de estudio se confecciono el mapa geológico de Boaco a escala 1:25,000. En el cual se expresa la información obtenida de las diferentes unidades y contactos geológicos las cuales se destacan unidades del grupo Coyol superior e inferior, estructuras de falla, fracturas describiendo las diferentes fases de deformación presentes y diques (Anexo N°1).

Se describe la columna geológica del mapa, la cual la disposición de las capas de las unidades geológicas presentes en el área son cuatro con los respectivos espesores desde lo reciente hasta lo más antiguo. También se realizó un perfil de dirección Oeste - Este describiendo el comportamiento de las capas en función a las estructuras geológicas.

El presente informe cuenta con cuatro capítulos, el primer capítulo es la caracterización geográfica del área, ubicación, vías de acceso, clima, hidrología y flora, para poder entender el contexto geográfico del área. El segundo capítulo incluye la metodología del trabajo en el cual se describen los pasos de cómo se realizó la etapa preliminar, como la recopilación de información, trabajo de campo

y el análisis de datos. En el tercer capítulo se describe la tectónica de Centro América y la geología regional, Hodgson, G. 1976, divide a Nicaragua en cinco provincias geológicas diferenciadas por su morfología, perteneciendo el área de estudio a la provincia central.

El cuarto capítulo se centra en el marco geológico local del área, donde se delimitaron y caracterizaron las unidades litológicas, la caracterización estructural de la zona de estudio, delimitando las diferentes fases de deformación por medio de fotointerpretación y verificaciones de las fallas en campo; el estudio presenta dos fases de deformación la más antigua la fase Noroeste-Sureste la cual se presenta en toda el área, la segunda fase que tiene un dirección Noreste-Suroeste que se encuentra emplazada y cortando a las fallas Noroeste-Sureste esta última es la más joven; también se realizaron estudios geotécnicos a los diferentes afloramientos, caracterizando así los mejores prospectos para su aprovechamiento en el ámbito industrial.

i. Antecedentes

Buitrago, N., (2005), realizó una evaluación del potencial hídrico del entorno de la ciudad de Boaco. Buitrago concluye que en la zona noreste de Boaco la prevalencia de acuíferos se debe a la presencia de ojos de agua de enserados por arcilla.

Garayar J., (1971): Elaboró un estudio sobre la geología y los depósitos minerales de la región de Chontales y Boaco, realizó una descripción de las unidades litológicas y mineralógicas de las formaciones del grupo Coyal. También define dos sistemas de falla con orientación Noroeste - Sureste y Noreste - Suroeste, de los cuales sólo calculó un desplazamiento de 10 a 200 m en el sistema con dirección Noreste - Suroeste. De igual manera hace mención que los centros de emisión de las rocas basálticas son de dos tipos: calderas de colapso y otros que son cráteres, que aún conservan una forma cónica erosionada. Como parte del estudio de dicho autor confeccionó el mapa geológico del área de Boaco.

Hodgson G. Ferrey C. Garayar J., 1971, en Hodgson, G., (2000): Estos autores le dieron un nombre al tercer grupo propuesto por McBirney & Williams en 1965; indicando una subdivisión de este grupo en dos subgrupo: Grupo Coyol Superior y grupo Coyol Inferior. El primero se caracteriza por las siguientes unidades litológicas lava y aglomerado Superior, toba e ignimbrita-riolítica, basalto, andesita y aglomerado; y por último el grupo Coyol Inferior con una litología constituida por tobas, ignimbritas, dacitas y andesitas.

Hodsgon G. (1984), realizo un estudio donde abarco el Municipio de Boaco, Muy Muy y Santa Lucia y determino que las fallas que afectan estos cuadrantes tienen una orientación Noreste - Suroeste. Cabe mencionar que la geología del área de Muy Muy, estas estructuras no son representativas.

De acuerdo con la geología realizada por el autor señala la existencia de unidades de basaltos, riolita y depósitos Cuaternarios en la parte Oeste de la hoja topográfica de Boaco 3053 II.

Es preciso señalar que todas las fallas afectan solamente a rocas del Terciario, por lo que se puede concluir que las fallas son antiguas y no son activas; esto lo corrobora el hecho de que los registros de epicentros de la actividad sísmica reportados en los últimos años, son pocos los que abarcan la zona de estudio.

ii. Justificación

Debido a la situación actual que vive el país, por el crecimiento urbano que se encuentra en desarrollo, se buscan nuevas fuentes de obtención de materiales para elaboración y revestimiento de caminos y carreteras.

De lo expuesto anteriormente, el presente trabajo permitirá conocer la geología del Noroeste de Boaco, identificando y caracterizando a mayor detalle la cartografía geológica y su dinámica estructural, lo que proporciona información más completa, sumando a esto la propuesta de prospectos de bancos de préstamo o bancos de materiales para sus diferentes usos ingenieriles.

Con los resultados de este estudio se contribuye al conocimiento geológico de Nicaragua y forma parte fundamental para futuras investigaciones, tanto en el área de cartografía y el área de prospección de recursos minerales no metálicos, lo que es de importancia para el crecimiento y desarrollo de la nación.

Cabe mencionar que la cartografía del área de estudio se elabora en 1978 y tiene una veracidad “C” (está solo foto interpretada) y está realizada a una escala 1:50,000. Tomando en cuenta lo antes mencionado, el presente trabajo permitirá conocer la geología del Noroeste de Boaco identificando y caracterizando a escala 1:25,000 las condiciones geológicas que se encuentra en el área (130 km²).

Finalmente cabe destacar que por lo general no todas las zonas en Nicaragua cuentan con información geológica a escala 1:25,000, el trabajo hecho en esta investigación es un aporte a la geología del área de Boaco, lo cual también se pone a la disposición de investigaciones futuras.

iii. Planteamiento del problema

El conocimiento geológico de una región es un factor muy importante porque nos permite comprender la dinámica de la tierra, lo que es fundamental para la determinación de los recursos naturales y sus diferentes aplicaciones. En este trabajo se propone realizar una actualización de la cartografía geológica del Noroeste de Boaco para conocer las condiciones geológicas y de esta manera proponer bancos de materiales para la construcción.

Cabe mencionar que la cartografía del área de estudio se elabora en 1978 y tiene una veracidad “C” (esta solo foto interpretado) y está actualmente realizada a una escala 1:50,000. En el área de estudio existe una amplia red de caminos primarios de todo tiempo en buenas condiciones, que permiten una ágil y eficiente comunicación con las principales comarcas del municipio. Sin embargo, los caminos rurales secundarios presentan serias limitaciones de accesibilidad, principalmente por la topografía del terreno. Los caminos y carreteras son los medios de mayor importancia para el desarrollo de una ciudad.

iv. Objetivos

❖ Objetivo general

Actualizar la cartografía geológica del Noroeste de la hoja topográfica de Boaco, serie 3053-II a escala 1:25,000

❖ Objetivos específicos

- Definir las unidades litológicas del Noroeste de Boaco.
- Caracterizar la geología estructural del área de estudio.
- Proponer bancos de materiales no metálicos para fines de explotación.
- Realizar análisis físicos y mecánicos de los diversos bancos de materiales o banco de préstamo.

v. Hipótesis

El área de estudio cuenta con 130 Km² correspondiente al Noroeste de la hoja topográfica de Boaco a escala 1:50,000. La litología del área comprende rocas volcánicas como: andesitas, dacitas, tobas, y flujos piroclásticos. Las andesitas y las tobas son las rocas que más abundan en el sitio, estas rocas son usadas en el mundo de la industria para la construcción ya que tiene un mercado amplio y estos pueden ser utilizados como áridos. Tomando en cuenta esto, se podría proponer que las rocas volcánicas presentes en el área de estudio son aptas para uso industrial.

CAPITULO I. CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

1.1. Ubicación y acceso del área de estudio

El área de estudio se encuentra al Noroeste del Municipio de Boaco cuenta con 130 Km², limita al Norte con Santa Lucia, al Sur con Tecolostote, al Este con Villa Revolución y al Oeste con Teustepe (INEC, 2003), (Figura N^o1 y tabla N^o1).

a. Vías de acceso

La principal vía de acceso al municipio la constituye la carretera asfaltada que une a Boaco con la carretera al Rama y la Panamericana. Además, existe una carretera asfaltada que comunica a Boaco con Matiguás y río Blanco, que a su vez forma parte de un sistema de comunicación con la región Costa Caribe Norte. Actualmente se está construyendo la carretera asfaltada que comunica a Boaco con el municipio de San Lorenzo (MTI, 2005).

Tabla N^o 1. Vértices de las coordenadas del área de estudio.

Eje	Coordenadas Este	Coordenadas Norte
1	635835	1382081
2	649989	1382171
3	650000	1373000
4	635871	1373000

Actualización de la cartografía geológica del Noroeste de Boaco (serie 3053-II), escala 1:25,000

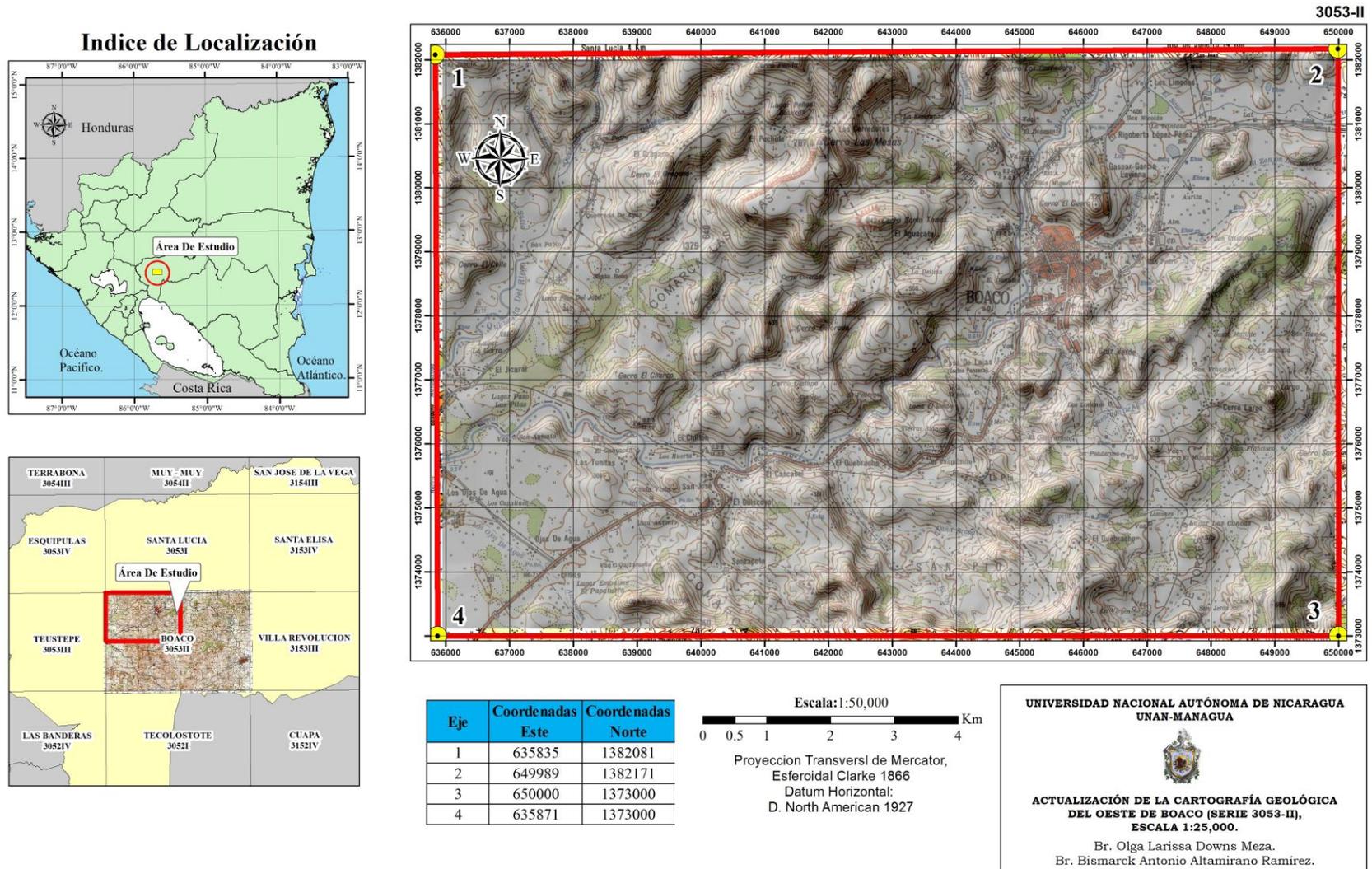


Figura N^o1. Localización y vías de acceso del área de estudio (INETER, 1987).

1.2. Fisiografía

Tomando en cuenta las características morfométricas del área de estudio se dividió en 3 zonas fisiográficas: 1. zona de relieve plano a ondulado, 2. Zona de relieve de mesa, 3. Zona de relieve de montaña. En la zona Suroeste se observan pequeños cerros erosionados, algunos en formas dómicas de suaves pendientes, que oscilan entre los 200 – 300 msnm, la zona se presenta atravesada por los principales ríos y Quebradas tales como: Quebrada del Riego, Boaco (Fonseca), Quebrada Honda, Quebrada de Agua y río de Luna (Zaguatepe), (plan Ambiental de Nicaragua-consolidado Boaco).

Se realizó un mapa de elevaciones tomando en cuenta las curvas de nivel cada 10 m, las cuales se trazaron de las curvas cada 20 m del mapa topográfico base escala 1:50,000. En este mapa de elevaciones de la Hoja Topográfica de Boaco a Escala 1: 25,000, se puede apreciar las zonas de diferentes tipos de elevaciones, las alturas mayores oscilan entre 522 metros a 707.4 msnm.

Como resultado de la digitalización del mapa de elevación realizado por el programa ArcGis 10.2. Se ha dividido en 3 Zona geomorfológicas.

- Zona de Relieve plano y ondulado (1).
- Zonas de Relieves de mesa (2).
- Zona de Relieves de montañas (3).

Zonas de relieve plano y ondulado (1)

Zona ubicada en la porción Suroeste del área, donde se presenta un terreno plano y ondulado, en la que es característico y muy particular de esta zona observar pequeños cerros muy erosionados, algunos en formas dómicas de suaves pendientes y otros de crestas elongadas, que oscilan entre los 190 – 250 msnm (Foto N⁰¹).

Esta pequeña área de terreno plano aluvial está cubierta por material reciente (aluvial), su origen debido a los procesos de erosión, meteorización, transporte y depositación, siendo arrastrados los materiales desde las partes más altas y luego depositadas en las orillas del pueblo y sus alrededores.



Foto N⁰¹. Zona del relieve plano y ondulado, predominan pendientes de 3-6 grados. Coordenadas: N643500 – E1379389.

Zonas de relieve de mesa (2)

Esta zona se extiende en la parte Noreste del área de estudio, donde se observan cerros con crestas elongadas y de pendientes suaves a moderadas las cuales oscilan de 20 a 40 grados, este relieve está constituido por rocas volcánicas (tobas), las cuales están alineadas con rumbos preferenciales Noroeste - Sureste, las cotas de elevación en esta zona varían entre los 450 – 550 msnm.

Se observa el cerro el Charco que presenta una pendiente de 37 grados y cerro Las Mesas con una pendiente casi vertical, la pendiente de estos cerros oscilan entre los 45 y 65 grados, (Foto N^o2).

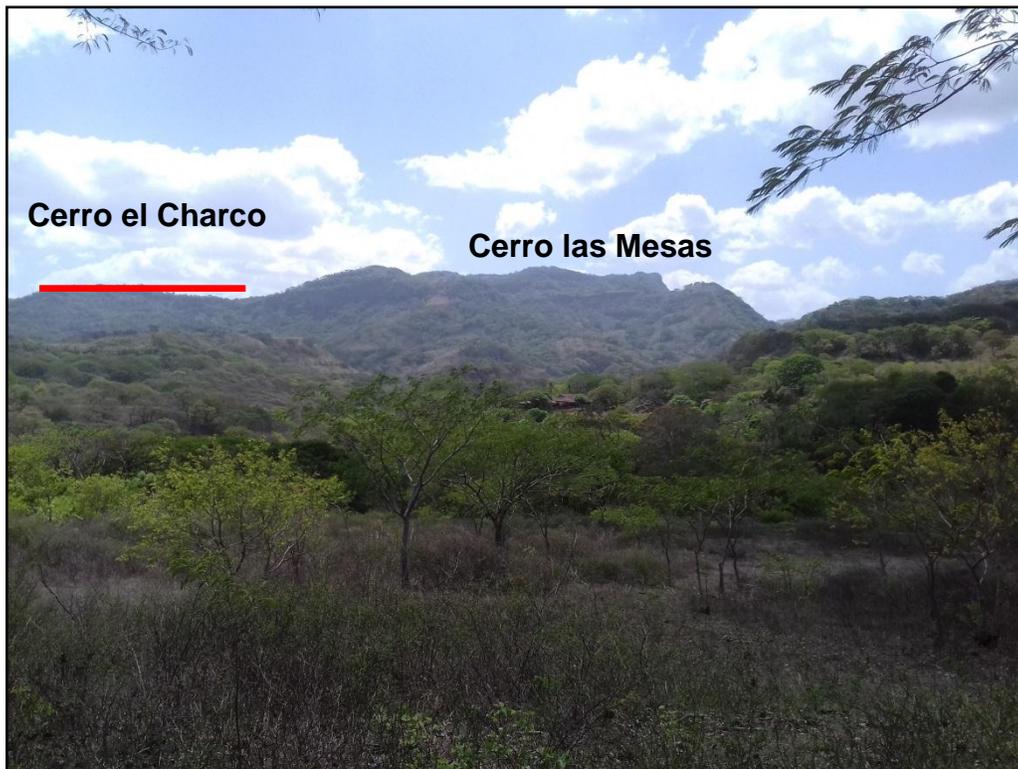


Foto N^o2. Camino a Sonzapote, Coordenadas N647261 – E1375592.

Zona de relieve de montañas (3)

Esta unidad de terrenos montañosos se encuentra en la parte Noroeste y central de la hoja topográfica, está caracterizado por presentar una litología de rocas volcánicas de tipo andesita. Esta unidad se caracteriza por ser la que presenta mayor elevaciones, las cuales oscilan entre 600-700 msnm, presentan pendientes abruptas y escarpadas casi verticales, la pendiente mayor a los 35 grados, tales como cerro Las Mesas (707.2 msnm), cerro Santo Tomas (642 msnm), cerro Largo (695 msnm) (Foto N°3).



Foto N°3. Zona de relieve montañoso. Camino a Las Canoas. Coordenadas N647261 – E1375592.

1.3. Clima

Boaco posee un clima variado, que va desde trópico húmedo de sabana de vegetación, a bosque tropical de selva, llegando a tener temperaturas entre 27°C y 30°C en época de verano, logrando alcanzar una temperatura mínima de 18°C (Caracterización Municipal de Boaco - Biblioteca Virtual ENACAL).

Las precipitaciones son bajas e irregulares (800 a 1,200 mm/año.), con períodos caniculares prolongados > 40 días (INETER – INYPSA, 2003).

1.4. Flora y Fauna

Existe gran variedad de animales, prevaleciendo los siguientes: cusucos, guardatinajas, garrobos, tigrillos, chocoyos, urracas, conejos, zanates, gallinas de monte, ardillas, güises, chachalacas y variedad de reptiles.

La vegetación de la zona se caracteriza por un bosque húmedo tropical con transición a muy húmedo; entre las variedades más importantes tenemos: laurel, quebracho, madroños, jiñocujos, guanacastes, malinches, chilamates, cedro, aguacates, sacuanjoches y gran variedad de plantas medicinales (Caracterización del municipio de Boaco-INIFOM-AMUNIC-FISE, 1997).

1.5. Hidrología

El área de estudio se encuentra dentro de la cuenca N⁰55 y la cuenca N⁰69. La cuenca N⁰55 tiene como nombre cuenca río grande de Matagalpa esta tiene su mayor predominio en rocas del grupo Matagalpa el cual es superficial en el área de estudio, posee un drenaje dendrítico el cual tiene su mayor ramificación en rocas del grupo Matagalpa de diferente composición y textura ignimbríticas, lavas andesíticas y tobas. El grupo Coyol también tiene presencia dentro de esta cuenca, que es representativa en el área de estudio, presenta una litología similar al grupo Matagalpa de rocas tipo volcánicas (Figura N⁰2)

La cuenca N^o 69 tiene como nombre cuenca de río San Juan, el tipo de drenaje de esta cuenca es un drenaje dendrítico, la edad de las rocas presentes en esta cuenca oscilan del mioceno al oligoceno, y la formaciones geológica presentes en el área son el grupo Coyol inferior y el grupo Matagalpa. Se puede encontrar tanto acumulaciones sedimentarias del Cretácico como del Cuaternario reciente, deposiciones volcánicas del Terciario y las que continúan a partir de las erupciones de las estructuras de la cordillera de los Marrabios.

El río Fonseca que bordea la ciudad de Boaco por sus rumbos Norte y Oeste, dan forman El Salto, pequeña catarata de 17 metros de altura y 6 metros aproximadamente de profundidad, se encuentra sobre una formación rocosa, (Caracterización Municipal de Boaco - Biblioteca Virtual ENACAL).

Este drenaje se caracteriza por presentarse en zona de rocas volcánicas alteradas, geomorfológicamente en zonas de pendiente moderadas y de laderas suaves. La zona de Boaco presenta un déficit de agua ya sea superficial como subterránea, debido al crecimiento desmesurado de la población y factores geológicos, estructurales y climáticos.

El orden de corriente es una clasificación que refleja el grado de ramificación o bifurcación dentro de una cuenca. El drenaje está conformado por ríos principales, los que contienen pequeños ríos y quebradas que verte sus aguas sobre éstos, los que se orientan a desembocar al mar, en el caso de las cuencas exorreicas. Se elaboró un mapa de orden de corriente para representar la densidad de corriente el cual se obtuvo con el programa ArcGis 10.2. (Figura N^o3).

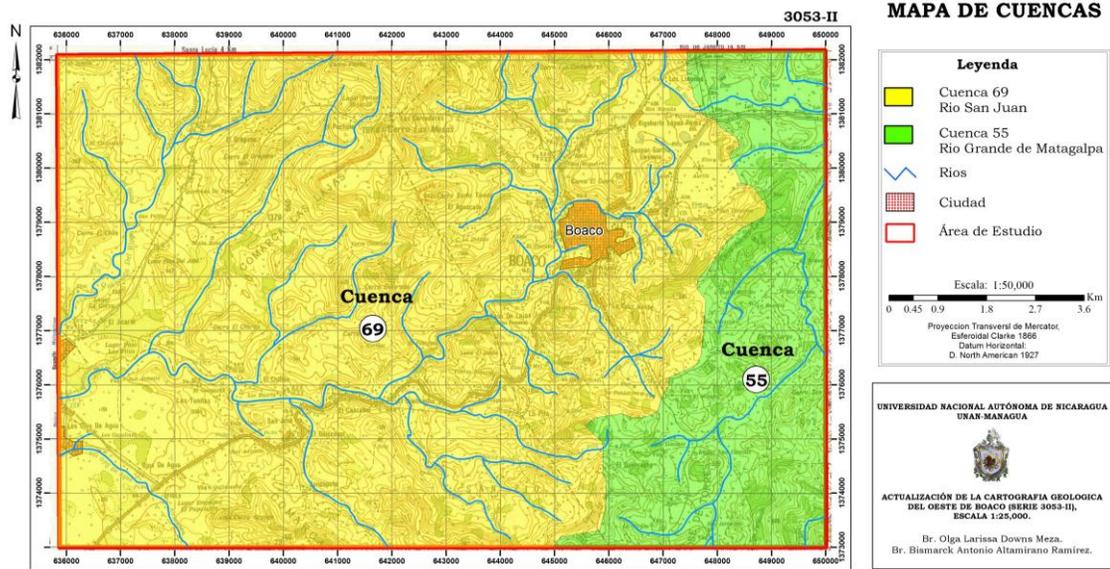


Figura N^o2. Mapa de cuenca del área de estudio.

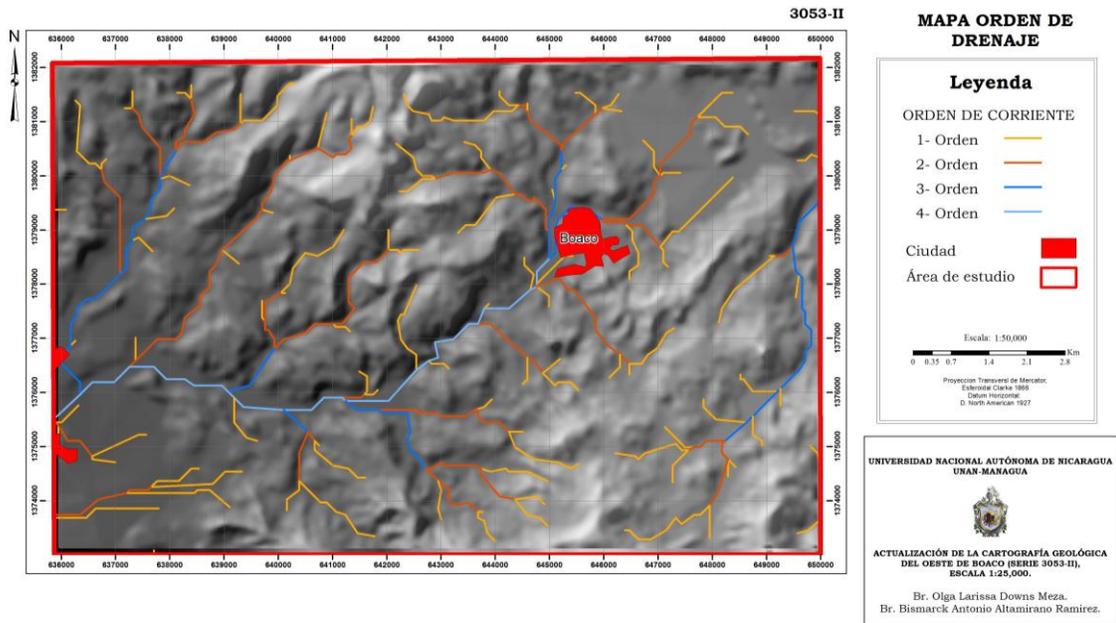


Figura N^o3. Mapa de orden de drenaje.

CAPITULO 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El presente trabajo se desarrolló en tres etapas fundamentales. A continuación el detalle de las labores realizadas:

2.1. Trabajo de gabinete

Para obtener un conocimiento general de la geología y geografía, se realizó una descripción técnica de fuentes primarias y fuentes secundarias: Fuentes primarias recopilación y análisis de informes técnicos, Fuentes secundarias: estudios de las zonas aledañas y boletines geológicos, así como la obtención de material geológico, perfiles o cortes, columnas estratigráficas y análisis petrográficos y químicos (referencias en bibliografía), mapas topográficos, fotografías aéreas (INETER, 1964), imágenes Landsat, lo cual sirvió de base y orientación para la realización de los diferentes reconocimientos que se necesitarían realizar en el campo, confirmando datos y aclarando dudas encontradas en la fotointerpretación.

Durante esta primera etapa se realizó un mapa geológico preliminar que se obtuvo mediante la interpretación de 20 fotografías aéreas escala 1:32,000, con la línea de vuelo:

- 1) línea 47-1(LS).
- 2) línea 48-1 (LS).
- 3) línea 48-1(RS).
- 4) línea 50-1.

Usando como base los mapas topográficos (Santa Lucia, Teustepe y Boaco). Emitidos por INETER en 1987 a una escala de 1:50,000, elaborando un mosaico para ver el comportamiento de las curvas de nivel y tener una mejor visualización del relieve del área de estudio.

La información extraída durante la interpretación de las fotografías aéreas fue:

- Delimitación de contactos litológicos.
- Interpretación de estructuras circulares y lineales entre ellas diques, lineamientos, probables fallas y fracturas.
- Elaboración preliminar geológica del mapa actualizado de Boaco, sirviendo como base para el trabajo de campo.

Se digitalizaron las curvas de nivel del mapa topográfico a escala 1:50,000, para así obtener el mapa digital a escala 1: 25,000, las cuales están representadas cada 20 m, realizando un DEM (Modelo Digital de Elevación), el cual sirvió para extraer el contorno y confeccionar un modelo de relieve con intervalos cada 10 m, identificando así la morfología y contactos geológicos entre las diferentes formaciones y estructuras geológicas, lo cual se realizó mediante el uso de software ArcGis V. 10.2.

2.2. Trabajo de campo

Inicialmente se realizó una gira para el reconocimiento general del sitio en el mes de abril, del 2016. Para observar previamente la geomorfología, litología, estructuras geológicas del área.

En la segunda fase se efectuó la localización y caracterización geológica de los principales afloramiento in situ con sus respectivas descripciones litológicas macroscópica. Todas las observaciones y datos geológicos fueron marcados en el mapa topográfico preliminar logrando confeccionar un mapa de afloramientos o puntos de muestreo (Anexo N^o3).

Así mismo se analizaron cada una de las muestras obtenidas macroscópicamente para conocer su granulometría, la forma de los minerales, tamaño y tipo de clastos, grado de alteración, fracturamiento, para posteriormente tener una mejor idea de las unidades litológicas, seleccionando las muestras más representativas de los afloramientos que se mandaran a laboratorio para realizar pruebas de presión, Gravedad específica, Absorción, prueba de desgaste con máquina de los

Ángeles, Resistencia a la compresión simple para comprobar si cumplen con los requerimientos necesarios a ser empleados en el ramo de la construcción y proponer los posibles bancos de materiales.

2.3. Materiales

Los instrumentos utilizados para campo fueron: piqueta, lupa, brújula, GPS, bolsas para muestra, lápices, libreta de campo, ácido clorhídrico (10 %), cinta métrica, lápices de colores, mapa topográfico y geológico Esc. 1:50,000, fotografía aérea Esc. 1:32,000, estereoscopio de mesa etc.

2.4. Análisis y procesamiento de los datos

Una vez terminada la etapa de campo se procedió a analizar todos los datos obtenidos tanto en campo como en la etapa de gabinete y se digitalizó la información recopilada en campo, con el software ArcGis 10.2, como base para la elaboración de los mapas propuestos de forma digital.

En campo se confirmaron las posibles estructuras y fallas que fueron observados mediante la fotointerpretación, se recopilaron datos de rumbo y buzamiento que posteriormente fueron analizados para realizar una roseta de fractura y ver el máximo y mínimo esfuerzo.

Por último se procederá a confeccionar el informe final.

2.5. Elaboración de informe final

Al mismo tiempo se procedió a la redacción de un informe final, concluyendo con todas las descripciones de interés comprobadas en el campo; el documento presenta, mapas, perfiles y columna a nivel de semi-detalle que se propusieron como objetivos y que no existían en el área.

CAPITULO 3. TECTÓNICA DE CENTROAMÉRICA Y NICARAGUA

3.1. Tectónica de Centroamérica y Nicaragua

La tectónica de Centroamérica está situada entre las placas de Norte América y Sur América e involucrada en el movimiento cortical de la placa Cocos, la placa Nazca y la placa del Caribe, en donde la interacción con estas placas provoca una geodinámica compleja que caracteriza la región (Frischbutter, 2001), (Figura N⁰⁴).

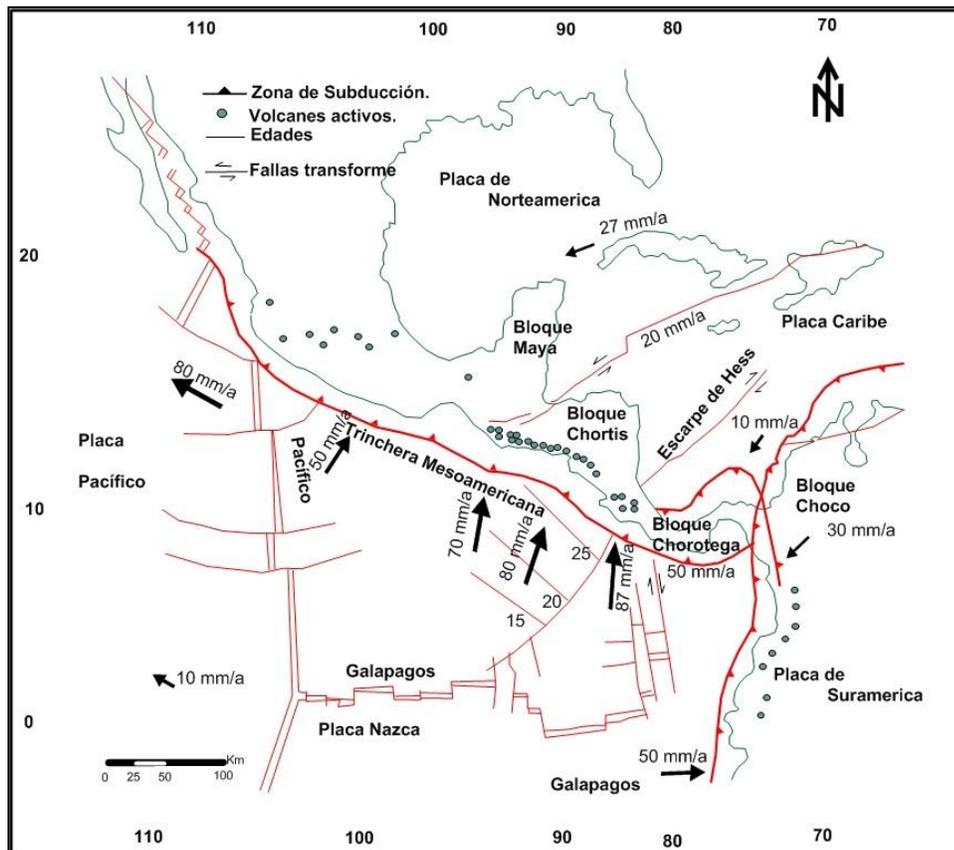


Figura N⁰⁴. Bosquejo de la configuración tectónica regional de Centroamérica (Re-dibujado de Frischbutter, 2001).

Dengo, 1985, Centroamérica en la cual forma parte Nicaragua, se encuentra en el límite Oeste de la Placa Caribe, el cual se desarrolló en el Neógeno debido a la convergencia con la Placa Cocos. La velocidad de convergencia es de aproximadamente 8 cm/año. Los focos asociados con el mecanismo de subducción definen un buzamiento hacia el Noreste de la Zona de Benioff que se

extiende a profundidades mayores de 200 km bajo América Central. Dicho mecanismo de subducción es el que formó la estructura que conocemos como Fosa Mesoamericana (Dengo & Case, 1990).

Dengo (1973,1990) y Venable (1994), plantean que la composición del basamento, de Centroamérica se encuentra dividida en tres grandes bloques estructurales y un micro bloque que a continuación se describen:

Bloque Maya: de naturaleza continental, constituye la parte Norte de Guatemala y Sur de México, posee un espesor entre los 20 y 25 Km hacia el Norte (Dengo 1973 y 1990).

Bloque Chortis: predomina en la mayor parte de los países Centroamericanos, Guatemala, Honduras, el Salvador y la parte Norte de Nicaragua, constituido por una corteza de tipo continental (Donnelly, 1990).

Bloque Chorotega: está constituido por una secuencia ofiolítica de basamento de origen oceánico que abarca el Sur de Nicaragua, Costa Rica y Panamá. Según Denyer, Alvarado y Aguilar (2000), el bloque Chorotega tiene una actividad geológica constante reflejada por un vulcanismo activo y constituido por rocas de alta densidad y espesores considerables, que varían desde basaltos masivos, basaltos en almohadillas, a rocas sedimentarias radiolaritas con intrusiones de diques y sills.

Venable (1994), propone el micro-bloque Siuna como un área tectónica independiente del bloque Chortis y Chorotega, al que llamó Terreno Siuna. Originalmente esta área era atribuida al Bloque Chortis, sin embargo Venable lo caracterizó un terreno de arco de isla con características y depósitos minerales similares a los de Bloque Chorotega más que al Bloque Chortis, debido a la presencia de unidades de rocas ultramáficas.

En Nicaragua, el bloque Chortis está representado, por el complejo Metamórfico de Nueva Segovia, que a su vez representa a las rocas más antiguas de Nicaragua. Estas rocas fueron agrupadas en la formación Palacagüina y esquistos

de Nueva Segovia (Zoppis (1957), y Del Guide (1960). En el Noreste de Nicaragua se han encontrado rocas sedimentarias de edad Mesozoicas que probablemente sobreyacen al Basamento Metamórfico del bloque Chortis (Venable, 1994).

El basamento oceánico del Bloque chorotega está representado en la parte Norte de Costa Rica, por el complejo ofiolítica de Nicoya y las rocas ultramáficas de Santa Elena, el primero no está muy bien definido acerca de cuáles son las series de rocas que deben ser incluidas en el mismo. El límite entre el Bloque Chorotega con el Bloque Chortis es aún desconocido, algunos autores (Escalante, 1990); (Dengo, 1962), entre otros) han propuesto para este límite un sistema de fallas situado al Sur de la frontera entre Nicaragua y Costa Rica. Otros Autores han sugerido que el límite se ubica en el río San Juan donde afloran peridotitas y serpentinitas, las que probablemente están asociadas a las peridotitas de Santa Elena. (Astorga, 1988) y (Rodríguez, 2005).

3.2. Geología regional de Nicaragua

Hodgson, G. 1976, divide a Nicaragua en 5 provincias geológicas diferenciadas por su geomorfología, su estratigrafía, geología tectónica, geología histórica y geología económica (depósitos minerales metálicos y no metálicos), las cuales se describen a continuación: (Figura N^o5)



Figura N^o5. Provincias geológicas de Nicaragua (Re-dibujado de Hodgson, 1977)

a. Provincia geológica de las planicies de la Costa del Pacifico

Esta provincia incluye la cuenca Sandino, y se localiza en el margen Pacifico de Nicaragua, en la parte occidental de la placa Caribe en el área de ante arco del pacifico y se extiende costa adentro hasta el graben, donde se localiza el arco volcánico activo. Se destacan dentro de esta provincia 6 formaciones sedimentarias (Rivas, Brito, Masachapa, El Fraile, El Salto, Sapoá) y las formaciones volcánicas Las Sierras y Tamarindo.

b. Provincia geológica de la depresión de Nicaragua

La depresión del graben de Nicaragua, forma parte de la zona marginal del pacífico de América Central, la cual está caracterizada por presentar fosa de mar profunda, regiones de plataformas, cadenas de arcos de islas activos y rasgos tectónicos activos.

Está caracterizada por el predominio de rocas volcánicas, depósitos piroclásticos y sedimentos del Plioceno y reciente. Las Rocas más características están comprendidas en la serie piroclástica de la Formación Las Sierras y el grupo Managua. Pero también hay flujos lávicos de actividad reciente.

También dentro de la depresión existe la presencia de ventanas de ignimbritas y lavas básicas del grupo Coyol. Todo el conjunto de roca de la depresión tiene un espesor de 900 m. (perforaciones en el graben, señalan un espesor de 200 m de piroclastos).

c. Provincia geológica del Norte

Está localizada en el Norte de Nicaragua y abarca los departamentos de Nueva Segovia, Madriz y ligeramente Norte del departamento de Estelí y gran parte del área Central y Norte del departamento de Jinotega y Noroeste de Zelaya.

Esta provincia está caracterizada por el predominio de rocas metamórficas, consideradas como las más antiguas de Nicaragua la cual han sido intruida por un batolito granítico de Nueva Segovia. También se señala la existencia de rocas

sedimentarias como calizas, lutitas y conglomerados, agrupados en las formaciones Metapán y Totogalpa.

d. Provincia de los llanos de la Costa Atlántica

Esta provincia abarca la cuenca de la Mosquitia, la Cuenca Costera y el Banco de Nicaragua. Está comprendida entre el límite de la provincia del Norte, la Central, río Coco en el Norte y río Indio en el Sur, y en el Este el Océano Atlántico.

Respecto a su litología, esta provincia está caracterizada por el predominio de rocas sedimentarias recientes del Pleistoceno, los sedimentos recientes están representados por las gravas, arenas y arcillas bajo la formación Bragman's Bluff y aluvionales recientes. Los sedimentos Terciarios antiguos comprenden rocas como areniscas, lutitas y calizas (Formaciones Terciarias), conformando la parte superior de la cuenca la Mosquitia, también se señalan en el área Noroeste el afloramiento de un gran batolito granitoide que es parte del batolito del Pacífico, la presencia de rocas extrusivas (predominantemente la andesita) ocupando la parte Central-Oeste de la provincia, se señala también la presencia de rocas sedimentarias Mesozoicas y metamórficas.

e. Provincia geológica Central de Nicaragua

Esta provincia está comprendida entre el límite Sur de la provincia del Norte, y el límite Oeste con la provincia de la depresión, al Sur limitada por el Río Indio y al Este con los llanos de la Costa Atlántica.

El área de estudio se encuentra localizada en esta provincia geológica y comprende básicamente flujos de lavas alternados con la actividad volcánica explosiva del Terciario, es una de las provincias más afectada por los movimientos tectónicos con la intrusión de cuerpos plutónicos, favoreciendo así la deposición de minerales de interés económico en la mayor parte de esta provincia.

McBirney 1965, en el estudio de la Historia volcánica de Nicaragua, subdividió las rocas volcánicas de la Región Central en dos grandes grupos y un tercer grupo

inferido subyacente, los dos superiores El Coyol y El Matagalpa fueron diferenciados uno del otro por la composición litológica y la geomorfológica (El Grupo Coyol con un relieve en mesas y mesetas escalonadas y el Matagalpa con relieves de cerros irregulares u ondulados, de topografía suave).

- **Grupo Matagalpa**

Consiste en secuencias de rocas piroclásticas intermedias a félsicas producto del vulcanismo entre el Oligoceno – Mioceno.

- **Grupo Coyol**

El nombre de grupo El Coyol fue introducido en 1969, por los geólogos Garayar J., Hodgson G., Ferrey C., Williams R. et al, los que dataron una secuencia Mioceno – Plioceno para el grupo de alternancias cíclicas de productos volcánicos básicos, intermedios e Ignimbritas acidas.

Garayar J., 1971, describe una subdivisión del grupo Matagalpa en dos sub-grupos en los cuales señala la diferencia litológica pero no delimitó la separación entre las ignimbritas de los sedimentos; posteriormente Hodgson et al., 1983, subdivide al Matagalpa en tres formaciones.

El grupo está constituido por una facie andesíticas (Matagalpa superior), subordinada con sedimentos lacustres, basaltos y tobas; por riolitas y tobas (Matagalpa medio), subordinada con sedimentos tobáceos; por sedimentos tobáceos lacustres y fluvial (Matagalpa Inferior) subordinada por toba, ignimbritas y diques básicos.

Las andesitas y basaltos de este grupo se encuentran altamente meteorizadas, constituyendo un criterio más para poder diferenciarlas del grupo Coyol, la edad del grupo Matagalpa se extiende desde el Eoceno hasta el Mioceno medio.

De acuerdo al mapa geológico realizado por Garayar J., 1973. Describe que la secuencia estratigráfica de la zona está compuesta por una secuencia de rocas

del Cuaternario y del Terciario principalmente de los grupos Coyol y Matagalpa. Las rocas cuaternarias están conformadas por rocas aluviales e indiferenciadas.

Mientras las formaciones Terciarias en su parte superior, están representadas por materiales volcánicos extrusivos del tipo lava e indiferenciados. En la parte intermedia de la secuencia estratigráfica se observan afloramientos de rocas de la formación Coyol Superior e Inferior integradas por ignimbritas, tobas, basalto andesita y aglomerados. En la parte inferior de la secuencia se observan rocas de la formación Matagalpa Superior e Inferior, conformadas por una secuencia de rocas andesíticas, basálticas e indiferenciadas especialmente. Se observa un sistema de fallas con orientación preferencial Noroeste- Sureste y otro sistema con orientación preferencial Noreste-Suroeste.

CAPITULO 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. Geología local

Geológicamente el área de estudio se encuentra ubicada en la región Central de Nicaragua departamento de Boaco, el cual se caracteriza por depósitos volcánicos de edad Terciario.

Para poder definir la geología del Noroeste de Boaco se tomó como base la interpretación de fotografías aéreas y otros medios auxiliares tales como: imágenes LandSat, imágenes de radar e imágenes de satélites. Reconocimiento de campo, en donde se puede apreciar los tipos de afloramientos característicos en el área.

Las rocas aflorantes se observan en diferentes grados de meteorización y de igual manera fracturadas, siendo más resistentes a estos fenómenos todas las rocas de origen volcánico, se lograron reconocer rocas volcánicas extrusivas de composición básica, y acida, dentro de ellas se destacan: andesitas, dacitas y tobas pertenecientes al grupo Coyol.

Las rocas volcánicas cubren el 80%, ya que son las que más predominan y están representadas por lavas de composición andesítica y piroclastos, estos han sido cortados y desplazados por fallas en distintos tipos de direcciones unos en dirección Noroeste-Sureste y otras Noreste-Suroeste y el restante del área de estudio se encuentra distribuido por depósitos aluviales que conforman el restante 20%.

En el área se diferenciaron cuatro tipos de litología, las cuales se describen a continuación desde lo más antiguo a lo más reciente.

- Unidad Toba (Tpci) Coyol superior.
- Unidad Andesita (Tpca) Coyol superior.
- Unidad Dacita (Tmcd) Coyol inferior.
- Unidad de Sedimentos (Qal) Cuaternario aluvial.

a. Unidad de Tobas (Tpci)

En esta unidad se describen varios tipos de tobas las cuales se dividen por su contenido mineralógico, esta unidad se presenta en toda el área de estudio formando cerros con pendientes suaves y de gran extensión.

Esta pertenece al grupo Coyol Superior (Tpci), se encuentra distribuida en toda la hoja topográfica, en la parte Noroeste de la ciudad de Boaco y sus alrededores. Estas rocas aflorantes se encuentran meteorizadas en la zona Norte del área, límite con la hoja topográfica de Santa Lucia, constituida por depósitos de caída en su mayoría tobas, producto de la actividad volcánica. Las tobas varían de color de gris a marrón, consolida y se presentan en grandes bloques. Además se observan los clastos que poseen un diámetro no mayor a 3-6 mm de tipo andesítico y de pómez.

Los afloramientos más representativos de estos depósitos se encuentran en el camino hacia la comunidad del Aguacate “Cerro Santo Tomas” (Foto N⁰4), en el camino a Boaquito-Santa lucia, cerro Largo (Foto N⁰5), cerro el Charco, Loma Plan del Jobo, cerro el Cuero, Rio de Luna, cerro los Corredores y cerro el Chile.

En la foto N⁰4, se observa que el terreno presenta cerros de pendientes de alto grado de inclinación con poca vegetación, y en la foto N⁰5 se observa rodados de andesítica el cual sobreyace a la toba.



Foto N⁰4. Cerro Santo Tomas, coordenadas N643210 – E1379389.



Foto N⁰5. Rodados de Andesitas.

a) Toba lítica (To-Li)

Este afloramiento está en el camino hacia la comunidad el Aguacate, coordenadas (N645005 – E1379407), altura 355 msnm, geomorfológicamente esta unidad se presente en relieves de pendientes suaves, la cual se encuentra formando el basamento. En la foto N^o6 se puede observar un corte transversal de color gris oscuro (Toba) con clastos sub-redondeados de pómez con alteración de clorita, la altura del corte es de 5 - 10 m.

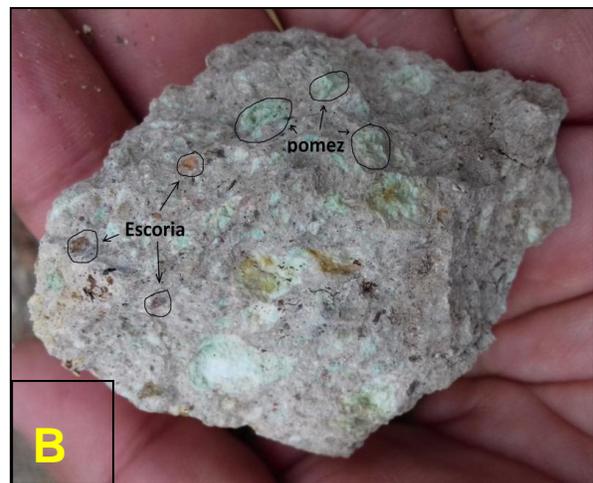


Foto N^o6. Corte transversal de afloramiento de toba, esta erosionado producto de los agentes externos (A), clastos de pómez y escoria de forma angulares a sub-redondeados, con una matriz afanítica (B). Coordenadas N645005 – E1379407.

En la rívera del río de Luna, coordenadas (N645856 – E1381182) altura 375 msnm, se presenta toba de color crema, con pequeños clastos de pómez angulares de color blanco hueso y pequeños fragmentos de escoria color rojo quemado, el porcentaje de clastos presente de pómez es de aproximadamente 20%, con una matriz afanítica de 78% y un 2% de escoria, la toba presenta muy poca cantidad de vidrio lo cual indica que tuvo un enfriamiento muy lento dando así la formación de pequeños cristales (Foto N^o7).

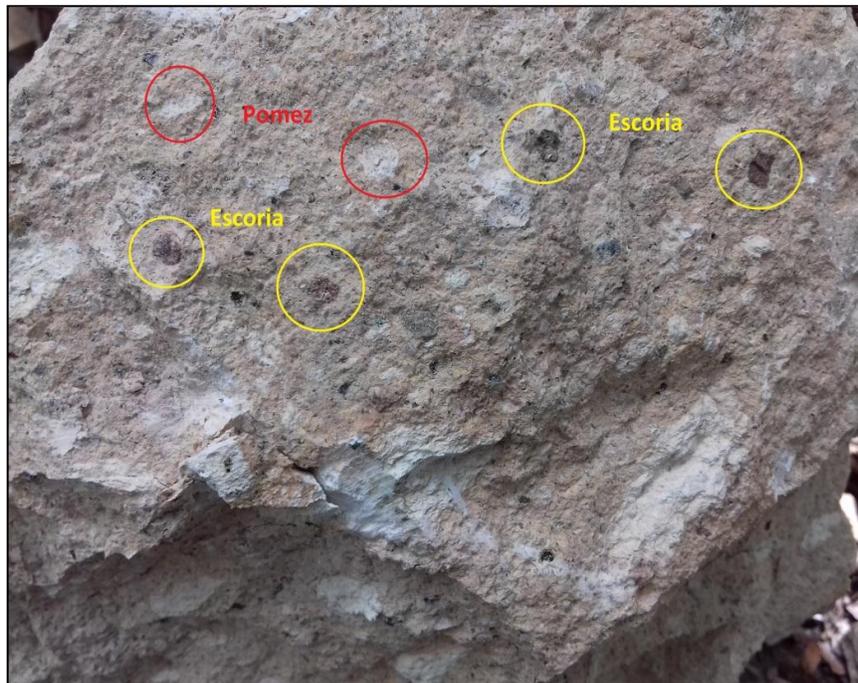


Foto N^o7. Toba de color marrón con pequeños líticos de escoria y pómez, soportado por una matriz afanítica. Rivera río de Luna
Coordenadas: N645856 – E1381182.

Este afloramiento es poco común en el área de estudio, solo se observó en el camino hacia el Quebracho, en la finca Las Colinas coordenadas (N647183 – E1374835), altura 497 msnm, es una toba fracturada de color gris, de matriz afanítica, el fracturamiento se encuentra relleno con filones de zeolita de color blanco, producto de una posible alteración hidrotermal en la zona, químicamente la zeolita son silicatos de aluminio, sodio y calcio. (Foto N°8).

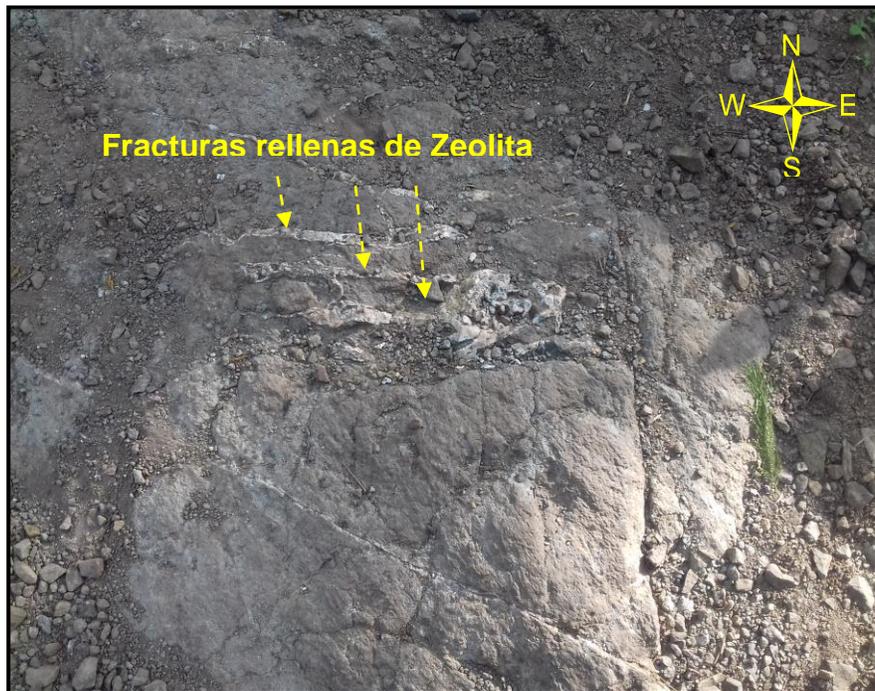


Figura N°8. Toba masiva, fracturada color gris de textura afanítica y rellena por zeolita, coordenadas N647183 – E1374835, grupo Coyol Superior (Tpci).

Otro afloramiento que se presenta en esta unidad es al Sureste de la ciudad de Boaco, camino hacia la comunidad cerro Largo coordenadas (N648832 – E1376821) altura 652 msnm, observándose en las faldas del cerro una toba pomácea de color marrón, macroscópicamente presenta alto contenido de pómez aproximadamente de 30 %, el tamaño de los líticos de la pómez varia de 3 a 5 mm es de color blanco, también se observan pequeños líticos de andesita de color gris 3 % y escoria de color rojizo 2 %, con una matriz de ceniza 65 % (Foto N°9).

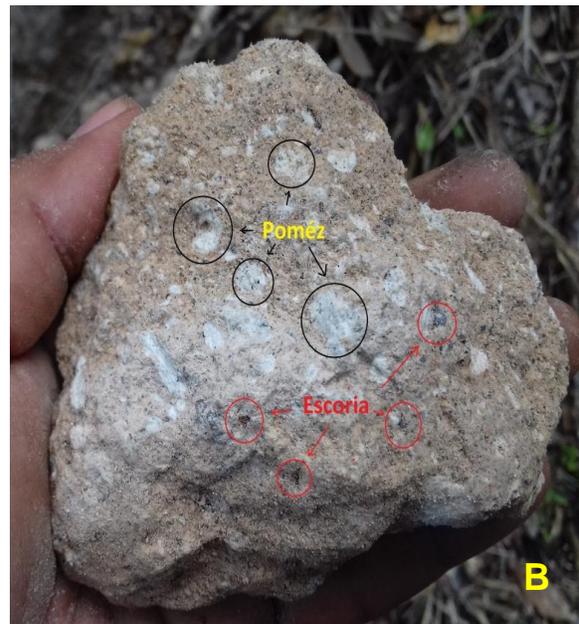


Foto N°9. A) Afloramiento de toba pomácea color marrón, B) muestra de toba pomácea con líticos angulosos a sub angulosos de pómez, pequeños fragmentos de andesita y escoria, perteneciente al grupo Coyol Superior (Tpci), coordenadas N648832–E1376821.

Se encontraron vestigios de toba lítica con intercalación de fragmentos angulosos de escoria color rojizo de 1- 3 cm de diámetro, es una roca masiva de color gris verdusca a café, y pómez de color blanco, presenta una leve alteración de clorita color verde. Este afloramiento se encuentra dispuesto en forma de bloques (Foto N°10)

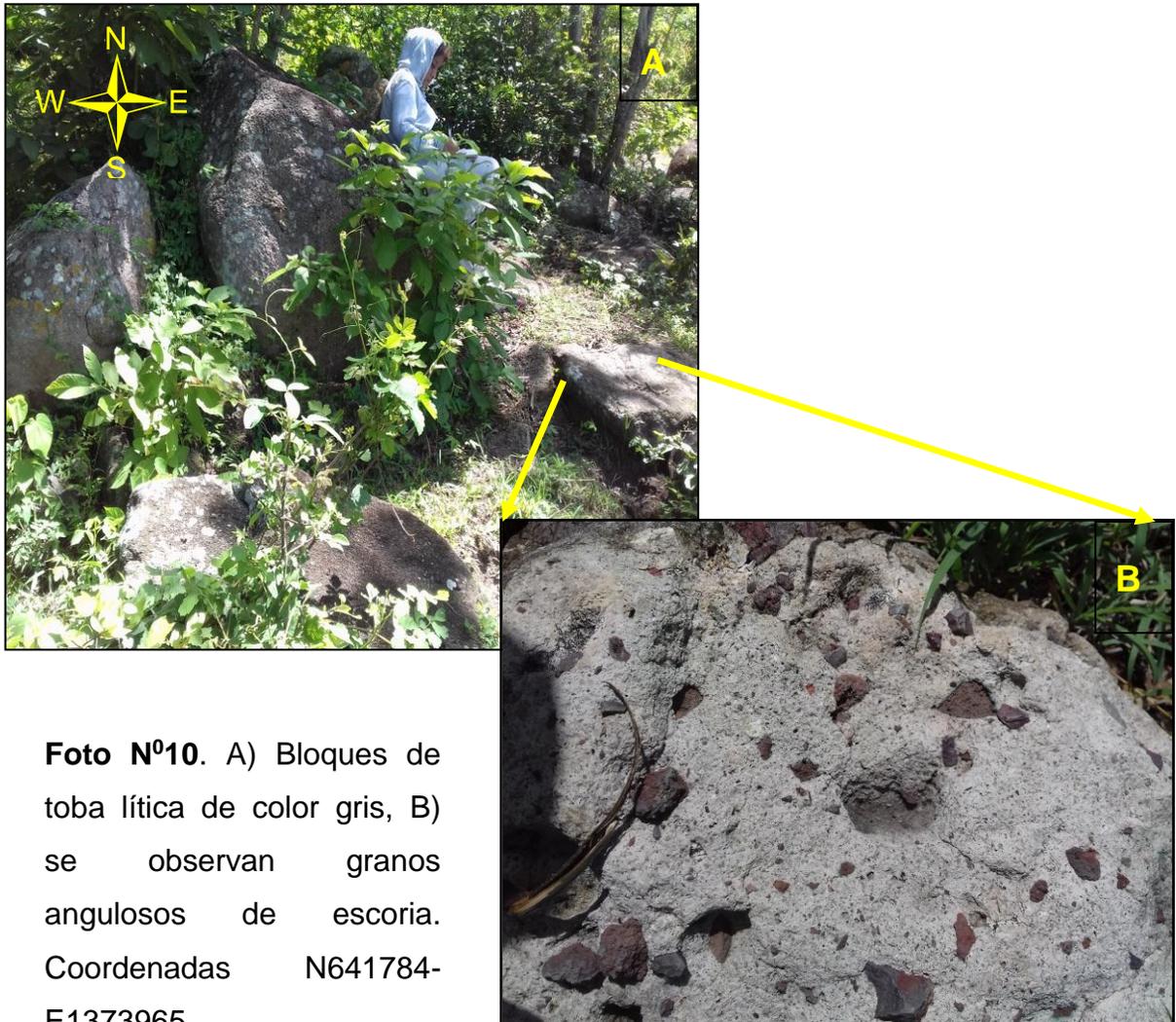


Foto N°10. A) Bloques de toba lítica de color gris, B) se observan granos angulosos de escoria. Coordenadas N641784-E1373965.

b. Unidad de andesitas Coyol Superior (Tpca).

Esta unidad se caracteriza por presentarse de dos formas: una por íntuir en los depósitos de caída (Toba) y la segunda por flujos lávicos de composición andesítica que se encuentra alterada y fracturada, ya sea por agentes estructurales y por los agentes erosivos.

Conformada por andesitas de color gris a gris oscuro, originadas por flujos de lava, se presentan pseudo-estratificadas y fracturadas, esto se debe a que cuando el flujo se va movilizand, hay superficies que se enfrían más rápido que otras, luego el movimiento del flujo provoca el rompimiento de las superficies enfriadas, facilitando la fragmentación de éstas, que posterior son asimiladas por el mismo flujo, quedando así inmersas dentro de la lava que al solidificarse presenta un textura fanerítica en comparación al de los fragmentos ya solidificados (afanítica).

Los afloramientos más representativos de esta unidad se encuentran al Noroeste de la ciudad de Boaco en el Cerro el Cuero, coordenadas (N646308 – E1379558) altura 449 msnm, al Noroeste en el Cerro Santo Tomas (N643256 – E1379441) altura 582 msnm, al Sureste en el Cerro Largo (N648904 – E1376710) altura 663 msnm y al Sur de la ciudad de Boaco en la comunidad de La Pita (N6454232 – E1375321) altura 532 msnm.

Flujo de lava de composición andesítico

Las rocas predominantes en la unidad presentan coloración gris oscuro, las alteraciones en la roca por lo general son de color rojizo (óxidos), con leves alteraciones de clorita, la textura predominante es afanítica.

Estas rocas debido a su composición homogénea y dureza son impermeables aunque en algunas áreas se observan vesículas de desgasificación que le permiten captar agua, algunas presentan permeabilidad debido al diaclasamiento, fracturamiento y fallas al que están expuestas.

Este tipo de roca al meteorizarse forman suelos arcillosos impermeables que aumentan el escurrimiento de las aguas superficiales durante el invierno y a su vez impiden la recarga de las aguas subterráneas.

Un afloramiento representativo que se muestra es de bloques de andesita con un diámetro de 3 m, la andesita es de coloración oscura presentando una textura afanítica, se observan cristales de plagioclasas, cuarzo y olivinos, observadas con lupa 10x, coordenadas (N646308 – E1379558) (Foto N°11).

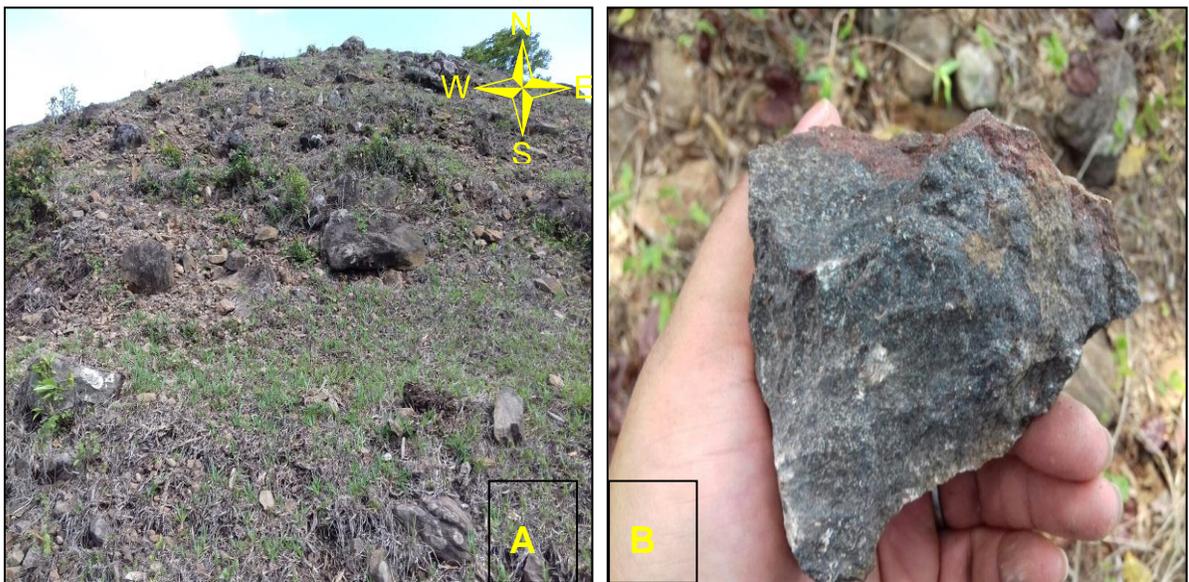


Foto N°11. A) Afloramiento de andesita, formando bloques masivos, B) de textura afanítica con alteración de óxidos. Coordenadas N646308 – E1379558.

Los flujos de lava andesítico más representativos del área, fueron encontrados en el camino a los Limones, la altura del corte transversal es de 3-5 m, la roca es de color gris oscuro, posee una textura microlítica, presenta un alto grado de fracturación 30°SE y meteorización, coordenadas (N646308 -.E1379558), (Foto N°12).



Foto N^o12. Flujo de andesita, con alto grado de meteorización, N646308 -.E1379558

c. Unidad de Dacitas (Tmcd).

La dacita es una roca intermedia, de color gris claro, se compone principalmente de feldespato, plagioclasa con biotita, hornblenda, y piroxeno (augita y/o enstatita); posee una textura entre afanítica y pórfida con cristales de cuarzo. Esta unidad se caracteriza por intruir a la unidad de toba, a continuación se describen los diferentes afloramientos de esta unidad.

Afloramiento de dacita, roca con un leve grado de meteorización, de color gris claro, de textura afanítica, se encuentra en una zona de diaclasamiento ya que no se observa ningún desplazamiento en la roca sino solo un fracturamiento. Esta unidad es visible en un corte de la carretera que va de Boaco-Muy Muy, coordenadas (N648998 – E1380906) y (N648964 – N1380902). (Foto N^o16).



Foto N°14. Corte de la carretera Boaco – Muy Muy, afloramiento de dacita, coordenadas N648998 – E1380906

d. Unidad Cuaternario aluvial (Qal).

Esta unidad se caracteriza por presentarse en las zonas más bajas del área de estudio, está formado por suelos de origen residual, producto del intemperismo, descomposición físico – mecánica y química de las roca y erosión debido a los agentes exógenos.

Estos suelos de origen residual poseen muchas veces textura arcillosa de coloración variables entre gris, gris oscuro, marrón y tonos verdes debido a la alteración de clorita, producto de las alteraciones en las rocas que los originaron; en las bases de los tipos se encuentran rocas andesíticas y bloques de tobas bien alteradas y fracturadas, producto de la descomposición física de la roca madre.

Los afloramientos característicos de esta unidad están en las siguientes coordenadas: A) río Caña Brava, coordenadas (E643300-N1374612), B) río Sonzapote, coordenadas (E641625-N1373292), río Boaco Fonseca, coordenadas (E637027-N1376178), C) río la sucia, coordenadas (E637048-N1379832), estos afloramientos yacen sobre la unidad de tobas. En los ríos se observan rocas bien redondeadas lo cual es evidencia de que han sufrido un proceso de transporte constante, el cual han sido arrastrados por las corrientes ya sea por las lluvias o

por efecto de la gravedad y luego depositadas en las orillas del pueblo y sus alrededores. (Foto N°15)



Foto N°15. A) rio Caña Brava, coordenadas (E643300-N1374612), B) rio Boaco Fonseca, coordenadas (E637027-N1376178), C) rio Sonzapote, coordenadas (E641625-N1373292).

En esta unidad también se hace mención de zonas de terraza (Qal), como Quebrada de Agua, coordenadas (E646609-N1376540) en donde se expone una zona de terraza la cual presenta una mala gradación, esto es producto en la variabilidad de la velocidad con la que fluía el agua, con la cual se depositaron los sedimentos y fragmentos de rocas, en el afloramiento se observa que presenta una gran variedad de fragmentos con diversos tamaños y formas de redondeados

y sub redondeados, conformados por diferentes tipos de rocas, dando así origen a esta terrazas y a los depósitos a orillas de meandros del río. Los depósitos varían entre los 20 cm – 2 m de espesor (Foto N°16)

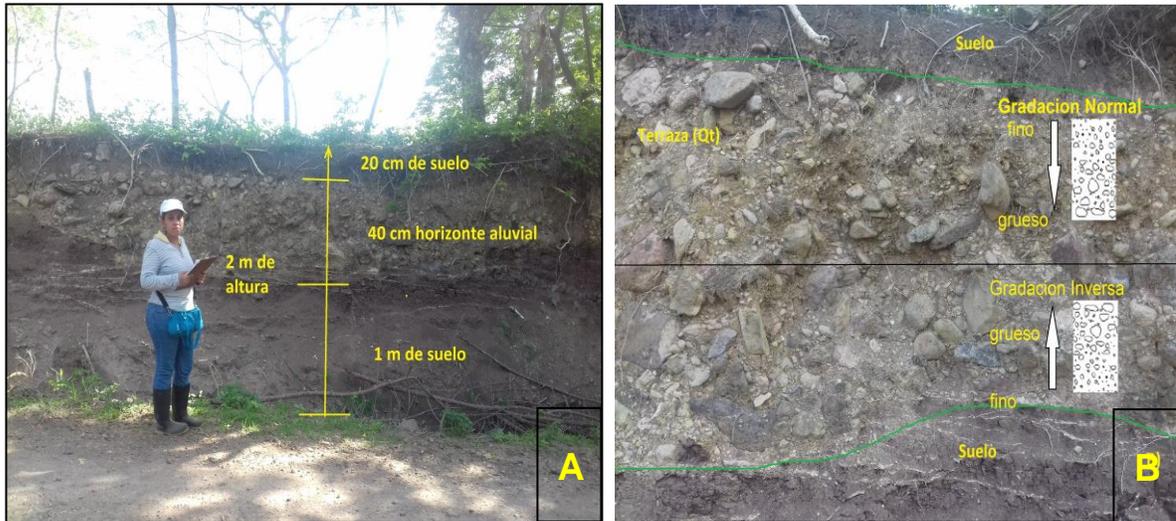


Foto N°16. A) Horizontes del suelo, contacto entre suelo y aglomerado volcánico. B) nótase aspecto desorganizado del depósito con presencia de clastos, se distinguen dos tipos de gradación una normal y una inversa, de matriz arenosa gruesa, clastos redondeados, se puede observar que por el orden de las partículas denotan que la corriente que arrastro las partículas es de orden caótico. Quebrada de Agua, coordenadas E646609-N1376540.

Se describe a continuación la sección Norte de Quebrada de Agua, en donde se observa a detalle los horizontes del suelo. La zona de terraza superior muestra una gradación normal, seguido de una capa de suelo la cual se observa un bloque de toba subredondeado de color gris. Se observa otro horizonte de terraza (terrace 2) esta muestra una gradación inversa, y una capa de suelo (Foto N°17)

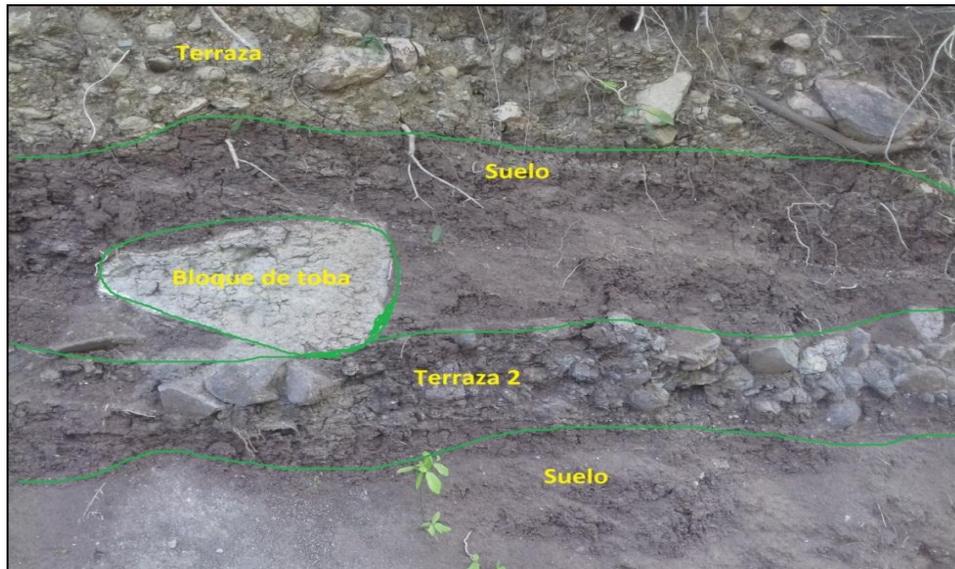


Foto N°17. Quebrada de Agua, coordenadas E646609-N1376540.

Se describen a continuación dos unidades litológicas según (Ehrenborg y Carranza, 1986), la unidad Santa Lucía y la unidad La Libertad., el primero producto de la actividad que existió del volcán Santa Lucía y un segundo de la actividad del volcán San Lorenzo.

Unidad Santa Lucía

Esta unidad se encuentra al Noroeste de la ciudad de Boaco, proviene de la actividad del estrato volcán, se encuentra representada por una parte del grupo Coyol Superior (Ehrenborg, 1986), abarcando aproximadamente el 75% total del área de estudio, inicia el predominio de ignimbritas, flujos lávicos, lahares, conglomerados volcánicos, depósitos de composición basáltico y andesítica.

Unidad San Lorenzo (Unidad La Libertad)

Esta unidad se encuentra al Sur de la ciudad de Boaco, proviene de la actividad del estrato volcán, se encuentra representada por una parte del grupo Coyol Superior (Ehrenborg, 1986), abarcando aproximadamente el 15% total del área de estudio. Esta unidad regionalmente es nombrada como unidad La Libertad

(Ehrenborg y Carranza, 1986), pero el área de estudio abarca una mínima parte de esta unidad, por tanto la nombramos unidad San Lorenzo.

4.2. Geología Estructural

La tectónica actual de Nicaragua está caracterizada por una cadena volcánica del cuaternario al reciente y por la depresión de Nicaragua, ambas de tendencia Noroeste-Sureste (Cruden, 1989). El vulcanismo Terciario al reciente puede relacionarse directamente a la subducción hacia al Noreste de la placa de Cocos por debajo de la placa Caribe.

Estructuralmente el área está afectada por una serie de fallas y fracturas reconociéndose dos sistemas de fallas predominantes, el sistema Noroeste-Sureste, el sistema Noreste-Suroeste. Generalmente en toda el área se encuentran fracturas principalmente manifestadas en las tobas y en las rocas que afloran en los cortes transversales de los lechos de ríos. Estos sistemas de fracturamiento y fallamiento subdividieron en bloques inclinados a las rocas del área manifestada en una diferencia de ángulo de inclinación de las rocas antiguas con respecto a las más jóvenes.

a. Sistema de Fallas NW-SE

Se caracterizan por ser las que mayor se presentan, los buzamientos oscilan entre 30° - 60° Noreste. Son fallas normales, originadas por fuerzas extensionales, estas interceptan al sistema de fallas Noreste-Suroeste, por lo que se infiere que son más antiguas que las fallas de rumbo Noreste-Suroeste. Se identificaron 17 fallas de las cuales 5 son consideradas como regionales y el resto locales. Las fallas regionales tienen extensiones que exceden los 5 km y a veces atraviesan completamente el área de estudio, mientras que las locales no exceden 5 km y son de poca extensión.

Las fallas regionales de rumbo Noroeste-Sureste más sobresalientes se localizan al Noroeste del área de estudio, son fallas regionales de grandes extensiones que deformaron y cortaron las rocas de todas las unidades presentes.

Se propone que a través de algunas de estas fallas se dio el ascenso de las rocas ígneas intrusivas más jóvenes, así como algunos diques debido a que estas estructuras tienen el mismo rumbo de este sistema de falla. Un parámetro que indica que este sistema es más antiguo que el sistema Noreste-Suroeste, es que los diques están cortados por fallas de rumbo Noreste-Suroeste y están alineados paralelos al sistema Noroeste-Suroeste (Foto N°18).

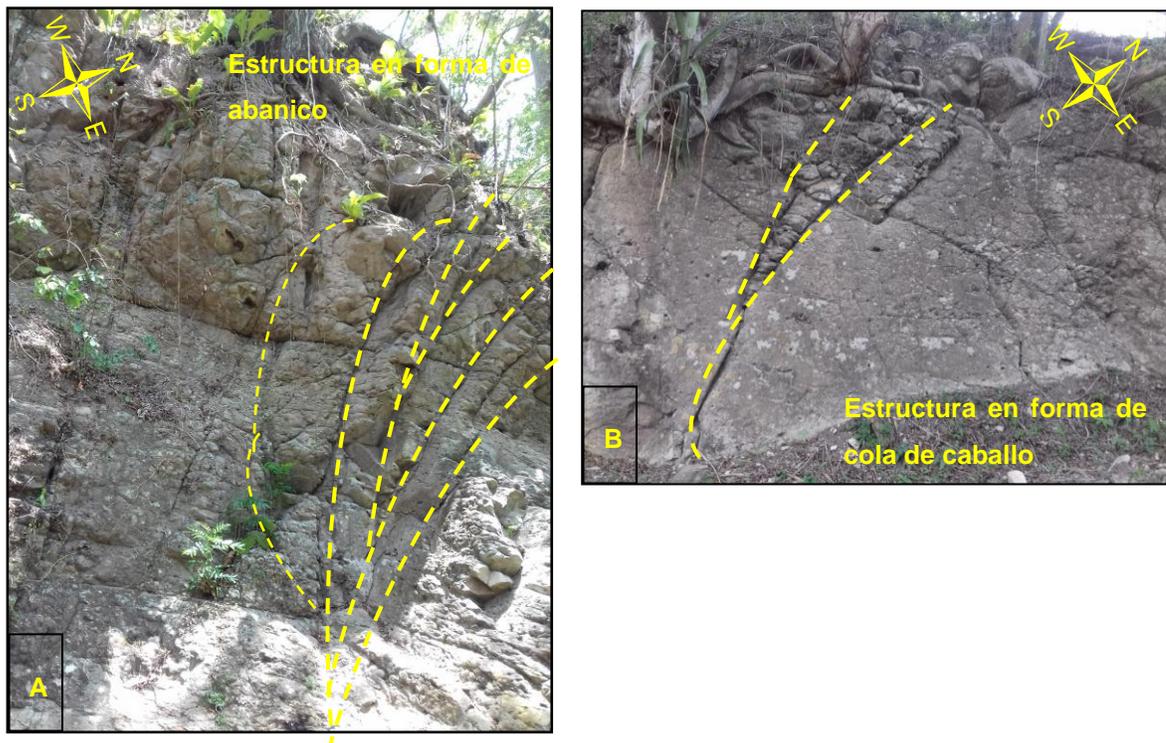


Foto N°18, A) indicador cinemático en forma de abanico, ubicado en el río de Luna coordenadas (E645815-N1381086), B) Indicador cinemático en forma de cola de caballo, camino a la cruz verde coordenadas (E646258-N1377548).

Falla plan del jobo.

Se encuentra localizada en la parte W del área de trabajo con una longitud de 4 Kilómetros aproximadamente y una dirección predominantemente N40°W. Comprobada en el campo y por medio de fotografías aéreas. Se presenta una falla normal donde un bloque baja uno con respecto al otro, posee un desplazamiento aproximadamente de 1 m (Foto N°19).



Foto N°19. Afloramiento Falla de rumbo N40°W, rio de Luna, coordenada E646115-N1381285.

El análisis de roseta de fractura para esta fase de deformación expresa un esfuerzo máximo o compresivo δ_1 en dirección hacia el Noroeste, mientras que al Noreste se da la dirección de acortamiento es decir esfuerzo extensivo δ_3 . (Figura N°6)

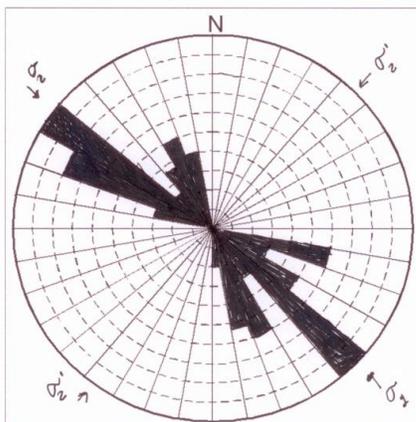


Figura N°6. Diagrama de roseta donde se expresa el máximo esfuerzo en dirección NW-SE, estos datos fueron obtenidos a través de 42 mediciones en campo, 25 de las 42 presentaban una orientación Noroeste-Sureste.

b. Sistema de Fallas NE-SW

Este sistema de falla, dentro del área de estudio tiene una dirección preferencial N60°E, se lograron determinar en varios afloramientos en esta dirección de los cuales los más característicos se encuentran en la parte Norte y Sureste del área de estudio. Es un sistema de falla joven o reciente con respecto al sistema de fallas Noroeste-Sureste.

Entre los afloramiento más representativo encontrados fueron en la quebrada El Riego, Las Lajas y Rio de Luna todas con una dirección preferencial NE-SW, se encontró un corte en la carretera de Boaco Muy-Muy donde se muestra un fracturamiento paralelo, se denominó zona de cizalla ya que no se puede observar ningún movimiento a simple vista. Se puede caracterizar esta zona de cizalla de acuerdo a su ocurrencia: Juego (sets). Conjunto de diaclasas paralelas o sub-paralelas (Foto N°20).



Foto N°20. Corte de carretera litológicamente compuesto de dacita, observándose un sistema de fracturas paralelas, Camino Boaco – Muy-Muy, coordenadas E648998 N1380906.



Foto N°21. Nótese los sigmoides como indicador cinemático, los cuales se encuentran rotados en sentido anti horario coordenadas E648998 N1380906.

De igual manera se recolectaron 30 datos en campo para realizar el diagrama de roseta de fractura y comprobar esta fase de deformación, indicando que el máximo esfuerzo δ_1 está orientado hacia el Noreste con un mínimo esfuerzo de acortamiento δ_3 dirigido al NW, (Figura N°7).

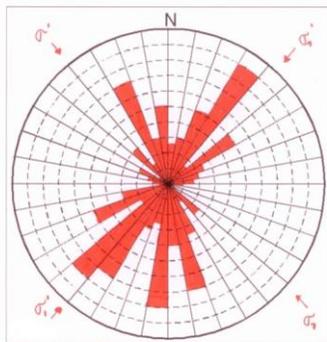


Figura N°7. Diagrama de roseta de fractura indicando la dirección de máximo esfuerzo δ_1 de la fase de actividad tectónica NE – SW.

ESTRUCTURAS SEMI-CIRCULARES

Las depresiones de origen volcánico se agrupan bajo el término de cráteres y calderas, se forman por el colapso de antiguas cámaras magmáticas; desde el punto de vista topográfico estas estructuras están señaladas por líneas de fallas bien marcadas que limitan los bloques hundidos. (Cepeda, L. 1986).

Por medio de la fotointerpretación de fotografías aéreas y comprobación de campo se pudo localizar 1 Estructuras Circulares en el área, en donde la mayoría de estas se encuentra alineada en una dirección Noreste-Suroeste.

Estructura semi-circular Colorado.

Estas estructuras semicirculares, también llamadas estructura en herradura, se presentan en la unidad de tobas perteneciente al grupo Coyol Superior (Tpci), en la porción noroeste del cuadrante, entre las comarcas las Laja y cerro Colorado, estas estructuras se encuentran desplazadas por las fallas de rumbo noroeste-sureste y a su vez por fallas noreste-suroeste.

Estas estructuras semicirculares son claramente identificables en las imágenes satelital, denotando un fuerte arqueamiento en sus flancos y los desplazamientos provocados por las fallas en esta porción del mapa geológico.

Dique cerro Potrero Largo

Ubicado al Este de Boaco en el cerro Potrero Largo sobre el camino que conduce a la comarca Cruz Verde coordenadas (E648462 – N1380554) de rumbo N50°W y buzamiento 17°SW, es un dique dacítico con bloques masivos altamente fracturados, que está intruyendo a las andesitas y tobas este afloramiento tiene una longitud de 450 m, en forma de mesa. La dacita es una roca acida de grano fino color gris claro este color se debe al contenido de minerales claros como el feldespatos, la matriz afanítica (Foto N°22).



Foto N°22. Dique Dacítico, E648462 – N1380554, bloques de gran tamaño de color gris claro, se presentan fracturados y meteorizados.

Dique el cascabel

Otra estructura en forma de dique encontrada es en el camino a la comunidad El Cascabel - San Pio coordenadas (E642018.8 – N1374874.7). Es de composición dacítico, roca de color gris, este afloramiento tiene una longitud de 300 m de largo y 150 m de ancho y 2.5 m de alto, fracturado presenta rumbo NW-SE y buzamiento de 28°SW (Foto N°23).



Foto N°23. Dique dacítico, comunidad el Cascabel coordenadas E642018.8 – N1374874.7.

4.3. Geología Económica

Para la localización de bancos de material o banco de préstamo que se presenta en el documento, se tomó como base los puntos existentes como guía para el reconocimiento de los nuevos puntos de bancos, para posibles proyectos de infraestructura vial. Entre los sitios existentes están:

- Entrada a Boaco, coordenadas (E644260-N1374973).
- Paso de Lajas, coordenadas (E644687-N1377161).
- Los Potrerillos, coordenadas (E644652-N1380746).
- El Diamante, coordenadas (E645639-N1380733).
- Entrada a Boaco, coordenadas (E644687-N1377161).
- Boaco N° 1, coordenadas (E646255-N1377163).

Los nuevos puntos encontrados con mayor relevancia son:

- Las Colinas, coordenadas (N647050-E1375300).
- Cerró largo, coordenadas (N648615-E1376763).

En este trabajo se contará con un mapa, en el cuál se ubicarán los puntos geográficamente y se darán los resultados de ensayos de laboratorio que caracterizan las propiedades físicas y mecánicas de los bancos de material.

a. Localización

Localizar un banco es más que descubrir un lugar en donde exista un volumen alcanzable y explotable de suelos o rocas que pueden emplearse en la construcción de una determinada parte de una vía terrestre, satisfaciendo las especificaciones de calidad y requerimiento de volumen.

Cuando se seleccionan “bancos de material” para la construcción de una estructura de pavimento, es necesario conocer la clase o clases de suelo existentes en dichos bancos, así como también si el material puede ser excavado removido y utilizado, (tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2564/Capitulo2.pdf).

Se recolectaron muestras representativas en toda el área y posteriormente se depositaron en bolsas de 5 lb y se etiquetaron con sus respectivos códigos para ser enviadas al laboratorio y realizar los ensayos necesarios.

Cabe mencionar que en la finca Las Colinas, coordenadas (N647183 – E1374835) altura de 497 msnm, se presenta un afloramiento de andesita que es utilizado por los ciudadanos para dar mantenimiento a los caminos en temporada de invierno. Los fragmentos de andesita varían en tamaño los cuales oscilan de 2 cm a 20 cm de largo, y 1 cm a 30 cm de ancho. La forma de los fragmentos es sub-angulosa a angulosa y están meteorizadas y fracturadas. (Foto N^o13).



Foto N^o13. Afloramiento de andesita, con alto grado de fracturamiento. Coordenadas N647100 – E1374755.



b. Criterios de selección de bancos de materiales.

Un estudio geotécnico de la roca generalmente permite conocer sus características de fragmentación al ser triturado. Los criterios de selección se basan en:

- Características físico- químicas del material del terreno.
- Características geológicas y mecánicas del sitio.
- Accesibilidad del banco.
- Distancia del banco hacia centro de consumo.
- Disponibilidad del previo por parte del propietario.

Las rocas más usadas en la producción de agregados triturados son:

Tipo de Roca	Nombre
Ígneas Extrusivas	Basalto, andesita y dacitas.
Ígneas Intrusivas	Granito, granodiorita y dioritas.
Sedimentaria	Calizas, dolomitas y areniscas compactas.
Metamórficas	Esquistos, gneiss, hornblendas cuarcíferas.

Tabla N°2. Rocas más usadas en la producción de agregados

c. Criterios económicos

- El proyecto presenta una alternativa viable desde el punto de vista económico, para los propietarios del predio.
- El uso actual del suelo del predio no representa una fuente de ingreso a los dueños del terreno.
- Se genera una fuente importante de empleo e ingreso en la zona.
- Se satisface la demanda de este tipo de material para las necesidades del mercado local y regional.

Criterios tomados de: “Banco de materiales pétreos Chamchopa”, octubre 2006.

d. Pruebas realizadas en el laboratorio

Para determinar la calidad de los Bancos de materiales se realizaron los siguientes ensayos:

- Gravedad específica
- Absorción
- Prueba de desgaste con máquina de los Ángeles
- Resistencia a la compresión simple

La determinación de las características de los agregados se realizó bajo los procedimientos indicados en las siguientes normas:

- Análisis Granulométrico de Agregados Finos y Gruesos AASHTO T 27, 2006.
- Gravedad Específica y Absorción de Agregados AASHTO T 84 y T 85.
- Desgaste y abrasión en la máquina de Los Ángeles, Ensayo AASHTO T 96.

Granulometría (AASHTO T 27)

Esta prueba tiene como objetivo obtener los pesos retenidos y porcentajes acumulados de los áridos, los cuales pasaron por diversas mallas y tomando como referencia el porcentaje de humedad, Es un procedimiento usado para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras de agregados. Absorción, humedad superficial y peso específico.

La absorción, la humedad superficial y el peso específico de los agregados deben determinarse de acuerdo con las normas AASHTO T84 para agregado fino Y AASHTO T85 para agregado grueso.

- **Gravedad Específica**

La gravedad específica de un suelo se utiliza en el cálculo de las relaciones de fase de los suelos, en los cálculos de los ensayos de granulometría por

sedimentación, compresibilidad y potencial de expansión (<http://www.unalmed.edu.co/~geotecni/GG-07.pdf>)

- **Absorción**

El agua dentro de la masa de suelo es parte fundamental de su comportamiento, puede estar presente en sus tres fases y generar propiedades determinantes. La absorción es la capacidad que tiene un material de retener agua. “La absorción es el aumento en peso de los agregados debido al agua en los poros de la roca”, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, la absorción interactúa a nivel interno de partículas y se expresa como un porcentaje del peso seco.

Descripción del equipo (Maquina de los Ángeles)

Resistencia a la abrasión.

La resistencia a la abrasión, desgaste, o dureza de un agregado, es una propiedad que depende principalmente de las características de la roca madre. Este factor cobra importancia cuando las partículas van a estar sometidas a un roce continuo como es el caso de pisos y pavimentos, para lo cual los agregados que se utilizan deben estar duros.

Para determinar la dureza se utiliza un método indirecto cuyo procedimiento se encuentra descrito en la Normas ICONTEC 93 y Norma ICONTEC 98 para los agregados gruesos. Dicho método más conocido como el de la Máquina de los Ángeles, consiste básicamente en colocar una cantidad especificada de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que está montado horizontalmente. Se añade una carga de bolas de acero y se le aplica un número determinado de revoluciones. El choque entre el agregado y las bolas da por resultado la abrasión y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje inicial.

Porcentaje de desgaste = $[Pa - Pb] / PA$

Dónde:

- Pa es la masa de la muestra seca antes del ensayo (grs).
- Pb es la masa de la muestra seca después del ensayo, lavada sobre el tamiz 1.68 mm.

Ensayo de compresión simple

El procedimiento tal vez más intuitivo y más simple de valorar la resistencia de un material consiste en someterlo a un esfuerzo axial llevado hasta rotura. Por lo general, este sistema se utiliza en gran variedad de materiales en el ámbito de la ingeniería, y en especial para aquellos en los que se supone una situación de servicio a compresión y de los cuales llega incluso a desestimarse en un cálculo simplificado su resistencia a tracción, tal cual no es inusual en el caso del hormigón, de los aglomerados asfálticos o de las rocas ornamentales. El ensayo de rotura a compresión se utiliza con profusión como parámetro supervisor en el control de calidad de materiales (www.estudiosgeotecnicos.info).

Banco las Colinas

Este banco de material es de origen volcánico de roca tipo andesita, se localiza en el municipio de Boaco en la comunidad el Quebracho, exactamente en las coordenadas N647050-E1375300, el acceso es tomando el camino a la comunidad el Quebracho al Sureste de Boaco, aproximadamente unos 3 ½ kilómetros donde se encuentra el afloramiento a mano derecha sobre la carretera, el cual presenta un área de 78.72 Ha, se puede observar que se ha estado extrayendo material para revestimiento de caminos.

Anteriormente descrito la propuesta de banco de materiales “las Colinas” cumple con los criterios necesarios para ser trabajado como un banco de materiales.

La muestra extraída del banco fue sometida a pruebas de laboratorio, para conocer sus propiedades físicas mecánicas, obteniendo los resultados de su peso específico, su porcentaje de absorción, porcentaje de desgastes y su resistencia a la compresión simple (Tabla N°3).

Descripción	Las Colinas "Muestra BLC-001"
Peso específico (g/cm ³)	2.6
Peso específico saturado y superficialmente seco (g/cm ³)	2.63
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.67
% Absorción	0.8
% de desgastes	12.68
Resistencia a la compresión simple (Kg/cm ²)	210-520

Tabla N°3. Resultados obtenidos de la muestra analizada en laboratorio.

Banco cerro Largo

Este banco de material al igual que el otro también es de origen volcánico roca andesita, se localiza en el municipio de Boaco en la comunidad de cerro Largo, exactamente en las coordenadas N648615-E1376763, el acceso es tomando el camino a la comunidad cerro Largo al Sureste de Boaco, aproximadamente unos 3 ½ kilómetros donde se encuentra el afloramiento a mano izquierda sobre la carretera, el cual presenta un área de 29.5 Ha.

Esta muestra extraída del banco también fue sometida a pruebas de laboratorio, para conocer sus propiedades físicas mecánicas, obteniendo los resultados de su peso específico, su porcentaje de absorción, porcentaje de desgastes y su resistencia a la compresión simple (Tabla N°4).

Descripción	cerro Largo "Muestra CCL-001"
Peso específico (g/cm ³)	2.5
Peso específico saturado y superficialmente seco (g/cm ³)	2.63
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.58
% Absorción	2
% de desgastes	17.42
Resistencia a la compresión simple (Kg/cm ²)	227-550

Tabla N^o4. Resultados obtenidos de la muestra analizada en laboratorio.

e. Análisis de los resultados.

Dentro del análisis de los resultados se obtuvieron las densidades para Banco “Las Colinas” de 2.6 g/cm³, y el banco “Cerro Largo” es de 2.5 g/cm³ encontrándose dentro de los intervalos especificados que es de 2.48 a 2.8 g/cm³.

Los resultados de la densidad aparente para el Banco “Las Colinas” es de 2.67 g/cm³, y el Banco “Cerro Largo” es de 2.58 g/cm³; encontrándose dentro de los valores establecidos que esta entre 2.3 y 2.9 g/cm³; indicando las especificaciones técnicas que cuanto mayor es la densidad de la roca mejor es su calidad y su valor de adsorción es menor.

En los resultados obtenidos del porcentaje de absorción para el Banco “Las Colinas” es de 0.8 %, y el Banco “Cerro Largo” es de 2 %, según las especificaciones técnicas una roca de buena capacidad es la que absorbe <5%, indicando que la roca es de muy buena calidad ya que presenta una mínima cantidad de poros o espacios vacíos en su matriz.

Los resultados de porcentaje de desgaste para el Banco “Las Colinas” es de 12.68 %, y el Banco “Cerro Largo” es de 17.42%, según las especificaciones técnicas se recomienda que si el agregado será usado en concreto, el desgaste debe de ser menor al 35% y para otras estructuras el porcentaje de desgaste deberá ser menor al 40%. Indicando que las muestras están entre los límites establecidos.

Para la resistencia a la compresión simple el resultado del Banco “Las Colinas” es de 210-520 Kg/cm², y el Banco “Cerro Largo “es de 227-550 Kg/cm² según las especificaciones técnicas indican que la resistencia a la compresión simple debe de ser mayor a los 210 kg/cm², indicando este parámetro que la roca se encuentra sana y valores menores a 210 kg/cm² describen que la roca se encuentra alterada.

Obteniendo todos estos resultados se concluye que los Bancos de materiales cumplen con las normas para ser usados para base, sub-base, mantenimiento y mejoramiento de caminos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

a. Conclusiones

Se lograron identificar 4 unidades litológicas cada una de ellas se diferencian por su extensión, por sus características físicas, composición litológica y espesores.

- Unidad Toba y tobas Ignimbríticas (Tpci) Coyol superior.
- Unidad Andesita (Tpcb) Coyol superior.
- Unidad Dacita (Tmcd) Coyol inferior.
- Unidad de Sedimentos (Qal) Cuaternarios.

En el área se identificaron tres sistemas de fallas principales, relacionadas a la presente situación del fallamiento que originó la depresión de Nicaragua. Los más predominantes son el sistema de fallas con orientación NW-SE y NE-SW, el sistema de falla NE-SW es considerado como el más joven y por último el sistema de falla N-S, la dirección del movimiento preferencial de esta zona estructural es de dirección NE-SW.

De igual forma en el ámbito estructural, se identificaron estructuras circulares, producto de subsidencia de antiguas cámaras magmáticas.

Para los bancos de materiales las pruebas de laboratorio realizadas a las muestras recolectadas en situ, se determinaron las propiedades físico-mecánicas de la roca (andesita), gravedad específica, absorción, prueba de desgaste con máquina de los Ángeles y resistencia a la compresión simple. Los resultados obtenidos de laboratorio dan resultados satisfactorios los cuales fundamentan que la roca puede ser utilizada para base, sub- base y para tratamiento superficial de caminos.

b. Recomendaciones

Realizar un mapeo geológico a detalle, escala 1:10000 para una mejor subdivisión de las formaciones del Grupo Matagalpa y el Grupo Coyol.

Efectuar estudios geofísicos para mayor veracidad de las estructuras geológicas presentes en el área, ya que la accesibilidad es limitada debido a los terrenos abruptos.

Enfocar la geología económica a la identificación de bancos de materiales de buena calidad para la promover la minería no metálica en Nicaragua.

Ejecutar estudio de cálculo de volumen y reserva de los bancos de materiales, ya que no se realizaron estudios geofísicos y no se obtuvo la extensión real del cuerpo rocoso para esto se recomienda realizar perforaciones para cálculo de reservas adecuadas.

Realizar análisis químicos y petrográficos a los bancos de materiales y para los estudios geofísicos se recomienda realizar tomografía eléctrica y sísmica.

BIBLIOGRAFÍA

- Alain Foucault, Jean Francois Raoult. (1985). Diccionario de Geología.
- AMUNIC, (1997). Revista de caracterización del municipio de Boaco. Publicada por Instituto Nicaragüense de Fomento Municipal. (INIFOM).
- Baroň I, Novotný R, Kernstocková M, Buriánek D, Havlíček P, Hradecký P, Melichar R (2008) Geomorphic, structural and paleostress analysis of a Quaternary giant slope failure near Boaco and Santa Lucía (Nicaragua, Central America). In: Jaboyedoff M (ed) Collection of Abstracts from the Congress Slope Tectonics 2008, 15–16th February 2008. University of Lausanne.
- Buitrago N. (2005), evaluación del potencial hídrico del entorno de la ciudad de Boaco.
- Buriánek D, Žáčková E, Hradecký P, Havlíček, Novotný R, Baroň I (2008) Mapa geológico del territorio del Boaco, Nicaragua 1: 50,000 (in Spanish).
- Cepeda, L., (1986). Apuntes de Petrología Ígnea, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ehrenborg J (1996) A new stratigraphy for the Tertiary volcanic rocks of the Nicaraguan Highland. Geol Soc Am Bull 108: 830–842.
- Garayar J. (1971). se realizó un levantamiento geológico y anotaciones de depósitos mineralógicos de carácter regional en Chontales y Boaco. El reporte describe el levantamiento geológico semi-regional para el entendimiento de la geología en esa región.
- Hodgson G. (1972) Mapa geológico de la hoja topográfica La Libertad. Catastro e Inventario de Recursos Naturales, Managua, Nicaragua.
- Hodgson, G. (2002). Geología Histórica e Historia Geológica Estructural, Tectónica simplificada de Nicaragua y América Central, 2da Edición.

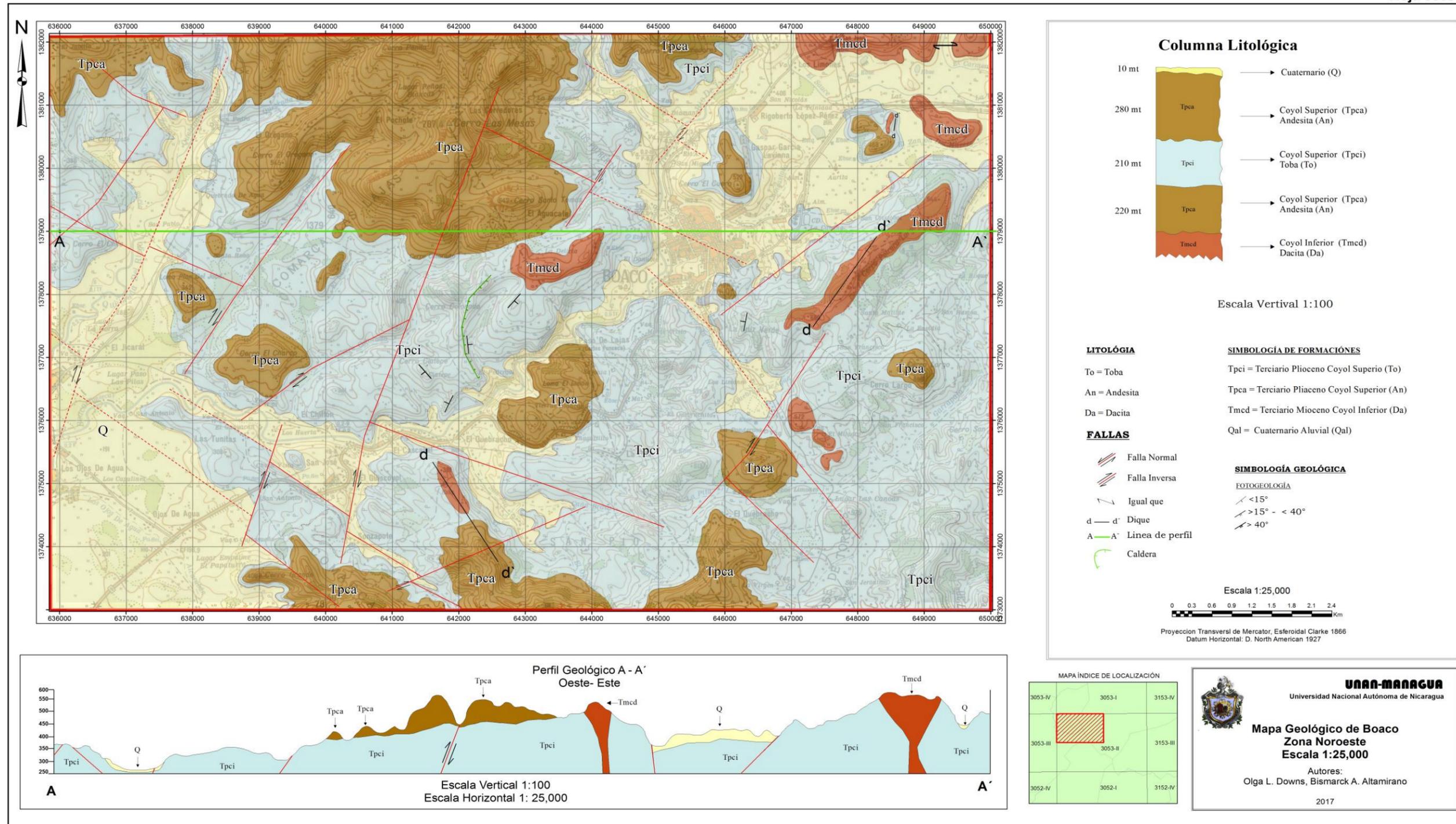
- Hodgson, G. (2000). Geología Regional. Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua.
- Hodgson, G. (1984), Resumen de la Geología dentro de la Geo transversal Costa a Costa.
- Lilljequist y Hodgson. (1983). Desplazamiento de las actividades Volcánicas en Nicaragua y su Relación entre paleo-arcos antiguos y Depósitos Minerales.
- McBirney AR, Williams H (1965) Volcanic History of Nicaragua. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, pp 1–65
- Plan Nacional de desarrollo. “Prioridades del departamento”. Consultado en, <http://www.pnd.gob.ni/Boaco.shtm>. Fecha de consulta: 1-12-2005.
- Plan Ambiental de Nicaragua-consolidado Boaco.
-

Páginas Web

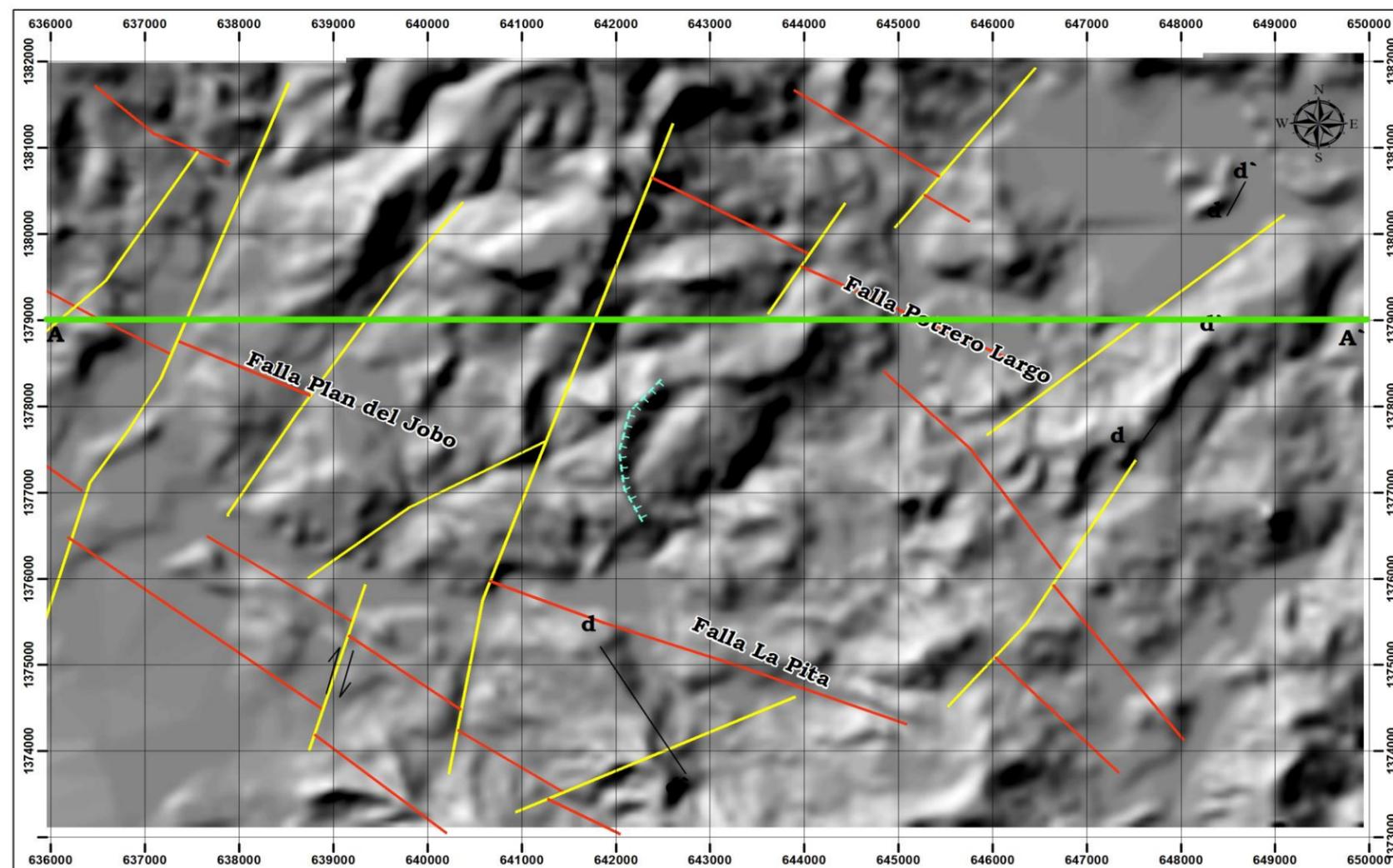
- Consolidado departamental de Boaco, Plan Ambiental de Nicaragua. Pdf.
- datateca.unad.edu.co/contenidos/30172/.../leccin_12_patrones_de_drenaje.html
- http://ingenieriacivilfacil.blogspot.com/2014/07/laboratorio-determinacion-del_30.html
- http://transportesedimentos.tripod.com/esp/pagina_nueva_12.htm
- http://www.academia.edu/7562508/Ingenier%C3%ADa_Civil_Determinaci%C3%B3n_A_La_Resistencia_Al_Desgaste_Por_Cargas_Abrasivas
- <http://www.ingeodav.fcen.uba.ar/Curso/estructural/08-Diaclasas.Cortes.pdf>

- http://www.pinzuar.com.co/pinzuar/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=158&virtuemart_category_id=15&Itemid=149&lang=es
- http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0256-70242011000200006
- <http://www.unalmed.edu.co/~geotecni/GG-07.pdf>
- notasdeconcretos.blogspot.com/2011/04/granulometria-del-agregado-fino.html
- Noviembre 2010, Anexos diagnóstico Red Vial Boaco 01436 CON-N
- www.bdigital.unal.edu.co/1572/294/macizorocoso.pdf
- [www.estudiosgeotecnicos.info/.../ensayos-de-laboratorio-resistencia-de-los-suelos-1/\)](http://www.estudiosgeotecnicos.info/.../ensayos-de-laboratorio-resistencia-de-los-suelos-1/)

ANEXOS



Anexo N°1. Mapa geológico.



Mapa Estructural

Leyenda

Fases de Deformación

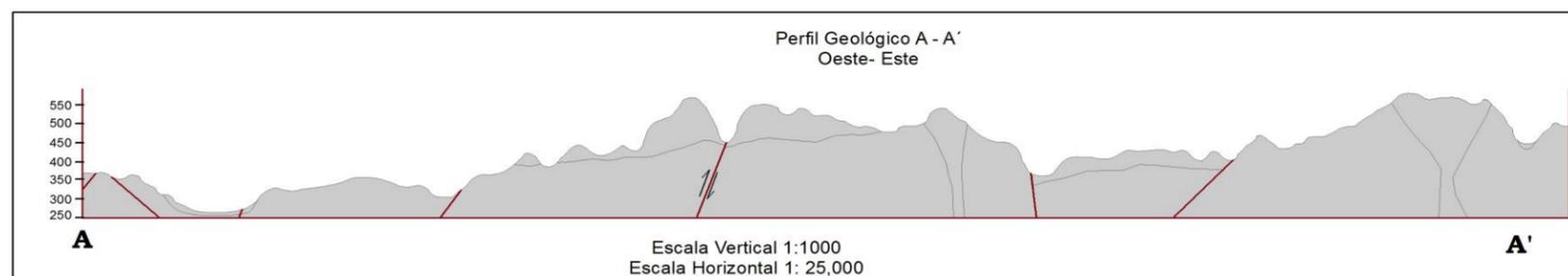
- Falla — 1 Evento, NW-SE
- Falla — 2 Evento, NE-SW

- Caldera — [Symbol]
- Área de estudio — [Symbol]
- Línea de Perfil — [Symbol]
- Dique — d — d'

Escala: 1:50,000

0 0.375 0.75 1.5 2.25 3 Km

Proyección Transversal de Mercator,
Esferoidal Clarke 1866
Datum Horizontal:
D. North American 1927

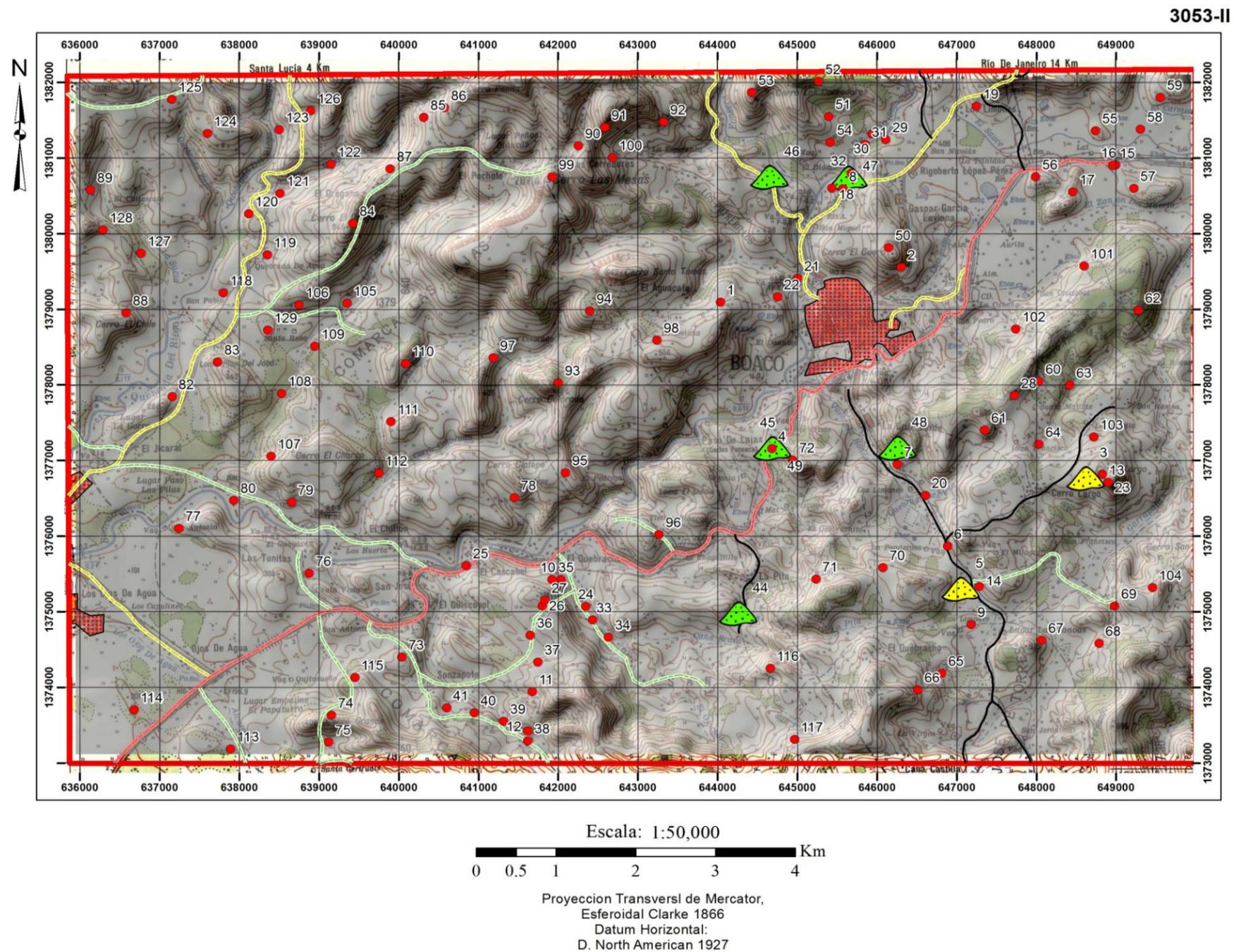


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA

ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA
DEL OESTE DE BOACO (SERIE 3053-II),
ESCALA 1:25,000.

Br. Olga Larissa Downs Meza.
Br. Bismarck Antonio Altamirano Ramírez.

Anexo N°2. Mapa estructural.



Mapa de Bancos de Materiales

Leyenda

- Puntos de Muestreo** ●
- Bancos Antiguos** ▲
- Bancos Propuestos** ▲
- Ciudad** [Red hatched area]
- Área de estudio** [Red outline]

Caminos

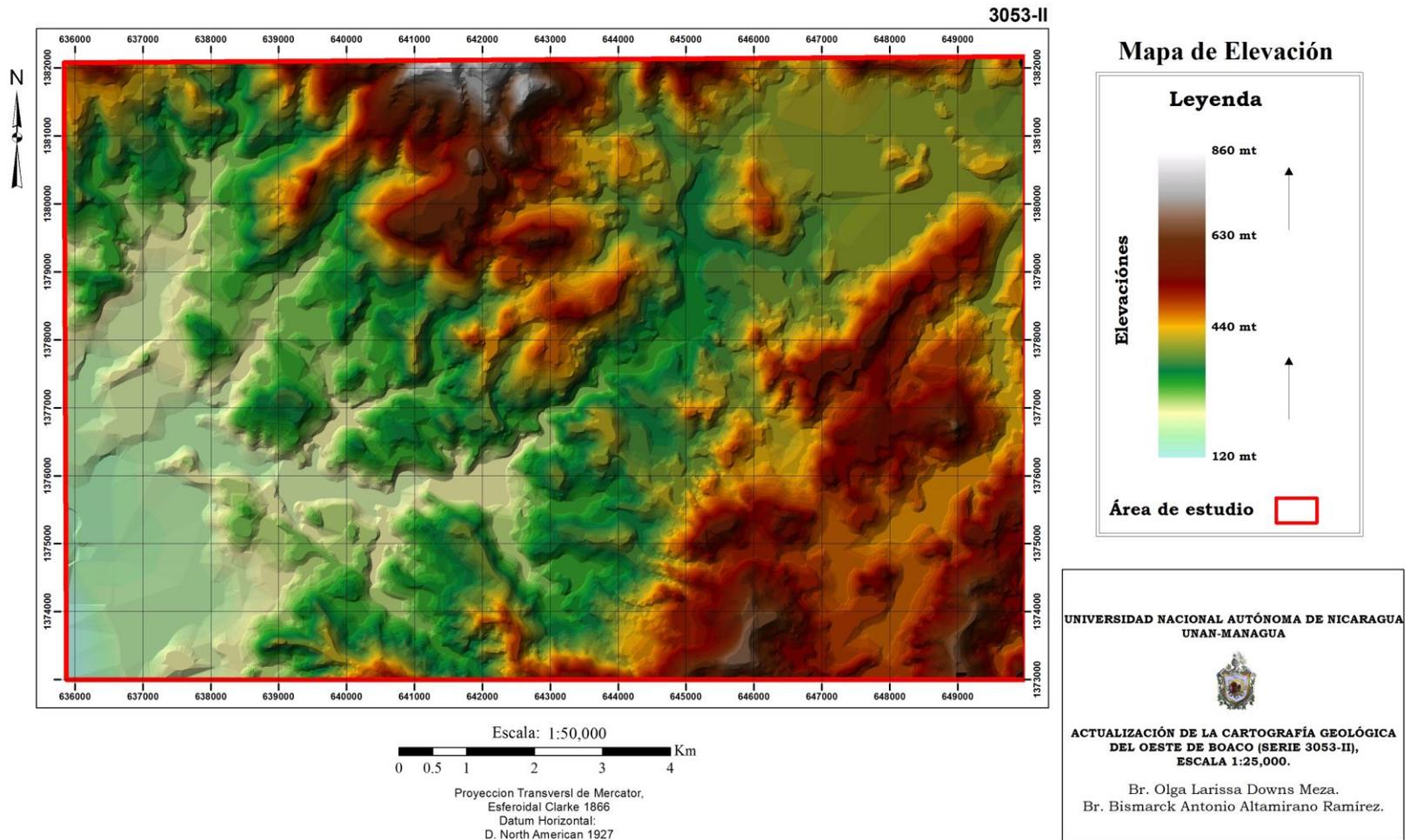
- Camino Revestido [Yellow dashed line]
- Camino de Estación Seca [Green dashed line]
- Camino de Todo Tiempo [Black solid line]
- Carretera Asfaltada [Red solid line]

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA
UNAN-MANAGUA**

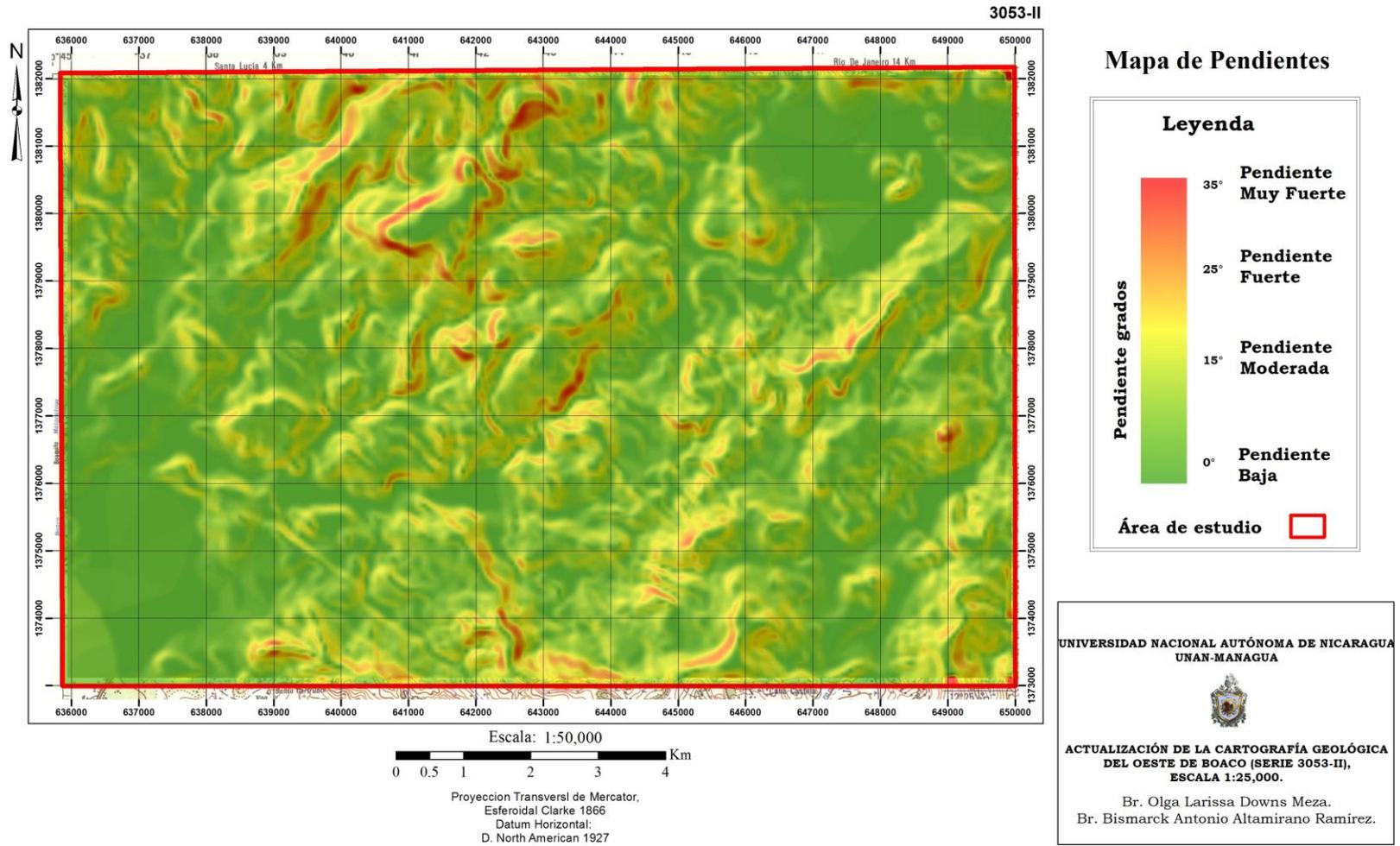
**ACTUALIZACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA
DEL OESTE DE BOACO (SERIE 3053-II),
ESCALA 1:25,000.**

Br. Olga Larissa Downs Meza.
Br. Bismarck Antonio Altamirano Ramírez.

Anexo N°3. Mapa de puntos de muestreo.



Anexo N°4. Mapa de elevación.



Anexo N°5. Mapa de pendientes.

Tabla N^o4. Puntos de muestreo.

Punto	X	Y	Z	Roca
1	644040	1379094	461	Toba
2	646308	1379558	447	Andesita
3	648615	1376763	596	Andesita
4	644687	1377161	373	Andesita
5	647050	1375300	485	Andesita
6	646890	1375870	494	Andesita
7	646261	1376953	447	Andesita
8	645575	1380592	398	Sedimentos
9	647183	1374835	480	Andesita
10	642038	1375429	287	Toba
11	641680	1373943	358	Toba
12	641624	1373428	318	Toba
13	648832	1376821	634	Andesita
14	647286	1375334	486	Dacita
15	648964	1380902	403	Dacita
16	648998	1380906	404	Dacita
17	648462	1380554	430	Dacita
18	645439	1380604	369	Sedimentos
19	647250	1381685	428	Dacita
20	646609	1376540	426	Terraza
21	645005	1379407	332	Sedimentos
22	644755	1379168	360	Toba
23	648904	1376710	667	Andesita
24	642351	1375070	260	Sedimentos
25	640852	1375609	231	Sedimentos
26	641805	1375078	375	Toba
27	641837	1375153	372	Toba
28	647730	1377860	576	Dacita
29	646112	1381241	381	Sedimentos
30	645945	1381320	382	Sedimentos
31	645856	1381182	380	Sedimentos
32	645680	1380800	380	Sedimentos
33	642438	1374896	260	Sedimentos
34	642635	1374667	260	Sedimentos
35	641926	1375426	311	Toba
36	641654	1374691	338	Toba
37	641750	1374333	352	Toba

Punto	X	Y	Z	Roca
38	641625	1373292	305	Toba
39	641317	1373555	300	Sedimentos
40	640950	1373663	316	Toba
41	640605	1373730	315	Toba
42	644260	1374973	359	Toba
43	644687	1377161	373	Andesita
44	644652	1380746	400	Toba
45	645639	1380733	381	Sedimentos
46	646255	1377163	429	Andesita
47	644687	1377161	373	Andesita
48	646151	1379817	514	Andesita
49	645397	1381550	439	Toba
50	645271	1382013	556	Andesita
51	644431	1381867	535	Andesita
52	645416	1381206	409	Toba
53	648744	1381358	418	Sedimentos
54	647993	1380750	432	Andesita
55	649225	1380598	427	Dacita
56	649309	1381378	390	Sedimentos
57	649559	1381802	424	Dacita
58	648032	1378046	531	Dacita
59	647353	1377405	578	Toba
60	649283	1378986	505	Dacita
61	648419	1377996	473	Toba
62	648032	1377215	514	Toba
63	646813	1374186	510	Toba
64	646514	1373970	604	Andesita
65	648070	1374624	508	Toba
66	648788	1374586	532	Toba
67	648985	1375075	497	Toba
68	646076	1375583	540	Andesita
69	645238	1375430	517	Toba
70	644946	1377005	443	Toba
71	640044	1374402	326	Toba
72	639161	1373633	342	Andesita
73	639123	1373278	281	Sedimentos
74	638882	1375506	240	Sedimentos
75	637243	1376103	210	Sedimentos
76	641453	1376510	301	Toba

Punto	X	Y	Z	Roca
77	638659	1376446	240	Sedimentos
78	637936	1376472	200	Sedimentos
79	637161	1377843	249	Sedimentos
80	637732	1378300	314	Andesita
81	639428	1380136	522	Andesita
82	640317	1381539	556	Andesita
83	640577	1381666	632	Andesita
84	639898	1380860	482	Andesita
85	636583	1378955	307	Toba
86	636138	1380580	336	Toba
87	642260	1381164	667	Andesita
88	642590	1381406	710	Andesita
89	643327	1381475	554	Andesita
90	642006	1378027	471	Toba
91	642400	1378980	500	Andesita
92	642095	1376840	378	Toba
93	643270	1376022	345	Toba
94	641193	1378358	376	Toba
95	643244	1378593	495	Dacita
96	641930	1380752	691	Andesita
97	642685	1381006	572	Andesita
98	648604	1379570	452	Toba
99	647746	1378739	453	Toba
100	648724	1377310	534	Toba pomácea
101	649461	1375322	563	Toba
102	639356	1379081	261	Toba
103	638754	1379061	312	Toba
104	638403	1377057	259	Toba
105	638535	1377884	242	Toba
106	638952	1378512	267	Toba
107	640090	1378281	329	Andesita
108	639905	1377513	296	Toba
109	639752	1376832	252	Andesita
110	637894	1373188	228	Sedimentos
111	636683	1373703	200	Sedimentos
112	639451	1374130	327	Andesita
113	644664	1374255	508	Toba
114	644969	1373316	584	Andesita
115	637805	1379218	240	Sedimentos

Punto	X	Y	Z	Roca
116	638356	1379719	291	Toba
117	638123	1380264	289	Sedimentos
118	638515	1380534	290	Toba
119	639155	1380920	317	Toba
120	638504	1381375	304	Toba
121	637605	1381322	386	Toba
122	637160	1381778	417	Andesita
123	638901	1381624	389	Andesita
124	636773	1379740	272	Toba
125	636297	1380050	339	Toba
126	638360	1378724	300	Andesita

GLOSARIO

Banco de préstamo: se entiende como banco de préstamo a los yacimientos de sustancias minerales y rocas no metálicos compuesto por material consolidado y no consolidado, cuyo uso está designado para las obras de infraestructura, que no requieran más operaciones que las de arranque, fragmentación y clasificación.

Cloritización: Proceso de alteración de los ferromagnesianos y otros minerales, transformándose en cloritas.

Dacita: es una roca ígnea volcánica con alto contenido de hierro. Su composición se encuentra entre las composiciones de la andesita y de la riolita, al igual que la andesita, se compone principalmente de feldespato, plagioclasa con biotita, hornblenda y piroxeno (augita y/o enstatita). Posee una textura entre afanítica y pórfida, con cuarzo en forma de cristales de tamaño considerable redondeado corroído, o como elemento de su pasta base.

Dique: intrusión o modo de filón formado por rocas magmáticas que atraviesan una serie de estratos.

Félsico: minerales claros, ricos en elementos ligeros como el silicio, oxígeno, aluminio, sodio y potasio.

Meteorización: Proceso de modificación de los minerales y rocas por acción de los agentes de erosión, agua, viento y sol etc.

Movimiento cortical: movimiento de la corteza.

Obducción: hace alusión al choque de los continentes.

Ofiolita: son asociaciones de rocas ultramáficas, máfico y máfico volcánico, constituyente de la corteza y litosfera oceánica que aparecen dispuestas en la corteza continental como consecuencia de un fenómeno llamado obducción.

Permeabilidad: propiedad de los terrenos porosos y permeables de dejar pasar el agua fácilmente siguiendo las leyes hidrostáticas. La permeabilidad depende del tamaño, de la forma y del acomodo de los elementos constituyentes de las rocas.

Textura afanítica: de grano fino.

Textura fanerítica: de grano grueso.

Textura microlítica: cristales únicamente visibles al microscopio (microlitos). Indica enfriamiento rápido del magma.

Toba volcánica: rocas piroclásticas formada por fragmentos procedentes de las explosiones volcánicas. Las tobas están constituidas por materia amorfa (vidrio volcánico) minerales cristalinos augitas, leucitas, plagioclasas, etc, y materiales preexites en el suelo.

Yacimientos o depósitos: todos los afloramientos o concentraciones naturales de rocas de uno o varios minerales.

Zeolita: grupo de tectosilicato que químicamente son silicatos de aluminio, sodio y calcio con agua. Suelen ser incoloras o blancas pero, avances pueden ser pardas o rojizas su dureza oscila entre 3.5- 5.5, el peso específico entre 2- 2.4.