



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

RECINTO UNIVERSITARIO RUBÉN DARÍO
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA
INGENIERÍA GEOLÓGICA

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA HOJA TOPOGRÁFICA LOS CHILES
(3249-I) ESCALA 1:50,000.**

Monografía para optar al título de Ingeniero Geólogo

Elaborado por:

Br. Pedro Ricardo Benavidez Hernández.

Br. Wallan Alberto Puerto Puerto.

Tutor:

MSc. Edmundo Aguirre Altamirano.

Asesora:

MSc. Gema Velásquez Espinoza.

Managua, julio de 2021

**CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA HOJA TOPOGRÁFICA LOS CHILES
(3249 - I) ESCALA 1: 50,000.**

Dedicatoria

A Dios, por darme la fortaleza, perseverancia y sabiduría para poder culminar con éxito una etapa más de mi formación académica.

A mis padres y abuelos, por ser las personas más imprescindibles de mi vida; ya que son el pilar fundamental de todos mis logros alcanzados y la fuente de inspiración para continuar desarrollándome a nivel personal y profesional.

De igual manera, a mis familiares que han destinado parte de su valioso tiempo para apoyarme siempre incondicionalmente.

Nunca podré agradecerles lo suficiente todo lo que han hecho por mí. Gracias por estar a mi lado siempre.

Pedro Ricardo Benavidez Hernández.

Dedicatoria

Primeramente, gracias a Dios por darme la oportunidad de poder culminar con esta meta propuesta.

A mis padres, por apoyarme incondicionalmente y por estar pendiente de mi en todo momento,

A Jaime Vázquez y Johanna Torrez por toda su ayuda, que me proporcionaron, durante estuve con ellos y brindarme su confianza y tratarme como a un hijo, ya que me correspondieron cuando yo los necesitaba y siempre lo hacían con buena voluntad y con deseo de servirme.

A mis hermanos y familia por darme toda su protección necesaria para poder lograr este propósito de mi vida, y en los momentos difíciles y de desanimo estuvieron presentes.

De igual manera a todos todos mis amigos que me animaban con sus consejos y siempre me motivaban a seguir con mi meta propuesta.

Wallan Alberto Puerto Puerto.

Agradecimiento

Estamos completamente agradecidos con Dios por habernos permitido desarrollarnos académicamente y culminar con éxito nuestra carrera universitaria.

A nuestro tutor, el maestro Edmundo Aguirre por sus consejos y apoyo brindado durante todo el proceso de esta investigación, desde la formulación del tema hasta la publicación final de este documento.

A nuestra querida profesora y asesora de monografía, la MSc. Gema Velásquez Espinoza, por estar siempre al pendiente y apoyándonos en este trabajo monográfico, el cual es de suma importancia para nosotros. También queremos agradecer sus buenas enseñanzas brindadas durante toda la etapa de nuestra formación como ingenieros.

Al cuerpo de docentes de la carrera de ingeniería geológica que nos transmitieron muchos de sus conocimientos en base a sus experiencias en el campo de la geociencia.

De igual manera, a la ingeniera Sonia Pérez, por su apoyo y consejos brindados durante esta etapa de formación académica.

A nuestros amigos y compañeros de estudio que nos apoyaron durante esta maravillosa etapa universitaria. fue un placer coincidir con personas como ustedes.

También extendemos nuestro agradecimiento a los pobladores de la comunidad Los Chiles y comarcas aledañas que nos asistieron en momentos oportunos durante dábamos cumplimiento a las jornadas de campo.

Queremos agradecer de manera especial a nuestros amigos, los ingenieros, Arturo Aguilar, Brigieth Mejía, Christian Vega, Denis Meyer, Juan Vásquez, Greicy Aldana, Katerin Gutiérrez, Melissa Alemán y Yader Gurdían por el invaluable apoyo brindado para el desarrollo y culminación de esta investigación.

Pedro Ricardo Benavidez Hernández.

Wallan Alberto Puerto Puerto.

Ing. Edmundo Aguirre Altamirano
Docente: Carrera Ing. Geológica – Unan - Managua
Email : edaguirre54@yahoo.com.mx
Teléfonos: # 7651-2080/ # 2254-5635

Managua, 21 de junio de 2021

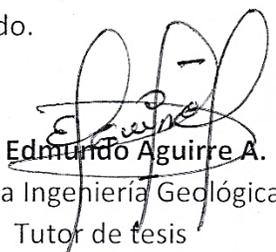
MSc. Elim Campos Pérez

Director Departamento de Tecnología
Facultad de Ciencias e Ingeniería.
UNAN – Managua.

Estimado MSc. Campo.

Por medio de la presente hago constar que los **Brs. PEDRO RICARDO BENAVIDEZ HERNANDEZ** (Carnet # 10045705) Y **WALLAN ALBERTO PUERTO PUERTO** (Carnet # 11042350) , quienes desarrollaron el trabajo monográfico que lleva por título: ``**CARTOGRAFIA GEOLOGICA DE LA HOJA TOPOGRAFICA LOS CHILES (3249-1) ESCALA 1: 50,000**`` y en calidad de tutor de los estudiantes, doy visto bueno de la culminación del trabajo de tesis, la cual esta lista a ser presentada y defendida antes el honorable tribunal examinador, designado por el Departamento de Tecnología

Agradeciendo su atención, le saludo.


Prof. Edmundo Aguirre A.
Carrera Ingeniería Geológica
Tutor de tesis

- Cc. MSc. Francisco Javier Espinoza ,
(Coordinador de la Carrera de Geología)
- Archivo.

Resumen

En el presente trabajo monográfico realizado en el área de los chiles, se delimitaron 6 unidades geomorfológicas, se prosiguió a determinar las fases de deformación que afectan el sitio, se elaboró un análisis petrográfico de las principales unidades litológicas presentes en los chiles, se definieron las unidades litológicas que se encuentran dentro del perímetro de estudio y se propuso la columna estratigráfica del área de estudio.

Durante la ejecución de este proyecto se tomó en cuenta los métodos como la etapa de gabinete, en esta etapa se procedió a la compilación y análisis de los antecedentes donde se realizó el cartografiado geológico. En la etapa de campo, en esta etapa se procedió a visitar el área de estudio, utilizando como guía un mapa preliminar elaborado en la etapa de gabinete, en este mapa se mostraron las diferentes estructuras; así como, posibles fallas, fracturas, lineamientos, estructuras circulares y afloramientos o bancos de materiales.

Se realizaron 7 análisis petrográfico en donde fueron analizadas en microscopio para determinar el tipo de roca y sus minerales que la componen, se logró determinar que la litología se compone principalmente de rocas andesitas y basálticas, las cuales son pertenecientes al sub grupo Coyol inferior y Matagalpa superior, se registraron alrededor de 370 puntos, proporcionaron información litológica, estructural y topográfica necesaria para el desarrollo de un mapa geológico a escala 1:50,000.

Índice

| | |
|--|----|
| Capítulo I | 1 |
| 1.1. Introducción..... | 1 |
| 1.2. Planteamiento del problema | 2 |
| 1.3. Justificación..... | 3 |
| 1.4. Objetivos..... | 6 |
| 1.4.1. Objetivo General | 6 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos..... | 6 |
| 1.5. Localización y vías de acceso..... | 7 |
| 1.5.1. Localización | 7 |
| 1.5.2. Vías de acceso | 8 |
| Capítulo II..... | 10 |
| 2.1. Marco Referencial..... | 10 |
| 2.1.1. Antecedentes..... | 10 |
| 2.1.2. Marco Teórico..... | 20 |
| 2.1.3. Marco conceptual | 34 |
| 2.2. Hipótesis | 47 |
| Capitulo III..... | 48 |
| 3.1. Diseño metodológico | 48 |
| 3.1.1. Tipo de estudio..... | 48 |

| | |
|--|--------------------------------------|
| 3.1.2. Área de estudio. | 49 |
| 3.1.3. Universo y muestra. | 49 |
| 3.1.4. Métodos, técnicas de recolección de datos. | 49 |
| 3.1.5. Procedimientos para la recolección de datos e información. | 52 |
| 3.1.6. Plan de análisis y procesamiento de los datos e información. | 53 |
| 3.1.7. Matriz de operacionalización de variables independientes. | 59 |
| Capítulo IV | 60 |
| 4.1. Análisis y discusión de resultados. | 60 |
| 4.1.1. Hidrografía. | 60 |
| 4.1.2. Geomorfología. | 69 |
| 4.1.3. Geología. | 82 |
| 4.1.4. Petrografía. | 104 |
| 4.1.4. Estructural. | ¡Error! Marcador no definido. |
| Capítulo V | 113 |
| 5.1. Conclusiones | 113 |
| 5.2. Recomendaciones. | 114 |
| 5.3. Bibliografía | 115 |
| 5.4. Anexo | 118 |

Índice de ilustraciones

| | |
|--|----|
| Ilustración 1. Índice de mapas geológicos de Nicaragua confeccionados hasta 1984 a escala 1:50,000 (INETER-DGG)..... | 4 |
| Ilustración 2. Índice de conocimiento en el terreno de mapas geológicos de Nicaragua en 1:50,000 u otras escalas hasta el primer semestre del 2020 (MEM-DGG)..... | 5 |
| Ilustración 3. Mapa de localización y vías de acceso al área de estudio. | 9 |
| Ilustración 4. Bosquejo de la configuración geológica regional de Nicaragua. Se muestra la cadena de volcanes activos (línea de puntos), así como las velocidades promedio de deriva de las placas según su posición (Frischbutter A., 2002). | 20 |
| Ilustración 5. Vista general del relieve submarino de la Placa Caribe (Explocaribe, 2011)..... | 21 |
| Ilustración 6. Rasgos tectónicos cercanos al arco de las Antillas Menores. En la esquina superior derecha se presenta el área de estudio dentro del contexto de la placa del Caribe. Las abreviaciones simbolizan: NA, Placa Norteamericana; SA, Placa Surame..... | 22 |
| Ilustración 7. Mapa tectónico regional de Centroamérica (Donnelly et al., 1990 & Escalante, 1990)..... | 23 |
| Ilustración 8. Escenario geotectónico actual de Centroamérica y el Caribe, que muestra los ensamblajes oceánicos y las ocurrencias de peridotita de Costa Rica y Nicaragua. NDPB: Cinturón de Panamá deformado del norte, PFZ: Zona de fractura de Panamá, M | 25 |
| Ilustración 9. Mapa de las Provincias Geológicas Estructurales de Nicaragua (Hodgson G., 1977). | 31 |
| Ilustración 10. Bloque diagramático de las distintas estructuras ígneas. | 42 |
| Ilustración 11. Ilustración 11. Clasificación de las fallas conforme al movimiento relativo de los bloques. | 45 |

| | |
|---|-----|
| Ilustración 12. Criterios para definir el movimiento relativo de los bloques de falla..... | 46 |
| Ilustración 13. Mapa de Red hidrográfica y ordenes de corrientes (Cuenca teórica). | 67 |
| Ilustración 14. Mapa de la red de drenaje constante e intermitente (cuenca circulante). | 68 |
| Ilustración 15. Diagrama con rumbo NW-SE generalizada..... | 80 |
| Ilustración 16. Diagrama de roseta generalizado con dirección preferencial NE-SW. | 80 |
| Ilustración 17. Diagrama con rumbo NE-SW..... | 80 |
| Ilustración 18. Mapa geomorfológico del cuadrángulo Los Chiles..... | 81 |
| Ilustración 19. Columna litología generalizada para la hoja 3249-I..... | 102 |
| Ilustración 20. Mapa geológico de Los Chiles..... | 103 |

Índice de fotografías

| | |
|---|----|
| Fotografía 1. Costado Este de la caldera El Pavón, foto tomada en dirección Oeste, desde el punto N 1241908 - E 769272..... | 70 |
| Fotografía 2. De fondo se aprecia Dique recubierto por un suelo orgánico, presenta un rumbo de N49°E y con coordenadas N 1244513 - E 749023, visando hacia el NW. Presenta altura aproximada de 50 m desde su base.Relicto de caldera | 70 |
| Fotografía 3. Colinas escarpadas y disectadas. Visando hacia el SE del punto con coordenadas de localización N 1240291 - E 771130..... | 71 |
| Fotografía 4. De fondo se aprecia un dique recubierto por suelo orgánico, presenta un rumbo de N49°E y con coordenadas N 1244513 - E 749023. Visando hacia el NW. Presenta altura aproximada de 50 m desde su base..... | 73 |

| | |
|--|----|
| Fotografía 5. Llanura de inundación del río Ventura, afluente del río Tule. En su margen se apreciaron árboles similares al mangle. El río fluye sobre un canal paralelo y solamente inunda el área circundante, produciendo un proceso de erosión y sedimentación. | 74 |
| Fotografía 6. Peniplanicie del sector NW la hoja Los Chiles. Vista desde el cerro El Bejuco, en dirección NW (E 750101 – N 1252712). | 75 |
| Fotografía 7. Terreno ligeramente ondulado con pendiente suaves. Fotografía tomada en dirección Oeste en coordenadas E 766525 – N 1242051. | 75 |
| Fotografía 8. Fotografía 7. Coordenadas E: 762153-N: 1239134 de la falla las maravillas, localizada en la comarca correspondiente al mismo nombre..... | 76 |
| Fotografía 9. Fotografía 8. Coordenadas: E: 761881-N-1238985 de la falla cerro la venada, en donde se encuentra afectando, las comarcas san José - Alejandro García..... | 77 |
| Fotografía 10. Lineamiento entre las coordenadas E. 771130- N.1240291 del área adyacente a Poza II. | 78 |
| Fotografía 11. Fotografía 10. N: 772619-E.1239613 del lineamiento el cual lleva como nombre las maravillas..... | 79 |
| Fotografía 12. Coordenadas E.763016 N. 1239101 de la falla ubicada en la comarca las maravillas la cual es conocida con el mismo nombre de la comarca. | 80 |
| Fotografía 13. Afloramiento de fragmentos andesíticos con alteración por zeolita del grupo Matagalpa (Tomm). Lomas de Año Nuevo (E: 771188 / N: 1240206)..... | 83 |
| Fotografía 14. Vista generalizada del flujo andesítico perteneciente al Tomm (E: 772671 / N: 1239820). | 84 |
| Fotografía 15. Pequeñas vetillas de cuarzo que se encuentran cortando la andesita producto a fluidos hidrotermales (E: 772671 / N: 1239820)..... | 85 |

| | |
|--|----|
| Fotografía 16. Alineación del bloque andesítico en la parte alta (cresta) del flujo con dirección N11°E..... | 85 |
| Fotografía 17. Flujo basáltico con vesículas de zeolita correspondiente al grupo Matagalpa (E: 773016 / N: 1242956)..... | 86 |
| Fotografía 18. Talud de roca andesita-basalto formado por la remoción de material para balastro. Comarca La Trinidad (E: 769479 / N: 1245768)..... | 87 |
| Fotografía 19. Roca andesito-basaltica alterada probablemente por un sistema hidrotermal de baja temperatura (E: 769479 / N: 1245768)..... | 87 |
| Fotografía 20. Roca fracturada en lajas, meteorizada y oxidada del grupo Matagalpa (Tomm). Comarca La Trinidad (E: 769479 / N: 1245768)..... | 88 |
| Fotografía 21. Andesita basalto cortada por pequeñas vetas de zeolita y disseminación con habito hojoso y en forma de natrolitas (Tomm)..... | 88 |
| Fotografía 22. En la zona de Las Maravillas obtuvo una roca con presencia de gasterópodos.... | 90 |
| Fotografía 23. Flujo andesítico masivo con alteración por sulfuro perteneciente al Tmca (E: 760160 / N: 1240594)..... | 91 |
| Fotografía 24. Andesita gris clara con alteración en sus feldespatos y hornblenda (Tmca)..... | 91 |
| Fotografía 25. Agrupamiento de bloques andesíticos en cerro El Pavón (E: 760140 / N: 1240124). | 92 |
| Fotografía 26. Muestra de andesita gris clara relleno de fractura con calcita (Tmca)..... | 92 |
| Fotografía 27. Cerro El Vejuco, constituido por aglomerado basáltico altamente meteorizado, 05112019-10 (E: 750015 / N: 1252676)..... | 93 |
| Fotografía 28. Aglomerado basáltico ubicado en el costado Sur de la caldera El Águila, comarca La Venada 08112019-3 (E: 754810 / N: 1239602). | 93 |

| | |
|--|-----|
| Fotografía 29. Bloques de aglomerado basáltico en la comarca La Venada (E: 753306 / N: 1238794). | 94 |
| Fotografía 30. Bloques de aglomerados andesíticos del Tmca (E: 765587 / N: 1243857). | 94 |
| Fotografía 31. Roca andesita completamente meteorizada..... | 95 |
| Fotografía 32. Roca basalto olivínico con presencia de sulfuros (Tmca). | 96 |
| Fotografía 33. Bloques fragmentados de Basalto andesita del Tmca (E: 767180 / N: 1250511). | 96 |
| Fotografía 34. Basalto andesita con fracturas rellenas de calcita del punto 30062019-27. | 97 |
| Fotografía 35. Roca completamente alterada por zeolitización y asociada a esta se encuentra cuarzo, pero en menor proporción. | 98 |
| Fotografía 36. Fragmentos de roca basáltica alterada, se aprecia vetillas de zeolita..... | 98 |
| Fotografía 37. Roca basáltica completamente meteorizada, 26062019-17 (E: 764270 / N: 1239207). | 99 |
| Fotografía 38. En el punto 27062019-17 se muestra una roca andesítica meteorizada y pasando a suelo. | 100 |
| Fotografía 39. Aguas turbias debido al transporte de partículas en suspensión, estas serán depositadas en las partes bajas de la cuenca formando depósitos de suelos arcillosos. Esta fotografía fue tomada en el punto 30062019-16, en el margen Este de un de un afluente del río Ventura (E: 766555 / N:1248462), que al mismo tiempo es afluente del río Tule..... | 101 |
| Fotografía 40. Se observa una lámina delgada de andesita con matriz vítrea (microlitos de plagioclasas) y con fenocristales de hornblenda (Hbl) y plagioclasas (Pl). Tomada en nícoles cruzados con objetivo de 5x..... | 104 |
| Fotografía 41. En la fotografía A se aprecian microlitos y fenocristales de plagioclasas, B plagioclasas alteradas por sericitización y hornblenda por cloritización, C plagioclasa y hornblenda | |

| | |
|---|-----|
| en nicoles paralelos. A y B tomada en nicoles cruzados (NC) y con objetivo de 5x, C) nicoles paralelos (NP) y con objetivo de 5x..... | 105 |
| Fotografía 42. A y B tomada con lentes 5x ubicación: 772671E/1239820N.se aprecia el piroxeno y unas oquedades en distintas secciones de la muestra..... | 106 |
| Fotografía 43. A, se aprecia un fenocristal de piroxeno completamente alterado por cloritización y pequeños microlitos de plagioclasas. B. Se aprecia in olivino alterado posiblemente a iddingsita. Tomada con lentes 5x ubicación; 766560E/ 1248424N. | 107 |
| Fotografía 44. A. Las plagioclasas predominan en 70% en correlación al anfíbol, también se aprecia la alteración por zeolita que se encuentra emplazada entre minerales. B. en la parte central se aprecia un fenocristal de clinopiroxeno rodeado de plagioclasas. Tomada con objetivo de 5x. | 109 |
| Fotografía 45. A y B tomadas con lentes 5 x ubicación: 76737E1/1250552 N se aprecia la alteración de oxidación las oquedades rellenas de Zeolita y Cuarzo, las plagioclasas se encuentran alteradas..... | 110 |
| Fotografía 46. A y B tomada con lentes 5x ubicación: 749828E/ 1252933N se observa el cuarzo y alrededor la zeolita y los clinopiroxenos alterados. | 111 |

Índice de tablas

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Vértices que delimitan el cuadrángulo de Los Chiles..... | 7 |
| Tabla 2. MOVI..... | 59 |
| Tabla 3. Resultados del análisis petrográfico. | 112 |

Índice de anexos

| | |
|--|-----|
| Anexo 1. Columna estratigráfica del área generalizada. | 118 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Anexo 2. Clasificación de rocas meteorizadas (modificado por Waltham, 1994). | 118 |
| Anexo 3. Horizontes del perfil de meteorización. | 119 |
| Anexo 4. Mapa geológico del occidente de Nicaragua a escala 1:250,000 (Managua 1972). | 119 |
| Anexo 5. Mapa de localización de los puntos de muestreos. | 120 |
| Anexo 6. Mapa Altimétrico. | 121 |
| Anexo 7. Mapa de pendientes. | 122 |
| Anexo 8. Índice ortofotográfico parcial de Río San Juan (1988). | 123 |
| Anexo 9. Descripción macroscópica con lupa estereográfica. | 123 |
| Anexo 10. Formato para descripción macroscópica en laboratorio. | 124 |
| Anexo 11. Procesamiento de datos estructurales en GeoRose. | 125 |
| Anexo 12. Procesamiento y comprobación de datos estructurales elaborados manualmente. | 125 |
| Anexo 13. Juego de instrumentos utilizados en análisis macroscópico. | 126 |
| Anexo 14. descripción de secciones delgadas y utilizando tabla de birrefringencia. | 126 |
| Anexo 15. Tabla de rangos de pendientes en grados. | 127 |
| Anexo 16. Estructuras circulares y alineamiento de los Paleo-Arcos Volcánicos. | 127 |
| Anexo 17. Tabla de puntos de muestreo en el cuadrángulo de Los Chiles (3249-I). | 128 |
| Anexo 18. Tabla de datos procesados para obtener el diagrama de diaclasa. | 140 |

Capítulo I

1.1. Introducción

La cartografía geológica ayuda a comprender la evolución geológica en tiempo y espacio de una región, del mismo modo, representa gráficamente la posición actual de las diferentes unidades litológicas, estructurales y geomorfológicas. Para la elaboración del estudio de esta área se tomó en cuenta información ligada a nuestra área de estudio, así como: mapa geológico y geomorfológico de San Carlos interpretado con imágenes del radar AN/APQ-97 a escala aproximada 1: 100,000

El problema principal en el área de Los Chiles radica en que no existe cartografía semidetallada, por tal razón se procedió a delimitar las diferentes unidades geomorfológicas existentes en el área, igualmente se definieron las fases de deformaciones estructurales que afectan el sitio, se elaboró un análisis petrográfico de las unidades presentes en el área, se definieron las unidades litológicas que se encuentran en el perímetro de estudio y se elaboró como propuesta una columna estratigráfica.

La elaboración de este trabajo fue dividida en dos etapas. La primera corresponde a la etapa de gabinete, la cual inicio con la compilación y análisis de los antecedentes donde se realizó el cartografiado geológico y la segundo pertenece a la etapa de campo que consistió en visitar el área de estudio, utilizando como guía un mapa preliminar elaborado en la etapa de gabinete, en este mapa se mostraron las diferentes estructuras; así como, fallas, fracturas, lineamientos, estructuras circulares y afloramientos o bancos de materiales.

1.2. Planteamiento del problema

El aporte geológico de una región es un factor importante el cual nos permite comprender el comportamiento dinámico de la tierra, lo que es fundamental para la determinación de los recursos naturales y sus diferentes aplicaciones. Por tanto, la falta de información geológica a escala semidetallada en la zona dificulta la ejecución de posibles proyectos, tal es el caso de la valoración de los recursos naturales para su posible explotación, o bien, para la prevención y mitigación de los riesgos geológicos.

El problema principal en el área de Los Chiles radica en que no existe cartografía semidetallada, a excepción del reporte geológico de la zona occidental de la cuenca del Río San Juan que cita en su bibliografía un estudio geológico no publicado de los cuadrángulos Cerro Pavón y Los Chiles, elaborado ambos estudios en 1973 por Juan Kuang. En 1971, Hunting Geology and Geophysics Ltd. elaboró el mapa geológico y geomorfológico de San Carlos para la Dirección General de Cartografía con escala aproximada 1: 100,000 y con veracidad “D” puesto que no se realizó trabajo de campo. Hasta hoy en día ninguna institución cuenta con un mapa semidetallado o con una investigación completa de la zona.

En años anteriores las vías de circulación dentro del área eran escasas de forma que esto impedía la realización de estudios geológicos. Hoy en día existe una red de caminos o senderos temporales que permiten una comunicación regular entre las comarcas del municipio. Esta comunicación regular es debido las altas y constantes precipitaciones que afecta a la zona la mayor parte del año, provocando una susceptibilidad al riesgo geológico exógeno.

1.3. Justificación

Este estudio se elaboró en esta zona del país debido a la particularidad morfológica que presenta el área y a la carencia de información litológica veraz y actualizada, puesto que en este cuadrante según los antecedentes geológicos regionales, semidetallados y próximos la hoja 3249-I se mantenían parcialmente indiferenciado.

Según el informe trienal publicado en agosto de 1984 y elaborado por el departamento de geología (DGG – INETER), justifica la falta de algunos informes, mapas, equipos y materiales de laboratorio al bombardeo que destruyó las instalaciones del Servicio Geológico Nacional en 1979 durante la insurrección popular. Es por ello que en la búsqueda de los antecedentes para este documento monográfico no se logró dar con el paradero del manuscrito geológico, no publicado, de los cuadrángulos Cerro Pavón y Los Chiles, por el contrario, se logró obtener algunas referencias de los cuadrantes trabajados por Kuang, y que hacen mención de forma muy breve sus colegas Glen Hodgson y Carlos Ferrey en algunos reportes geológicos de hojas adyacentes al sitio (Ilustración 1 e Ilustración 2).

Por tanto, este informe será una herramienta geológica para futuras investigaciones, pues se logró obtener información litológica, estructural y geomorfológica del lugar, mediante el levantamiento de campo. A partir de estos datos se confeccionaron mapas donde se plasmó la distribución de los materiales geológicos, las estructuras de deformación y la forma que presenta la superficie terrestre del área (Rasgos geomorfológicos). En consecuencia, el estudio servirá de base para beneficio del conocimiento geocientífico y por consiguiente a mecanismos municipales para el ordenamiento y desarrollo vial o territorial de la zona, así como también, para la valoración y actualización del inventario de los recursos naturales de los dos municipios abarcados en esta investigación.

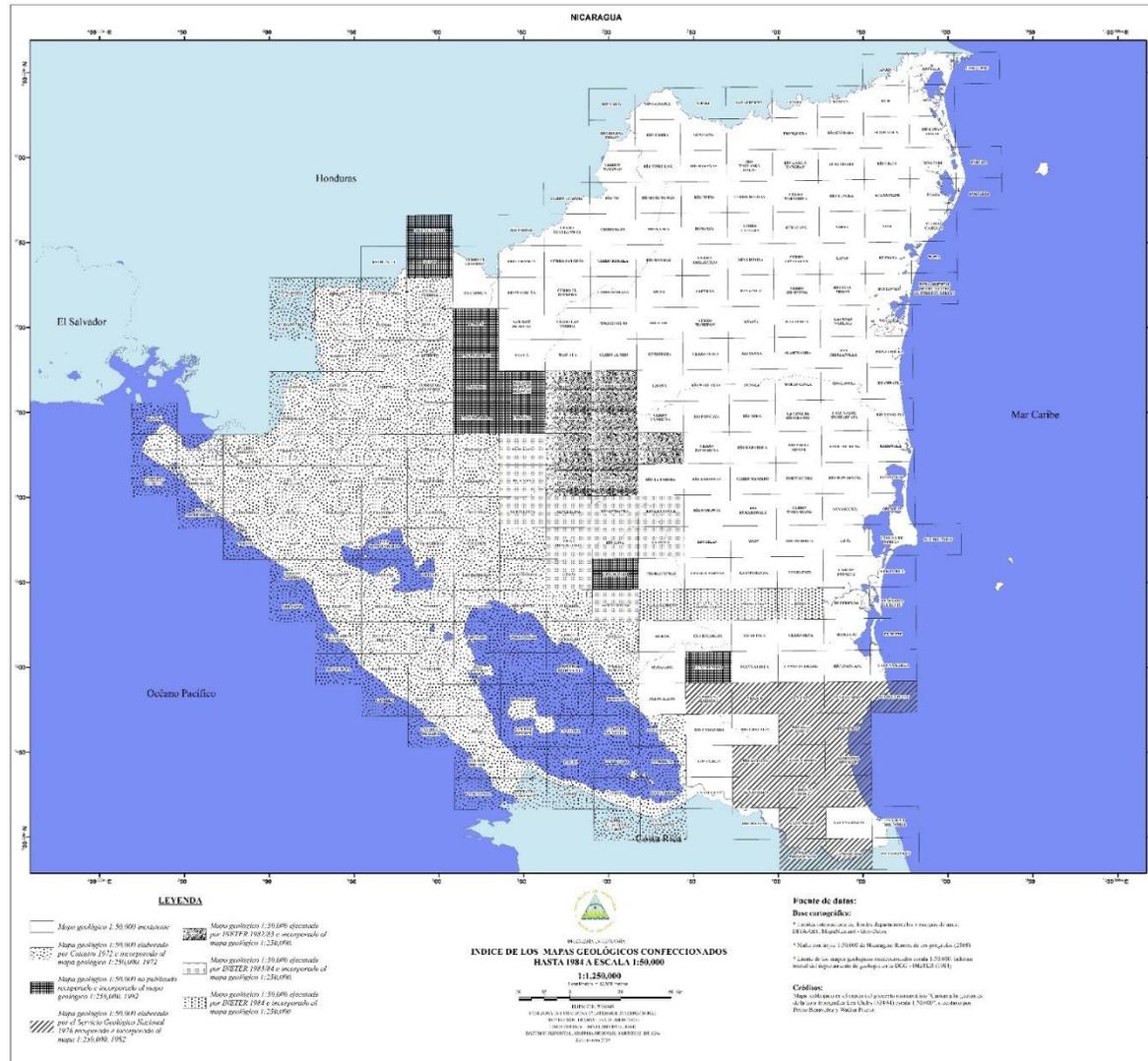


Ilustración 1. Índice de mapas geológicos de Nicaragua confeccionados hasta 1984 a escala 1:50,000 (INETER-DGG).

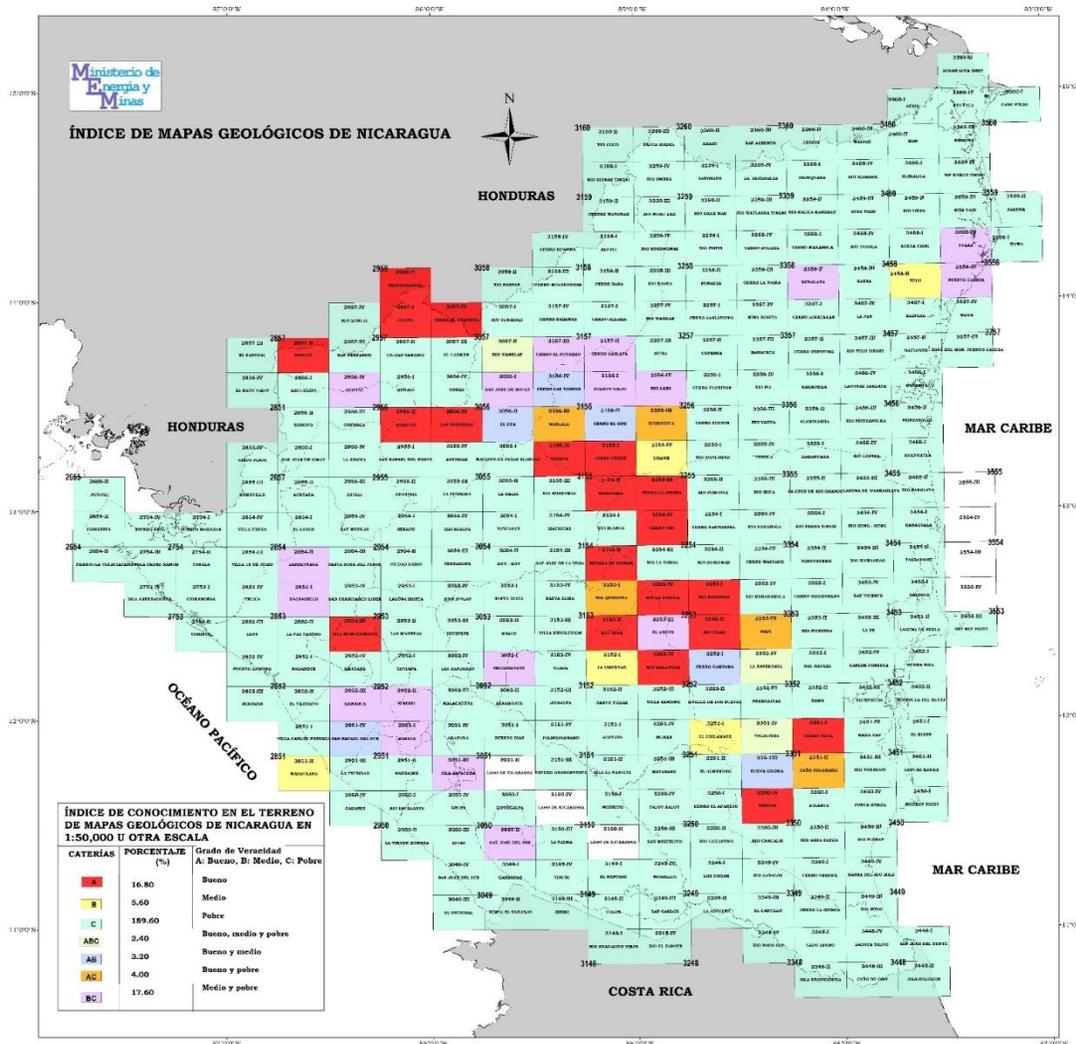


Ilustración 2. Índice de conocimiento en el terreno de mapas geológicos de Nicaragua en 1:50,000 u otras escalas hasta el primer semestre del 2020 (MEM-DGG).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Elaborar la cartografía geológica de la hoja topográfica de Los Chiles a escala 1: 50,000.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Delimitar las diferentes unidades geomorfológicas existentes en el área.
- Determinar las fases de deformación estructural que afectan el sitio.
- Elaborar un análisis petrográfico de las principales unidades litológicas presentes en la hoja de Los Chiles.
- Definir las unidades litológicas que se encuentran en el interior del perímetro de estudio.
- Proponer la columna estratigráfica de la zona de estudio.

1.5. Localización y vías de acceso

1.5.1. Localización

El área sujeta a estudio se localiza en el departamento de Río San Juan, al sureste de Managua, a una distancia de 257 Km desde el municipio de Managua hasta el margen Norte de la hoja de Los Chiles.

El cuadrante abarca parte de los municipios de San Miguelito y San Carlos, igualmente comprende una porción de la Provincia Geológica de la Depresión Nicaragüense y la Provincia Geológica Central, todo esto englobado en una superficie de 502 Km². Los Chiles se encuentra conformado por las comarcas: La Raicilla, La Cruz Verde, México, La Argentina, San José, Los Rugama, Laurel Galán, Santa Elena, El Pavón, Los Chiles, Nueva Armenia y El Espejo. (Ilustración 3). Al mismo tiempo esta hoja topográfica se encuentra delimitada por las siguientes coordenadas: (Tabla 1).

| Vértices | Coordenadas | |
|----------|-------------|----------|
| | Norte | Este |
| 1 | 1253784.6 | 745577.0 |
| 2 | 1254007.1 | 772878.6 |
| 3 | 1235562.1 | 773035.7 |
| 4 | 1235342.7 | 745718.3 |

Tabla 1. Vértices que delimitan el cuadrángulo de Los Chiles.

Los Chiles limita, partiendo del Norte y en sentido horario, con las cartas topográficas de Río Camastro (3250-II), Río Chacalín (3350-III), Río Sábalo (3349-IV), El castillo (3349-III), La Azucena (3249II), San Carlos (3249-III), Morrillo (3249-IV) y San Miguelito (3250-III), edición 1989 a escala 1:50,000 (INETER), el sistema de coordenadas geográficas esta expresado con Datum WGS84.

1.5.2. Vías de acceso

A la zona de estudio se llega utilizando la Carretera Panamericana Norte (NIC-1), que nos conduce hacia el Empalme San Benito, luego se ingresa hacia la Carretera El Rama (NIC-7) hasta llegar al Empalme de Lóvago (ubicado en el Kilómetro 160), posteriormente se gira hacia Acoyapa, avanzando sobre la Carretera San Carlos (NIC-25A), ubicada sobre la ribera noreste del Lago de Nicaragua hasta llegar a la ciudad de San Carlos, posteriormente, se toma la Carretera Buena Vista que está constituida de revestimiento ligero transitable en todo tiempo. Dicha carretera pasa por las comunidades La Vega, La Azucenas, La Venada hasta llegar a la comunidad urbana de Los Chiles (321 km de Managua).

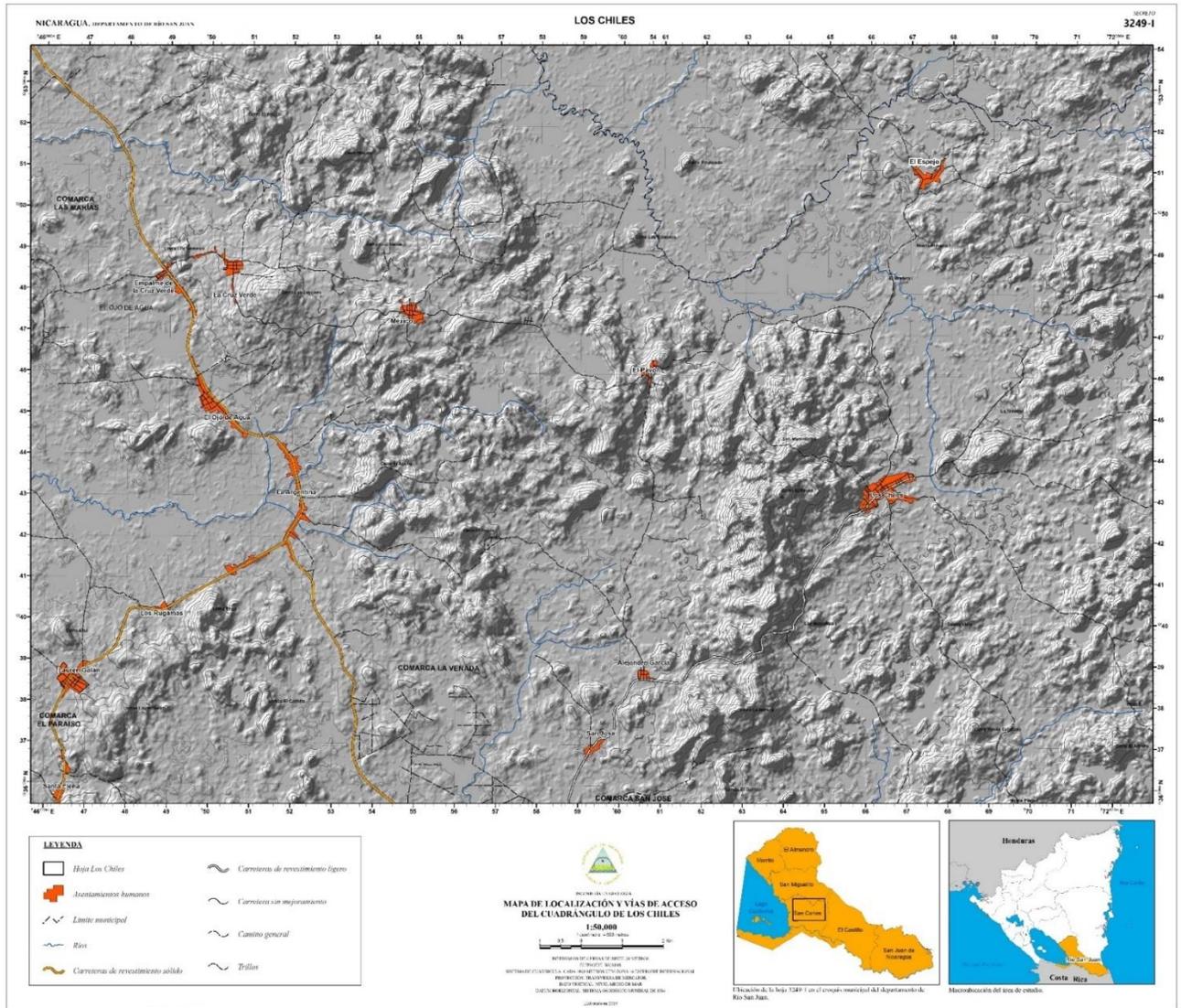


Ilustración 3. Mapa de localización y vías de acceso al área de estudio.

Capítulo II

2.1. Marco Referencial

2.1.1. Antecedentes

En este acápite se hace referencia a los principales informes geológicos, mapas regionales, mapas semidetallados, estudios de zonificación geológicas y de amenazas sísmicas que se utilizaron como instrumentos para indagar y corroborar sobre la geología base de San Carlos y municipios aledaños. Los estudios más relevantes fueron:

Hodgson G. & Ferrey C., (1971). Realizaron un estudio de reconocimiento geológicos titulado “*Geología y anotaciones mineralógicas de la planicie sureste del lago de Nicaragua*” con el fin de reunir datos aprovechables para la evaluación de los recursos naturales y cooperar con los departamentos de suelo e hidrología. El presente trabajo ha sido llevado a cabo como parte complementaria de la primera etapa del Proyecto de Catastro e Inventario de Recursos Naturales. El área de estudio comprende los cuadrángulos de Morrito (hoja 3150 – I), San Miguelito (hoja 3250 - III), Morrillo (hoja 3249 - IV), San Carlos (hoja 3249 - III) e Isla Macarrón (hoja 3149 - IV). La estratigrafía de todas estas áreas, están formadas predominantemente por ignimbritas andesíticas – dacíticas, superpuestas por lavas basálticas y en la parte más superior por tobas e ignimbritas, además, suprayacente a esta capa se encuentran gravas, arenas, limos y arcillas formando suelo (Anexo 1).

Este informe y sus mapas geológicos respectivos fueron de utilidad en la atapa de gabinete para tener una idea del tipo de material que existe en la zona, de igual manera fue útil para la realización de la correlación litológica encontrada en el área de estudio.

Seguidamente, **Martínez P., (1973)**. Realizó el reporte, “*Geología de la región sur este de Nicaragua*”, para el Servicio Geológico Nacional. El presente estudio abarcó las hojas topográficas de Sábalo, Poco Sol, El Castillo, Boca San Carlos, Caño Negro, Cerro La Guinea, Laguna Silico, Trinidad, Barra del Colorado, San Juan del Norte y Río Indio.

Esta es un área de colinas redondeadas que han sido peneplanadas en el pasado geológico y sobre la cual un volcanismo más reciente del Terciario ha tenido lugar dejando remanentes efusivos que se ven en forma de cerros aislados. En esta zona afloran tres formaciones importantes, la formación Machuca, formación Matagalpa y formación Coyol. Este estudio fue realizado con el propósito de suministrar información geológica y para continuar con avance de la prospección de los mapas geológicos regionales de Nicaragua.

Esta investigación ayudó a comprender el comportamiento de las unidades litológicas en las periferias de Los Chiles y sobre todo a identificar la composición mineralógica de cada una de estas unidades.

Kuang J., (1973). Elaboró el estudio “*Geología del cuadrángulo de Muhan, Quimichapa, Cerro Pavón y Los Chiles*” en un área de 1,750 km². Este estudio fue con el propósito de suministrar información geológica básica para el estudio de la génesis del suelo, prospección minera, petrolera, estudio hidrológico, obras geotécnicas y para continuar el avance de la prospección de los mapas geológicos regionales de Nicaragua.

Por su parte, **Hodgson G., (1973)**. Realizó el “*Reporte geológico de la zona occidental de la cuenca del Río San Juan*”. Este proyecto surge ante la necesidad de obtener información vital para la evaluación económica del área. El estudio geológico se elaboró a escala 1:250,000 la cual se consideró suficiente para dar a conocer la geología de la región

sin entrar a mayores detalles. Se obtuvo como resultado de esta investigación que dos grupos de sedimento afloran en la zona; la Formación Machuca en el Sur y Capa las Lajas en el Norte; ambas se consideran como las rocas más antiguas de la zona, el primero se considera como edad oligocena, similar a la Formación Brito mientras que la segunda, está representada por sedimentos muy fosilíferos de edad Terciario Superior y basal del Grupo Matagalpa. Suprayacente a estos sedimentos se encuentran las rocas volcánicas del Grupo Matagalpa y Grupo Coyol, cuyo afloramiento de roca no son tan voluminosos como se presentan en el Norte del país.

De este reporte destacamos los puntos muestreados por Kuang J. en la hoja 3249 – I, donde describe a la Capa Las Lajas como una roca fosilífera y la ubica como la base del grupo Coyol, así pues, se tomó de referencia para planificar los puntos de muestro, también nos ayudó a tener una visión más amplia de las rocas que se encuentran en nuestra zona y lugares aledaños, puesto que este reporte recopila varios estudios geológicos.

Garayar J., (1973). Realizó el informe “*Geología del cuadrángulo de Tepenaguasapa, Río Camastro y El Castillo*” el estudio abarco un área de 1,250 km². Obteniendo como resultado los mapas geológicos a escala 1:50,000. Se suministro información geológica básica para el estudio de la génesis del suelo, prospección minera, petrolera, estudio hidrológico, obras geotécnicas y para continuar el avance de la prospección de los mapas geológicos regionales de Nicaragua. Igual a la justificación mencionada en los antecedentes anteriores, este estudio y sus mapas fueron de utilidad para correlacionar las formaciones y la composición de cada una de estas.

Posteriormente, **INMINE, VNIIZARUBEZHGEOLOGIA – URSS, editado por INETER (1995)**. Elaboraron el “*Mapa Geológico Minero de la Republica de Nicaragua*”, a escala 1: 500,000. Muestra a grandes rasgos la litología y estructuras geológicas principales que predomina en la zona de estudio. Este mapa primeramente fue elaborado por la antigua Corporación Nicaragüense de Minas y con la colaboración del Instituto de Investigaciones Científicas de Geología de los Países Extranjeros de Rusia, publicado en 1990 como mapa cosmogeológico de la republica de Nicaragua a escala 1:500,000, Moscú. Este mapa fue guía para identificar de manera general las estructuras tectónicas y litológicas que inciden en la zona de estudio.

Hodgson G., (2000). Publicó el documento “*Geología Regional de Nicaragua (Introducción al Léxico estratigráfico de Nicaragua)*”. Este documento es una compilación de numerosos trabajos geológicos llevados a cabo por un número considerable de geólogos en sus intento por contribuir con el esclarecimiento de la geología de una área determinada del país; por tanto este documento contiene estudios sobre la génesis de los depósitos minerales; sobre el estudio de las condiciones de la formación y acumulación del petróleo; sobre el estudio de las estructuras volcánicas, tectónicas y morfológicas que inciden con los desastres geológicos naturales; sobre los estudios de los defectos causados por la posición del país; de estar situado en medio de los elementos estructurales que conforman la placa del pacifico y la placa del caribe.

Se usó para correlacionar la geología de la zona con las rocas que han sido descritas por geólogos del Servicio Geológico Nacional y personal de Catastro e Inventario de los Recursos Naturales. Por tanto, fue el soporte teórico durante todo el proceso de esta

investigación debido a que nos proporcionó información litológica, estructural, estratigráfica y mineralógica de manera local y regional.

INETER (2004)., Efectuó el “*Mapa Geológico de Nicaragua, escala 1:750,000*”.

En este mapa se representa de manera concreta el fallamiento y litología de mayor representatividad en función de la escala en que se realizó el levantamiento. La litología plasmada en la leyenda del mapa se encuentra delimitada por eras geológicas. Para la realización de este mapa, INETER utilizó como referencia el mapa Geológico Minero de Nicaragua (1995). Nos mostró de manera regional la disposición de las diferentes formaciones geológicas y el orden espacial en que se encuentran las múltiples fallas que surcan el terreno.

Luna E., (2015). Hizo un “*Estudio de zonificación geológica por fallamiento superficial en la estación de servicio Joel Martínez*” ubicada en Boca de Sábalo, obteniendo como resultado que la geología del sitio está conformada por una secuencia de capas de relleno y el basamento está compuesto de una serie de rocas de edad Terciario del tipo andesítica y asociadas a la Formación Coyol Indiferenciado. Las rocas se encuentran muy meteorizadas dando paso a la formación de potentes capas de suelos lateríticos oxidados de color rojizo. La zona no presenta amenaza de inundaciones, volcanismo, inestabilidad de laderas y tampoco se evidencia anomalías por fallamiento. Sin embargo, el mapa geológico de Nicaragua (INETER, 2002), a 14.6 km al Noroeste del sitio se observó una falla foto interpretada; a 9.1 y 8.9 km al Noreste se presentan otras dos fallas comprobadas y finalmente a 14.9 km al Sureste, se encuentra otra falla comprobada.

El estudio fue de utilidad al momento de realizar el reconocimiento geológico regional del departamento de Río San Juan, al mismo tiempo este fue de provecho para

identificar al Coyol indiferenciado representados en los mapas geológicos de Nicaragua (INTER, 1995 – 2004). Este levantamiento asigna a la formación indiferenciada como perteneciente al Terciario Mioceno Coyol Andesita (Tmca).

Por otro lado, **Alvarado E., (2015)**. Elaboró el “*Estudio de zonificación geológica por fallamiento superficial del proyecto antena de telefonía celular Las Maravillas*”, comarca Las Azucenas, municipio de San Carlos, departamento de Río San Juan. En su levantamiento detalla que las rocas volcánicas encontradas en la zona son del período Terciario, asociadas a lavas andesita basálticas del Grupo Coyol Inferior, (Tmca) y sobre yaciéndoles suelos o sedimentos aluviales recientes, retrabajados como producto del proceso de erosión. De acuerdo al Mapa Geológico Minero de Nicaragua, escala 1:500,000 (INETER, 1995), a 1.4 Km al Este, se localiza una estructura circular, 1.3 Km al Norte se encuentra otra estructura circular y a 1.1 Km al Noroeste se ubica una falla geológica con rumbo Noroeste y se desconoce el grado de actividad y periodo de recurrencia de estas fallas.

Mediante este estudio se logró realizar una correlación litológica de los materiales presentes en el interior de una calicata realizada en el margen Sur de la estructura semicircular El Pavón. En esta se confirma la presencia del grupo Coyol inferior.

Altamirano, G., (2016). Realizó un “*Estudio geológico por fallamiento superficial en el terreno del proyecto estación de servicio Los Chiles*”, ubicado en la comarca Los Chiles, municipio de San Carlos, departamento de Río San Juan. Obteniendo como resultado una secuencia de tres estratos (Hs: Suelo Moderno, materia orgánica de textura limo arcillosa; Tmcd-s: suelo residual de toba intemperizada de textura limo arcillosa con gravas; Tmcd-W: toba brechada del grupo Coyol con arcilla y clastos Andesíticos una matriz limo arenosa). Estos horizontes no presentaban fracturas ni fallamiento. Todo esto en una trinchera que tenía

una profundidad de 3 a 4 m y con longitud de 55 m con dirección E – W. Las evidencias estratigráficas aportadas por este estudio fueron de gran importancia al momento de tomar en cuenta la disposición y composición de las capas en el subsuelo.

Rodríguez N. et al, (2016). Ejecutaron un *estudio de zonificación geológica por fallamiento superficial, en el proyecto Bancentro sucursal San Carlos*, ubicado en municipio de San Carlos, departamento de Río San Juan. Este sitio comprende un área aproximada de 1,473 m² y se encuentra ubicado en el interior del grupo Coyol, de edad Terciario, subgrupo Coyol Superior, Formación basáltica – aglomerática (Tpcb). En este lugar no se encontró evidencia de fallamiento activo y según el Mapa Geológico del año 1971, el lineamiento más cercano al área de estudio se localiza 6.23 km hacia el NE. Las unidades geológicas encontradas en el sitio de estudio corresponden a diferentes horizontes de suelos residuales arcillosos, material de relleno, material aluvial, coluvial y roca basáltica. Se utilizó este informe para identificar y correlacionar el tipo de material que se encuentra adyacente al lineamiento semicircular Laurel Galán.

Muñoz A., (2019). Llevó a cabo el *“Proyecto antena de telefonía celular Las Argentinas TNMB17006”* con la finalidad de realizar un estudio de zonificación geológica por fallamiento superficial en la comarca Las Argentinas. En este proyecto el basamento está constituido por rocas Terciarias del grupo Coyol inferior, con características geológicas y morfológicas bien diferenciadas, cerros de mediana altura afectados paulatinamente por la erosión y meteorización de la roca. Desde el punto de vista estructural no se observan patrones geológicos relevantes, la poligonal del terreno se encuentra en un relieve semiplano, cubierto de abundante vegetación.

Se realizó una calicata en el sitio de estudio, obteniendo como resultado en la pared norte, dos estratos que fueron categorizados según la tabla de *Clasificación de Rocas Meteorizadas de Waltham* (Anexo 2) y los *Horizontes del Perfil de Meteorización* (Anexo 3) como: Un suelo orgánico textura limo arcilloso, desarrollado in situ, como producto de la meteorización física y química de la roca que subyace (Hs), seguido de una toba muy compacta levemente meteorizada soportada por matriz de suelo arenoso tipo saprolito grueso que representa el basamento del sitio de estudio (Tmcd-w).

El aporte de este informe a la cartografía geológica de Los Chiles fue proporcionar el orden deposicional de los estratos y la composición general de cada uno de ellos en un área aproximada de 338 m². La estratigrafía del área se obtuvo mediante la realización de una calicata de 2 m de profundidad donde posteriormente los materiales encontrados a 479 m al SE del sitio fueron correlacionados con una facie basáltica aglomerática (Tmca), siendo este la base del punto anterior.

Gómez M. et al., (2019). Elaboraron un “*Estudio de zonificación geológica por fallamiento superficial en el proyecto hospital primario Los Chiles*” en la comarca Los Chiles, municipio de San Carlos, departamento de Río San Juan, el cual es un requisito para obtener el permiso de construcción del proyecto. Se menciona el contacto entre 2 estratos, del subsuelo, los cuales presentan fuerte alteración a arcilla, en los perfiles de tomografía eléctrica realizados en el sitio, se interpreta una zona de debilidad estructural con una orientación Noreste-Suroeste, geomorfológicamente en el sitio se observa un ligero cambio topográfico.

Estratigráficamente el sitio está representado por 2 estratos: Suelo moderno (Hs), y Suelo saprolito (Tmpe-a). Con base al comportamiento estratigráfico encontrado en las 3

calicatas y los perfiles 2D realizados en la zona. Fue utilizado para correlacionar el material encontrado en las calicatas y para confirmar la presencia de alguna anomalía estructural que reflejase la tomografía eléctrica.

Muñoz A., (2019). Ejecutó un *“Estudio de zonificación geológica por fallamiento superficial en el proyecto antena de telefonía celular Papaturro TNC 17002”*, este proyecto se localiza en el municipio de San Carlos, en la hoja topográfica 3149 – II. El sitio está cubierto por sedimentos aluvionales y fluviales correspondientes a espesores aproximados de 5 a 30 m, con grava de granulometría fina a media (Hodgson 2000). La configuración del relieve es prácticamente plano pantanoso, y con mucho recubrimiento boscoso, por tanto, no se obtuvo mayor información que la encontrada en calicatas y en superficie, la litología está constituida de un suelo resiente (Hs) seguidamente de una capa de arena con granulometría muy fina, color gris claro (Har2) subyaciendo se encuentra un horizonte de arena fina con grava y con presencia de líticos redondeados a sud redondeados de composición volcánica variada (Har1). No se observó indicios de estructuras geológicas relacionadas a fallas cercanas al sitio. Este estudio fue de utilidad para determinar la presencia litología y estratigráfica dentro del graven de Nicaragua, para posteriormente hacer una correlación con los materiales presentes en el extremo Oeste de la hoja 3249 – I.

Muñoz A., (2019). Realizó el *“Estudio de zonificación geológica por fallamiento superficial en el proyecto antena de telefonía celular Melchorita”*, ubicado en la comarca Melchorita, municipio de San Carlos, departamento de Río San Juan. El proyecto se emplazó sobre la loma Melchora. El sitio se ubica en la zona de transición del borde interno de la Depresión de Nicaragua, franja meridional, hacia la Tierras Altas del Interior, donde inicia bajo relieve en forma de lomas y pequeños cerros; asociados a grupo Coyol.

El sitio está constituido por un suelo moderno (Hs) de naturaleza residual, con espesor aproximado 0.20 m; seguidamente una andesita meteorizada, tipo saprolito de grano medio y de tonalidad rojiza (Tmca-w); subyaciendo a partir de los 0.70 m una colada lávica andesítica de tonalidad gris oscuro y con abundantes feldespatos meteorizados, este basamento rocoso corresponde al grupo Coyol inferior, andesita (Tmca). No se observaron estructuras geológicas que evidencien fallas geológicas en el sitio y su alrededor próximo.

Mediante este informe se logró correlacionar las características de la unidad andesítica presente en la loma Melchora y las de la estructura semicircular Laurel Galán, ambas pertenecientes al Coyol inferior (Tmca). Gracias a las perforaciones realizadas sobre esta loma se logró relacionar el lineamiento ubicado en la zona SW de la hoja Los Chiles, con el situado al NW del cuadrángulo La Azucena.

Finalmente, **Valle M., (2019)**. Elaboró un *“Estudio de zonificación geológica por fallamiento superficial en el proyecto puesto fronterizo San Pancho”*, ubicado en la comarca Melchorita, municipio de San Carlos, departamento de Río San Juan, en la hoja topográfica La Azucena. Geomorfológicamente el terreno es parte de una peniplanicie baja, dentro un terreno sub volcánico Plio-Pleistocénico. Estratigráficamente el área está constituida en la parte superior por un material de relleno, compacto, con fragmentos de rocas en una matriz limo arcillosa (1 m). subyacente a esta capa se encuentra un suelo moderno (Hs), limo arcilloso blando, de color café oscuro, rojizo a amarillento pálido, pasando a un limo arenoso, de tonalidad gris verdoso, por último, una capa de suelo residual (Hr) de color rojo hematizado, suelo saprolítico, con espesor de hasta 10 m. Se utilizó para dar seguimiento litológico, estratigráfico y tectónico a las capas que afectan a Los Chiles.

2.1.2. Marco Teórico

2.1.2.1. Tectónica de Centroamérica y Nicaragua.

Utilizando la Tectónica de Centroamérica y Nicaragua, se considera que Centroamérica se encuentra situada entre las placas de Norte América y Sur América, asimismo se encuentra 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, 2002) (Ilustración 4).

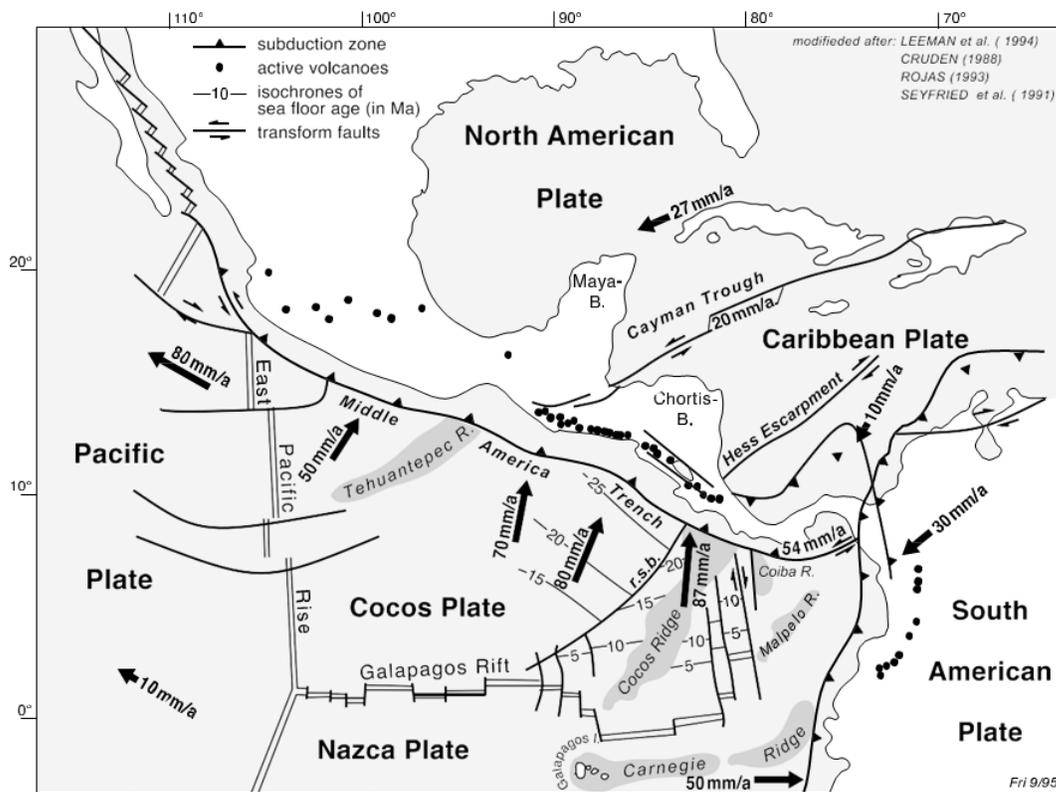


Ilustración 4. Bosquejo de la configuración geológica regional de Nicaragua. Se muestra la cadena de volcanes activos (línea de puntos), así como las velocidades promedio de deriva de las placas según su posición (Frischbutter A., 2002).

Tectónicamente América Central ha estado sometida en los últimos 50 millones de años a la subducción de la Placa Cocos en relación a la Placa Caribe, dando lugar de esta manera a la formación del arco volcánico centroamericano, el desplazamiento de la Placa

que subyace a la Placa Caribe producto de la expansión del fondo oceánico converge a velocidad aproximada de 8 cm/año (Dengo D. & Case J., 1990)

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 debajo de América Central formando así la Fosa Mesoamericana (Dengo y Case, 1990).

Nicaragua se encuentra ubicada en el margen Oeste de la Placa Caribe, esta placa limita: al Norte con la Placa Norteamericana, definida por el sistema de fallas Motagua – Polochic – Jocotán, fosa de las Caimán, la fosa de Puerto Rico y fosa Muertos, predominando un desplazamiento horizontal (Ilustración 5). Al Sur limita con la placa Sudamericana, que comprende una amplia zona de deformación caracterizada por estructuras de plegamientos y fallamientos de desplazamiento horizontales; al Este limita con la zona de subducción de la corteza oceánica, atlántica, norte y suramericana bajo el prisma de acreción de Barbados y del arco volcánico de las Antillas Menores (Ilustración 6); al Oeste limita con la Fosa

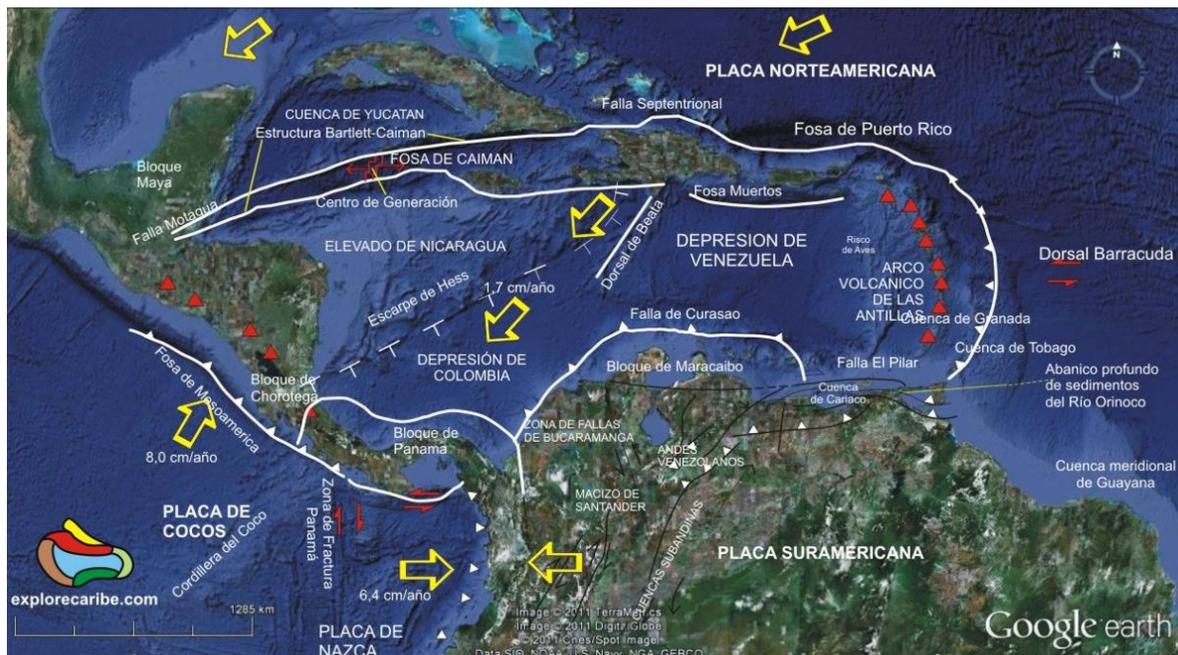


Ilustración 5. Vista general del relieve submarino de la Placa Caribe (Explocaribe, 2011).

Mesoamericana, constituida por la Placa de Cocos y una porción de la Placa de Nazca.
(Dengo y Case, 1990).

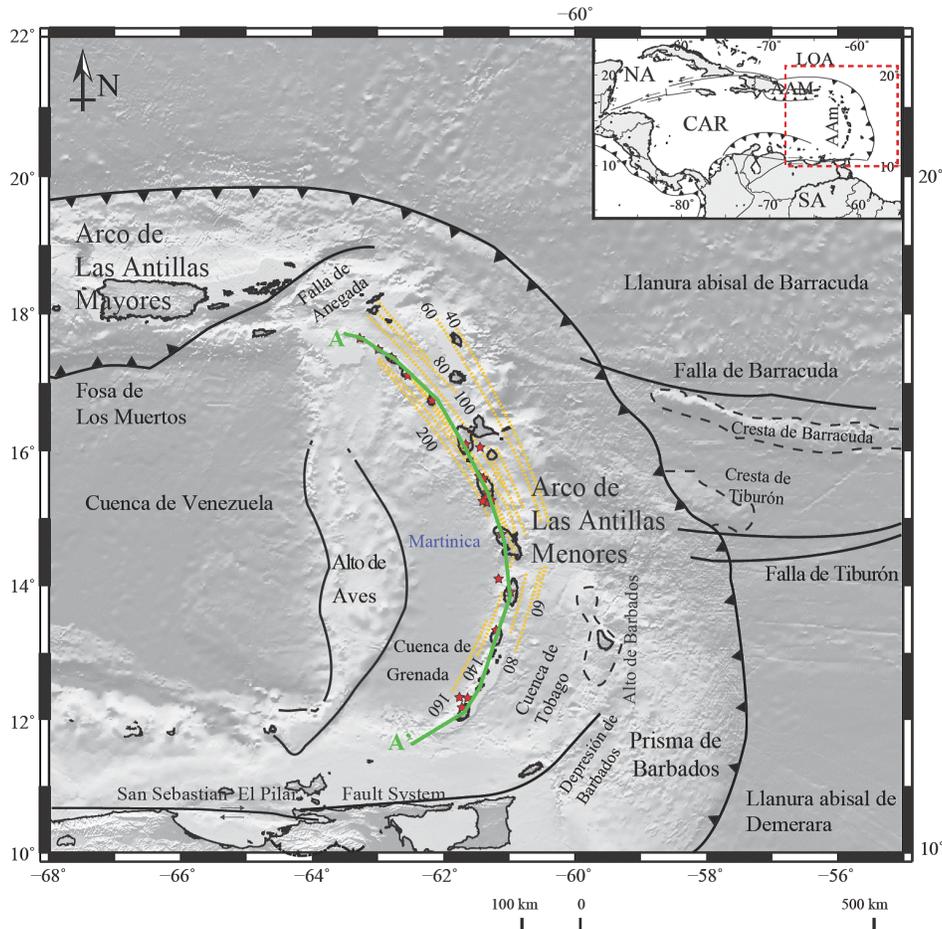


Ilustración 6. Rasgos tectónicos cercanos al arco de las Antillas Menores. En la esquina superior derecha se presenta el área de estudio dentro del contexto de la placa del Caribe. Las abreviaciones simbolizan: NA, Placa Norteamericana; SA, Placa Surame

América Central está dividida en cuatro bloques corticales (Ilustración 7). Hacia el norte, los bloques Maya y Chortis están compuestos por rocas ígneas y metamórficas paleozoicas, carbonatos y rocas silíceas de plataforma y rocas volcánicas - silíceas intermedias. Case et al. (1990) clasifican este material como corteza continental y transicional. Hacia el sur, los bloques Chorotega y Choco están compuestos por corteza acrecional, corteza máfica oceánica cubierta por rocas volcánicas básicas a intermedias de un arco insular. El espesor de la corteza varía desde un máximo de 45 km en el Bloque Chortis

hasta menos de 20 km en el Bloque Chorotega (Carl N. & Nietzen F., 1999). Se ha postulado que el Escarpe Hess de rumbo NE localizado en la parte S de Nicaragua, marca el límite entre los dos bloques dentro del Mar Caribe (Venable, 1994).

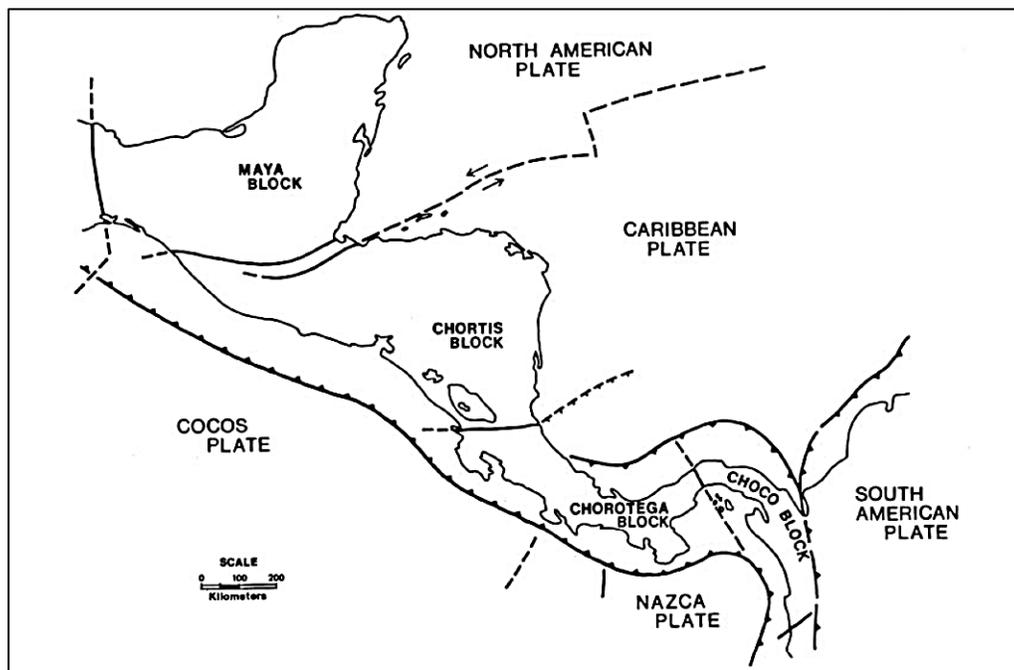


Ilustración 7. Mapa tectónico regional de Centroamérica (Donnelly et al., 1990 & Escalante, 1990)

Dado a que el trazo de la prolongación del Escarpe de Hess en mapas o textos es variable según sea el autor, utilizaremos como referencia los artículos publicados por (Baumgartner, P.O. & Denyer, P., 2006), (Escalante G. & Astorga A., Sin fecha).

El límite septentrional del Bloque Chorotega con el Bloque Chortis, es considerado por Escalante (1990) como una falla mayor de tendencia este – oeste, representado en el noreste de Costa Rica por el sistema de falla de la Península de Santa Elena, el cual hizo emerger un cuerpo de peridotitas serpentinizadas mesozoicas. Una evidencia adicional de la existencia de esta falla que está cubierta en el norte de Costa Rica, es el hallazgo de serpentinitas cretácicas bajo una sucesión de rocas volcánicas y sedimentos volcanoclásticos de edad Terciario (Astorga et al., 1989, 1991, Astorga, 1992). El Escarpe de Hess (Case &

Holcombe, 1980) se considera como una extensión marina del Sistema de Falla de Santa Elena.

A partir del relieve submarino del mar caribe y de otros datos geológicos – geofísicos (Case & Holcombe, 1980), el Escarpe de Hess, se ha interpretado como la traza de una falla, de probable movimiento transcurrerte, que separa dos provincias geológicas, el levantamiento de Nicaragua y la Cuenca de Colombia. Bowland (1984), señaló que esta falla tuvo su mayor actividad en un tiempo pre-Cenozoico, aunque alguna actividad intermitente puede haber ocurrido durante en Cenozoico (Mann & Burke, 1984).

En el área terrestre de Costa Rica, diversos autores han sugerido la continuidad del Escarpe de Hess hacia el Oeste, en conexión con el sistema de fallas del Norte de la Península de Santa Elena (De Boer, 1979; Bourgois et al., 1984; Calvo, 1987; Astorga et al., 1989; 1991; Escalante, 1990; Seyfried et al., 1991). Este sistema de fallas formaría el límite norte del Bloque Chorotega, tal como se explicó anteriormente. Con base en evidencias sísmicas, Astorga et al., (1991: 38) comprueban la existencia de un fallamiento transcurrente que asocian a la falla Hess – Santa Elena. Este hecho aunado a la perforación de rocas serpentiniticas mesozoicas, sobre un alto estructural, al Norte de la posible traza de la falla en la Cuenca de San Carlos (Astorga et al., 1991), ha sugerido la continuidad del sistema de falla Hess – Santa Elena y su disposición como límite tectónico septentrional del segmento Costa Rica Norte (Ilustración 8).

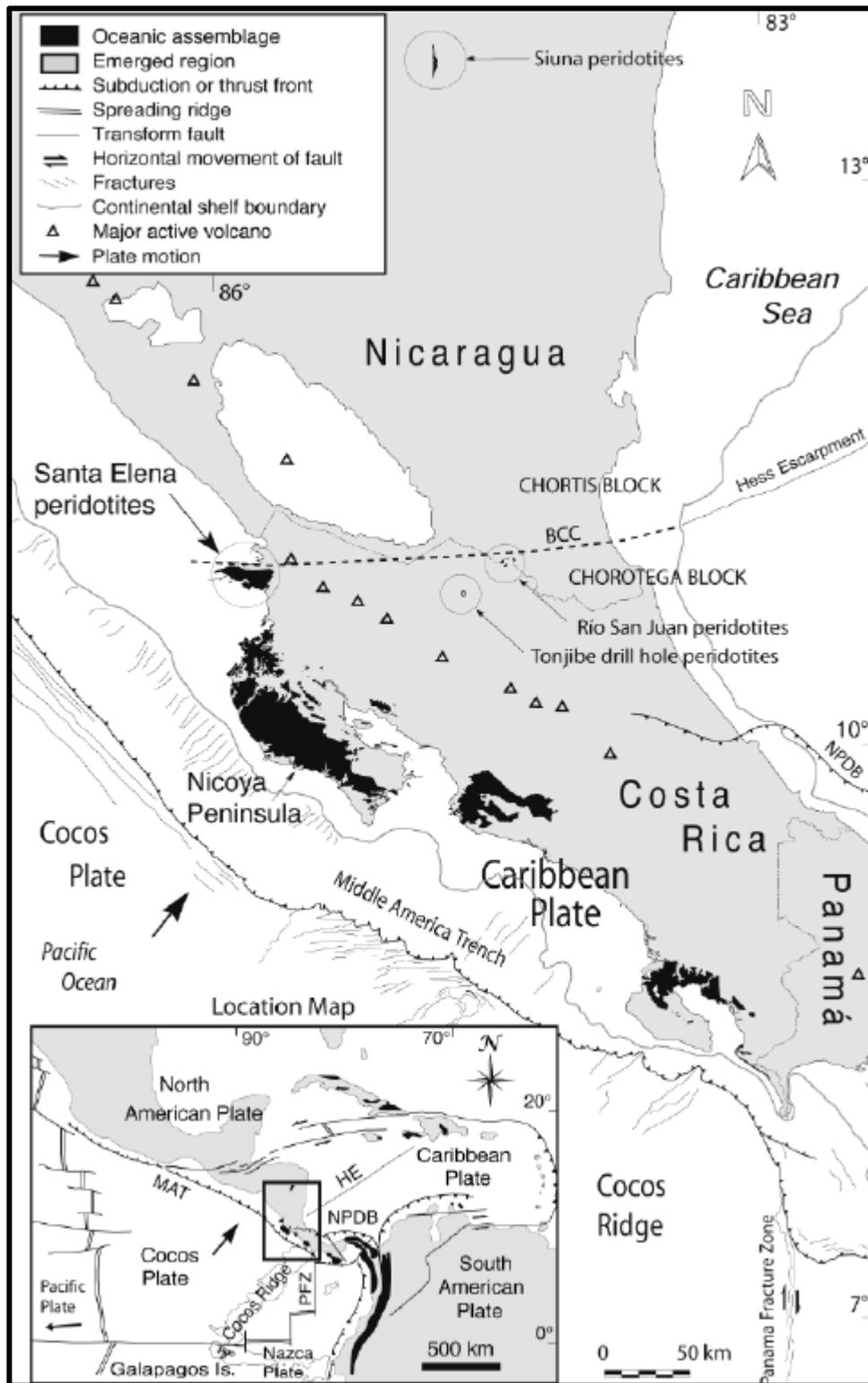


Ilustración 8. Escenario geotectónico actual de Centroamérica y el Caribe, que muestra los ensamblajes oceánicos y las ocurrencias de peridotita de Costa Rica y Nicaragua. NDPB: Cinturón de Panamá deformado del norte, PFZ: Zona de fractura de Panamá, M

2.1.2.2. Geología Regional de Nicaragua.

Posteriormente a los precursores McBirney y Williams (1965), Hodgson (1976) en términos de la estructura geológica, subdividió a Nicaragua en 5 provincias geológicas, siendo estas, la provincia geológica de las planicies de la costa del Pacífico, provincia geológica de la Depresión de Nicaragua, provincia geológica Central de Nicaragua, provincia geológica del Norte y la provincia de los llanos de la Costa Atlántica (Ilustración 9).

De acuerdo al mapa de las provincias geológicas estructurales de Nicaragua (ilustración 9), el área de estudio se encuentra situada en la zona de convergencia de la Provincia Geológica de la Depresión Nicaragüense y la Provincia Geológica Central. Estas dos provincias junto a las anteriormente mencionadas están definidas de la siguiente manera:

2.1.2.2.1. Provincia Geológica de la Costa del Pacífico.

Esta provincia se encuentra ubicada entre la Depresión y la plataforma continental del Pacífico, se extiende de NW a SE desde Corinto hasta la frontera norte de Costa Rica, en la provincia de Guanacaste y la Cuenca Limón. La provincia de la Costa del Pacífico coincide en gran parte con la cuenca Sandino, esta se encuentra rellena por depósitos sedimentarios, constituyendo una secuencia de espesores mayores a 10 km, incluyendo depósitos pelágicos y turbidíticos depositados durante el Cretácico superior – Paleoceno y sedimentos someros depositados durante el Terciario – Neógeno (Hodgson G. 2000).

La Provincia del Pacífico se caracteriza por el predominio de rocas sedimentarias (calizas, areniscas, lutitas, limolitas y conglomerados), las cuales fueron interrumpidas en varias ocasiones por la deposición de materiales volcánicos e intrusiones ígneas. Todas estas rocas se encuentran distribuidas en 5 formaciones sedimentarias (Formación Rivas,

Formación Brito, Formación Masachapa, Formación Fraile, Formación El Salto) y 2 formaciones volcánicas (Formación Tamarindo y Formación Las Sierras) (Anexo 4).

Cabe destacar que el complejo Ofiolítico de Nicoya, de la Península de Santa Elena en Costa Rica, forma el basamento de la cuenca Sandino en el Pacífico de Nicaragua y está en discordantemente superpuesta por los sedimentos Cenomaniano de la formación Rivas (Hodgson G. 2002).

2.1.2.2.2. Provincia Geológica de la Depresión de Nicaragua.

La depresión de Nicaragua está formada por un graben que inició la subsidencia durante el Mioceno superior – Plioceno inferior, poco después de la erupción voluminosa de piroclastos ácidos sobre un área, ahora ocupada por la Depresión y zonas del Pacífico (McBirney 1965). Teniendo en cuenta lo antes mencionado podemos concluir que esta provincia abarca todos los materiales que fueron depositados tanto en el Graben de Nicaragua como en el de Graben Mangua y que tiene prolongación hasta la región tras-arco del norte de Costa Rica (Weyl, 1980; Case & Holcombe, 1980), en donde conforma lo que se denomina la Cuenca de San Carlos.

Esta provincia se encuentra caracterizada por el predominio de rocas volcánicas, depósitos piroclásticos y sedimentos del Plioceno – Holoceno. 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 recientes (Anexo 4). Todo este conjunto de rocas que se encuentra rellenando la depresión tienen un espesor aproximado a los 2000 m (Elming S., 1985).

Provincia Geológica de La Depresión de Nicaragua
 $\left\{ \begin{array}{l} * \textit{Grupo Coyol dentro del graben (Tmc – Tpc)} \\ * \textit{Grupo La Sierra (QTps)} \\ * \textit{Grupo Managua (Qma)} \end{array} \right.$

En el Grupo Coyol dentro del graben McBirney (1966), señala que a lo largo de la costa de la Isla Solentiname afloran varios cientos de metros de aglomerados compuestos de un denso basalto – andesita hasta de un metro de diámetro, dispuestos irregularmente en una matriz hialoclástica bien consolidada; posteriormente Hodgson & Ferrey (1971), señalan que la misma unidad de rocas que afloran en San Carlos, Morrito, San Miguelito (borde Este del graben), afloran igualmente en el Archipiélago de Solentiname e Isla Zapatera, aparentemente estos materiales tienen la misma secuencia que la Formación Tamarindo, con la diferencia de que esta secuencia la incluyeron Hodgson & Ferrey (1972) en el Grupo Coyol.

2.1.2.2.3. Provincia Geológica Central de Nicaragua.

Comprende un área entre el límite Sur de la provincia del Norte, y el límite Oeste de la provincia de la Depresión, justamente donde comienza las mesetas volcánicas Terciarias, al Sur se encuentra limitada por el Río Indio y en el Este con los llanos de la Costa Atlántica (Hodgson G., 2000).

En esta provincia se desarrollaron intensas actividades volcánicas del Terciario, cuyas evidencias están reflejadas en la gran cantidad de rocas y estructuras volcánicas, algunas de estas han sido destruidas, erosionadas, alteradas y afectadas por fenómenos hidrotermales, sin embargo, existen abundantes relictos de ellos dispersos en toda la provincia (Hodgson G., 2000).

Sander (en Weyl 1980) refiere que la provincia Central comprende grandes flujos de lava alterada, igualmente Hodgson (2000) incluye que esta provincia se encuentra caracterizada por el predominio de rocas volcánicas, que datan desde el Eoceno hasta el Plioceno, siendo las rocas más representativas del terciario: basalto, andesita, dacita, toba, ignimbritas y sedimentos piroclastos, todas estas agrupadas en tres grandes grupos los cuales son el Pre – Matagalpa (sedimentos piroclásticos Pre – Terciarios), Matagalpa (Terciario inferior) y el Coyol (Terciario superior). Todo el conjunto tiene un espesor mayor a los 3,600 m. Esta provincia fue la más afectada por movimientos tectónicos producto de la intrusión de una gran variedad de rocas ígneas plutónicas, que son fuente de mineralización.

En cuanto al complejo Ofiolítico de Nicoya de la península de Santa Elena en Costa Rica, la extensión Norte de este basamento no está definida, pero se han encontrado algunos afloramientos de rocas similares al complejo dentro del territorio nicaragüense, ejemplo de ello tenemos las rocas básicas en la cabecera del Río Bocay, cerca de Siuna y en otros lugares en el Norte-central de Nicaragua (Paz Rivera 1967).

Acto seguido, Mauricio Darce (1992) señala que rocas ultrabásicas alteradas a serpentinita, las cuales sobreyacen discordantemente con un contacto característico tectónico, a rocas sedimentarias de tonalidad roja y silicificadas del tipo radiolaritas (ambiente de cuenca profunda), confirma la existencia de un basamento Tras-arco del tipo corteza oceánica Mesozoica en Nicaragua meridional. Los afloramientos se presentan al norte de Boca de Sábalos, en los alrededores de la comunidad Marlon Zelaya, Los Brenes, Las Palmas, Las Colinas, Las Limas y sobre el camino entre Sábalos – La Esperanza (Hoja El Catillo).

2.1.2.2.4. Provincia Geológica del Norte.

Hodgson G., 1988 señala que esta provincia comprende la región del NW-NE de Nicaragua, abarca la plataforma Paleozoica – Mesozoica, cuenca del Río Bocay y áreas del Norte de los terrenos altos del interior del país (McBirney 1965, Hunting 1971 y Garayar 1977). Esta provincia está caracterizada por el predominio de rocas metamórficas, consideradas como las más antiguas de Nicaragua la cual ha sido intruida por un gran batolito granítico de Nueva Segovia. También se señala la existencia de rocas sedimentarias como Calizas, lutitas y conglomerados, agrupados en las formaciones Metapan y Totogalpa. Dentro de esta provincia se encuentra también la existencia de rocas volcánicas cretácica – Terciarias (Hodgson G. 2002).

2.1.2.2.5. Provincia de los Llanos de la Costa Atlántica.

Esta provincia litológicamente se encuentra caracterizada por el predominio de rocas sedimentarias recientes del Pleistoceno, los sedimentos recientes están representados por conglomerados, gravas, arenas y arcillas bajo la formación Bragman's Bluff y aluvionales recientes. Los sedimentos Terciarios antiguos revelados por perforaciones profundas comprenden; areniscas, lutitas y calizas; estas rocas agrupadas bajo las formaciones: Balsam, Touche, Punta Gorda, Kamanon, Mosquitia y Martínez. La geomorfología de la provincia se caracteriza por un área relativamente baja, parcialmente ondulada y cubierta por depósitos aluviales recientes (Hodgson G., 2000).

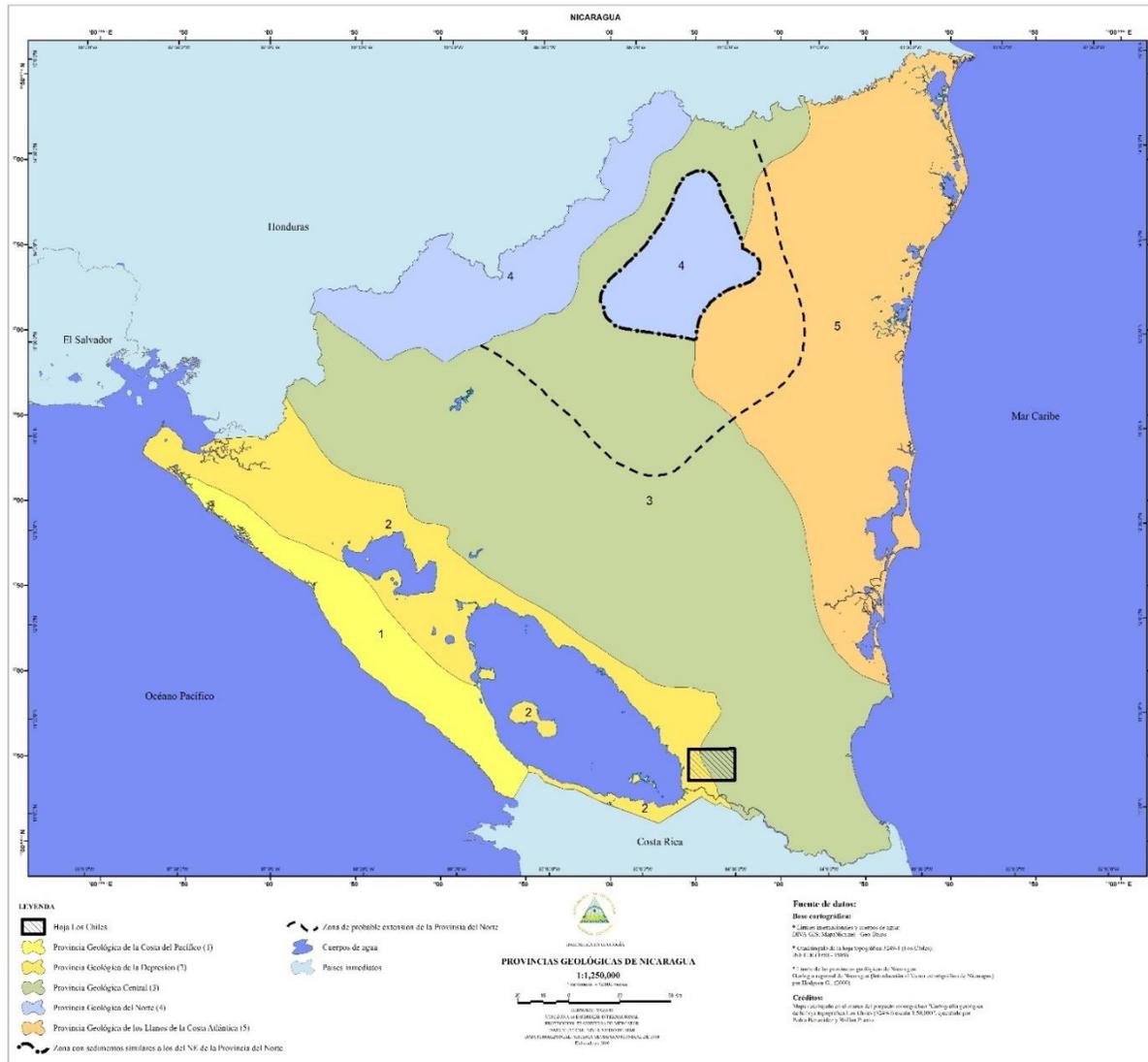


Ilustración 9. Mapa de las Provincias Geológicas Estructurales de Nicaragua (Hodgson G., 1977).

2.1.2.3. Geología local.

Como se ha menciona anteriormente, el área sujeta a estudio se encuentra localizada en el extremo sur de Nicaragua, entre la Provincia de la Depresión y la Provincia Central, en estas dos provincias se desarrollaron grandes actividades volcánicas del Terciario que datan desde la época del Eoceno hasta el Plioceno, cuyas evidencias están registradas en la gran cantidad de rocas que han sido depositadas durante todo este tiempo, pero las estructuras volcánicas como cráteres y conos han sido destruidas por la erosión. Los materiales que conforman estas provincias en la zona pertenecen al grupo Coyol y grupo Matagalpa, constituidas por formaciones, miembros y capas.

Grupo Coyol.

McBirney y Williams (1965), señalan que los materiales volcánicos del grupo Coyol tienen su origen en las erupciones fisurales (orientadas NW-SE) y en las emanaciones de los cráteres centrales, este grupo yace en discordancia angular con el grupo Matagalpa, aunque existe algunas interdigitaciones del Coyol inferior con Matagalpa superior.

En el grupo Coyol se distingue claramente por presentar un relieve muy característico; Las ignimbritas, lavas y tobas intercaladas fueron depositadas como capas ligeramente inclinadas, dando origen a las mesetas y cuevas escalonadas, con escarpes verticales constituyendo un rasgo geomorfológico muy característico. Así mismo el Coyol comprende centros estratovolcánicos, escudos volcánicos, y pocos complejos en domo de composición riolítico.

Los horizontes inferiores de este grupo se encuentran constituidos por ignimbrita rosada y blanca, separadas por sedimentos tobáceos, flujos basálticos y dacíticos, siendo más

abundantes próximo a la base de la columna los flujos de lava andesita – basalto, en la base de la sección aflora un horizonte de aglomerado.

$$\text{Grupo Coyol} \left\{ \begin{array}{l} \text{Sub Grupo Coyol Superior} \left\{ \begin{array}{l} * \text{ Formación lava y aglomerado superior (Tpcl)} \\ * \text{ Formación toba e ignimbrita riolita (Tpci)} \\ * \text{ Formación basáltica – aglomerática (Tpch – Tpca)} \end{array} \right. \\ \text{Sub Grupo Coyol Inferior} \left\{ \begin{array}{l} * \text{ Formación ignimbrita dacítica (Tmcd)} \\ * \text{ Formación andesita – aglomerado (Tmca – Tmcg)} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

Grupo Matagalpa.

McBirney (1965), describe al grupo Matagalpa como predominio de rocas autobrechadas de andesitas piroxénicas, lava y lahar en bloques. Debido a la porosidad de la roca y a la abundancia de lluvia, la meteorización es profunda. La alteración hidrotermal ha reducido las rocas a una arcilla blanca amarillenta. Las dacitas son abundantes y mejor conservadas. Varios tapones riolíticos hidrotermalmente alterados introducen la serie.

El grupo Matagalpa inicia en la cordillera Isabelía, donde se manifiesta en grandes bancos de andesita, en **dirección NE, cambiando de rumbo SE hasta el río San Juan, donde esta se encuentra interrumpida por formaciones** jóvenes. En varias áreas se aprecia que infrayace en discordancia angular al grupo Coyol, pero en otras hay una interdigitación entre las unidades de rocas.

Las andesitas y basaltos se presentan altamente meteorizados, constituyendo otro criterio para diferenciarlas de las del grupo Coyol inferior que son menos meteorizadas. El grupo está constituido por una facie andesítica (Matagalpa superior), subordinada con sedimentos lacustre, basalto y toba. Por ignimbrita riolítica y toba (Matagalpa medio), subordinada con sedimentos tobáceos. Por sedimentos tobáceos, lacustres y fluvial (Matagalpa inferior), subordinado con toba, ignimbrita y diques básicos (este último no es diagnóstico del grupo).

2.1.3. Marco conceptual

El soporte conceptual de este marco teórico está basado en el libro “Elementos de cartografía geológica”, publicado en el 2016 por investigadores de la división de ingeniería en ciencias de la tierra en la UNAM México.

2.1.3.3.1. Fundamentos de cartografía.

- **Concepto de cartografía geológica.**

Para iniciar partiremos de lo que es el concepto básico de cartografía geológica que engloba lo siguiente definiéndola como un conjunto de estudios y operaciones científicas, artísticas y técnicas que, a partir de los resultados de levantamientos directos o del examen y estudio de documentos, se emplean para la formación y apresto de las cartas, planos y otros sistemas de expresión, así como para la utilización de los mismos (Silva, Mendoza y Campos, 2016).

Esta definición comprende desde el estudio de los sistemas de proyección hasta las técnicas de artes gráficas y la construcción de globos, relieves y maquetas.

- **Objetivos de la cartografía.**

La cartografía tiene dos objetivos básicos:

- a) Expresar las características de la superficie terrestre y la distribución de los rasgos culturales permanentes que se encuentran sobre dicha superficie; esto es, elaborar mapas topográficos.
- b) Expresar la distribución espacial de otros atributos geográficos y variables socioeconómicas, mediante la elaboración de mapas temáticos.

Con base en ello podemos comprender la importancia del estudio y conocimiento de las características de la Tierra y sus relaciones, para tener una representación gráfica precisa

de ella y poder expresar con claridad los elementos temáticos que en ella se encuentran, de modo que podamos comprender las relaciones que tienen lugar y las consecuencias y aplicaciones de estas (Silva et al., 2016).

- **Características de la cartografía.**

Es importante analizar las características de la Cartografía, ya que son las mismas de un mapa o carta, entre ellas tenemos (Silva et al., 2016):

- a) Representación de la realidad.
- b) Representación geométrica plana (Sistema de Proyección).
- c) Representación simplificada.
- d) Representación convencional.
- e) Presenta una relación de similitud proporcionada (escala).

- **Cualidades de los mapas.**

Para definir las cualidades de los mapas primeramente partiremos de una definición de este elemento cartográfico. Mapa se puede conceptualizar como una representación gráfica y convencional en un plano de una porción de la superficie terrestre. Ya definiendo podemos enmarcarnos en las cualidades de los mapas que son (Silva et al., 2016):

- a) Exactos: La reproducción de los rasgos o elementos debe corresponder con la realidad con precisión de acuerdo a la escala de representación.
- b) Completos: La información debe ser la necesaria y suficiente.
- c) Adecuados a su propósito: Su contenido debe estar encaminado a satisfacer las necesidades de información que los motivó.
- d) Claros: Deben expresar de manera unívoca los rasgos que se pretende representar.

- e) Legibles: La disposición de los elementos gráficos debe ser adecuada y la impresión limpia y nítida.
- f) Estéticos: La distribución de la simbología y de los nombres debe ser armónica, deben tener una discreta graduación del objeto por describir y buen gusto en el uso de los colores.

- **Escala en los mapas.**

Se denomina escala a la relación entre la magnitud dibujada y la real; es la relación de proporción o similitud entre el mapa y el terreno. Se expresa adimensionalmente de tal modo que una unidad en el mapa corresponde con “n” unidades en el terreno.

- Formas de representar la escala

La escala puede representarse de tres maneras entre ellas tenemos:

- a) Declarada: Se representa a la escala mediante una frase en la que se mezclan unidades, por ejemplo: Un centímetro es igual a dos kilómetros, dos centímetros por kilómetro.
- b) Numérica: Puede expresarse de dos formas; mediante una fracción adimensional en la cual el numerador es la unidad, mientras que en el denominador aparece el número de unidades representadas, por ejemplo: $1/10,000$ o también se expresa como una razón o proporción 1:10,000.
- c) Gráfica: Se expresa como un segmento de recta subdividido de acuerdo a las unidades dibujadas y con los valores correspondientes a las magnitudes reales; un extremo se subdivide aún más, con objeto de que el lector del mapa pueda medir distancias con mayor precisión.

Esta forma de representar la escala es la más apropiada para utilizarse en un mapa, pues sufre la misma deformación que el papel donde está dibujado el mapa, por lo que al utilizarla siempre se obtendrán distancias verdaderas (Silva et al., 2016).

- **Determinación de la escala en un mapa**

A veces se presentan mapas que no incluyen escala, o se requiere conocer la escala de cierta parte de un mapa, ya que la escala gráfica no se puede conservar uniforme en un mapa hecho sobre un plano. La determinación de la escala puede hacerse midiendo la distancia que hay sobre el mapa entre dos puntos cuya distancia terrestre sea conocida y con estos datos se calcula la escala o se construye una escala gráfica (UNAM, 2016).

2.1.3.3.2. Sistemas de información geológica.

- **Concepto de SIG**

Los Sistemas de Información Geográfica son una herramienta en la toma de decisiones acerca de fenómenos espaciales complejos, ya que permiten establecer las interrelaciones entre los distintos factores espaciales o no, que intervienen en el fenómeno geográfico y también predecir el comportamiento de uno o varios de los factores con base en su tendencia histórica (UNAM, 2016).

Los SIG por lo general tienen una capacidad de almacenamiento de información grande, susceptible de ser actualizada; información que se puede expresar en mapas diversos de acuerdo con las necesidades del usuario, lo cual ofrece una enorme ventaja sobre los métodos tradicionales de análisis (UNAM, 2016).

- **Campos que abarcan los SIG**

Los SIG abarcan un amplio rango de campos de aplicación: Servicios de planificación de los gobiernos y municipios; servicios de defensa y seguridad; administradores del espacio

rural y de recursos naturales; agencias del medio ambiente; instituciones de investigación y docencia. Conforme a sus usos y a los datos espaciales que utilizan se pueden clasificar en (UNAM, 2016):

- a) Sistemas de Ingeniería
- b) Sistemas catastrales
- c) Sistemas de administración de redes
- d) Sistemas de análisis estadístico
- e) Sistemas regionales
 - Datos topográficos básicos
 - Datos relativos al medio ambiente
 - Datos del medio humano

- **Datos y herramientas de los SIG.**

Los SIG en general, manejan dos tipos de datos (UNAM, 2016):

- a) Datos (geo)gráficos
- b) Datos descriptivos

Las herramientas para procesarlos son (UNAM, 2016):

- a) El diseño asistido por computadora (CAD)
- b) Los sistemas de administración de bases de datos (DBMS)

- **Propiedades de objetos espaciales y representación de datos espaciales.**

Todos los objetos espaciales pueden ser descritos por tres clases de propiedades (UNAM, 2016):

- a) Su posición en la superficie de la Tierra.
- b) Las relaciones espaciales que tienen con otros objetos.

- c) Sus atributos (caracteres descriptivos no gráficos).

Existen dos modos de representación de datos espaciales (UNAM, 2016):

- a) Modo ráster: División regular del espacio en forma de mallas rectangulares. Corresponde a la noción de imagen.
- b) Modo vector: Permite representar objetos en un espacio continuo: Los objetos y sus límites están ubicados con precisión en un espacio geográfico referenciado. Esta estructura se relaciona con la noción de mapa.

2.1.3.3.3. *Teledetección.*

- **Concepto de teledetección.**

La teledetección (remote sensing) es el conjunto de conocimientos y técnicas utilizadas para definir las características físicas y biológicas de los objetos con medidas “a distancia”, sin contacto material con dichos objetos (UNAM, 2016).

En el sentido usual del término, la teledetección se refiere solo a los fenómenos en que intervienen ondas electromagnéticas y, además, estas ondas son habitualmente detectadas y registradas desde de un avión o un satélite (UNAM, 2016).

- **Características de la teledetección.**

Una característica única de la observación de la Tierra por satélite es precisamente la de proporcionar una visión de conjunto de los fenómenos naturales o provocados por el hombre. Pero global no se opone a detallado (UNAM, 2016).

El principal beneficio de la observación por satélite es sin lugar a duda, un mejor conocimiento de los recursos naturales de cada nación, la evolución del paisaje y los cambios ambientales (UNAM, 2016).

- **Aplicaciones de la teledetección (sensores remotos).**

Las aplicaciones de los sensores remotos se desarrollaron inicialmente en los dominios del espectro visible e infrarrojo cercano. Hoy se utilizan conjuntamente las imágenes de radar aerotransportadas y radar espacial (UNAM, 2016).

Recientemente, las imágenes de la Tierra tomadas desde el espacio han proporcionado una variedad muy amplia de aplicaciones: Cartografía, (Uso del suelo (inventarios), Agricultura, Geología (estudios morfológicos y morfogeológicos), Oceanografía (movimientos de agua, altimetría, velocidad de los vientos), etc. (UNAM, 2016).

En el campo de la investigación y de la cartografía geológica, la información de los satélites de observación se utiliza en la interpretación analógica de rasgos mayores. Mientras que su análisis digital permite el reconocimiento automatizado de áreas con un mismo registro, con lo cual se identifican localidades que teóricamente presentan características similares sin que intervenga el sesgo propio de una apreciación visual por parte de un observador experto (UNAM, 2016).

2.1.3.3.4. Estructuras geológicas.

Se Define como el arreglo espacial y temporal particular que guardan los componentes rocosos o un conjunto rocoso. Las estructuras geológicas se caracterizan con base en aspectos geométricos como su forma, distribución, tamaño, relaciones, orientación, tipo de material, etc. Estas estructuras geológicas se dividen en Primarias y en Secundarias.

- **Estructuras primarias.**

Son aquellas que se originan en las rocas como resultado de su depósito o de su emplazamiento. Son características singenéticas de las rocas. Las estructuras primarias pueden ocurrir en rocas sedimentarias y en rocas ígneas.

- En rocas sedimentarias.

Las estructuras sedimentarias nos permiten describir los procesos de transporte y sedimentación que tuvieron lugar; en conjunto con la litología definen litofacies que son la base de cualquier análisis para la caracterización y el modelado de un ambiente sedimentario. Podemos describir a las estructuras sedimentarias con base en su origen en erosivas, de depósito, de deformación o diagenéticas (Silva-Romo y Mendoza-Rosales, 2016).

- En rocas ígneas.

Rocas intrusivas: Las rocas ígneas intrusivas al emplazarse en un volumen rocoso preexistente definen estructuras primarias con base en su forma y en las relaciones geométricas que guardan con los rasgos de superficie previos. Si los cuerpos intrusivos son de geometría tabular, se pueden presentar los siguientes casos (UNAM, 2016):

- a) El cuerpo es paralelo a las superficies previas (por ejemplo, de estratificación) entonces la estructura se denomina manto o “sill”.
- b) Si el cuerpo tabular no es paralelo a las superficies preexistentes, entonces se trata de un dique. La disposición de varios diques puede definir un arreglo radial o anular (UNAM, 2016).
- c) En el caso de que las rocas que encajonan se encuentren previamente plegadas; si el intrusivo se emplaza concordante en la zona del eje del pliegue, el Intrusivo tabular se denomina facolito, si la base del intrusivo es convexa hacia abajo se

trata de un lopolito. Si la cima es convexa hacia arriba y la base subhorizontal, entonces la estructura se denomina lacolito (UNAM, 2016).

Si la unidad intrusiva tiene un área de afloramiento con una forma más o menos equidimensional se denomina tronco o “stock” si su área es menor a los 100 km² y si el área es mayor a los 100 km² entonces se considera a la estructura como un batolito (UNAM, 2016). En la ilustración 10 se muestran las estructuras intrusivas mencionadas.

Rocas extrusivas: Las rocas volcánicas definen estructuras peculiares a su modo de emplazamiento. Los productos volcánicos pueden ser roca fundida (lava) o fragmentos de roca (piroclastos), la producción de unos o de otros depende principalmente de la composición del magma y de su contenido de gases (UNAM, 2016).

a) Una colada o derrame es una estructura básica en la clasificación estructural de las rocas ígneas extrusivas. Se refiere a una losa de roca que se solidificó en la

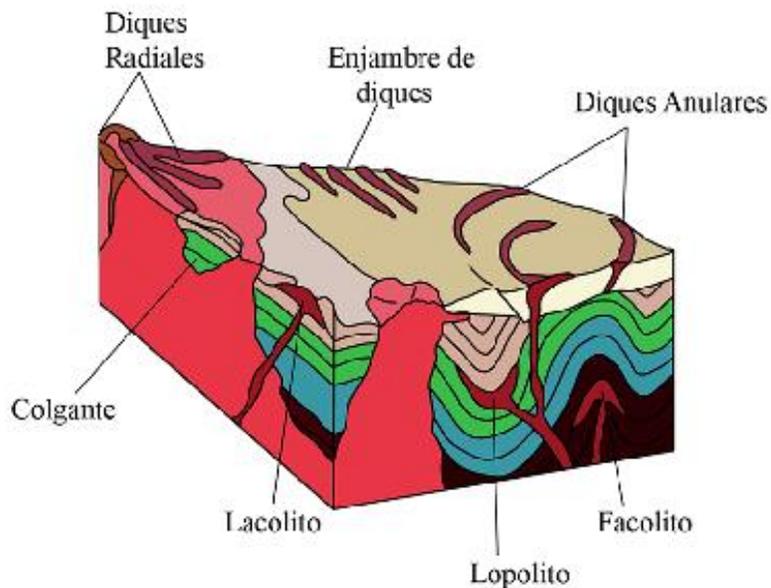


Ilustración 10. Bloque diagramático de las distintas estructuras ígneas.

- b) Volcán Escudo. Estructura volcánica cónica conformada por numerosos derrames que en conjunto presentan un arreglo radial y que se caracterizan por su poca pendiente (UNAM, 2016).
- c) Estratovolcán. Estructura volcánica de forma cónica conformada por numerosos derrames que aparecen intercalados con productos piroclásticos. Un estratovolcán es una estructura poligenética, esto es que se ha edificado por la reiterada actividad volcánica que ocurre por un mismo conducto durante un lapso que puede ser de decenas de miles de años (UNAM, 2016).
- d) Cono Cinerítico. Estructura volcánica de forma cónica conformada principalmente por productos piroclásticos; se trata de una estructura monogenética, esto es que se edifica en una sola fase de actividad volcánica que dura unos cuantos años (UNAM, 2016).
- e) Caldera. Aparato volcánico caracterizado por un cráter (depresión central) de grandes dimensiones, debido al colapso de la estructura (UNAM, 2016).
- f) Domo. Estructura volcánica producto de la solidificación de magmas muy viscosos (de carácter silíceo). La lava se enfría rápidamente en el punto de emisión y se edifica una estructura con forma de cúpula.
- g) Diaclasas de enfriamiento. Son discontinuidades desarrolladas en las rocas ígneas por contracción durante el enfriamiento de la lava (UNAM, 2016).

- **Estructuras secundarias.**

Son aquellas estructuras geológicas que adquieren las rocas posteriormente a su litificación como respuesta a cambios en las condiciones de esfuerzo y temperatura, los cambios que experimentan las rocas se expresan como deformación o metamorfismo. Las

estructuras secundarias se pueden desarrollar tanto en las rocas ígneas, como en las sedimentarias o metamórficas, sus características dependen de diversos factores entre otros la propia naturaleza de las rocas sujetas al proceso de deformación (UNAM, 2016).

- Deformación.

Es la expresión geométrica de la cantidad de cambios causada por la acción de un sistema de esfuerzos sobre un cuerpo. La deformación puede expresarse con una combinación de los siguientes parámetros (UNAM, 2016):

- a) Traslación: Transporte relativo a algún sistema de coordenadas o marco de referencia.
- b) Rotación: que el sistema gire con respecto a algún eje del sistema de coordenadas o marco de referencia.
- c) Distorsión: ocurre un cambio de forma.
- d) Dilatación: ocurre un cambio de volumen.

Según Silva, Mendoza y Campos (2016), la deformación puede ocurrir en condiciones de bajas temperatura y presión (Campo de la deformación frágil), o en condiciones de relativamente altas presión y temperatura (Campo de la deformación dúctil).

- Fallas y fracturas.

Cada uno de los ámbitos que resultan de una superficie de ruptura se denominan bloque, si la superficie de ruptura es horizontal o inclinada, al volumen que queda arriba de la superficie se denomina bloque de techo y al volumen inferior se le llama bloque de piso (Davis et al., 2012) (Ilustración 11A).

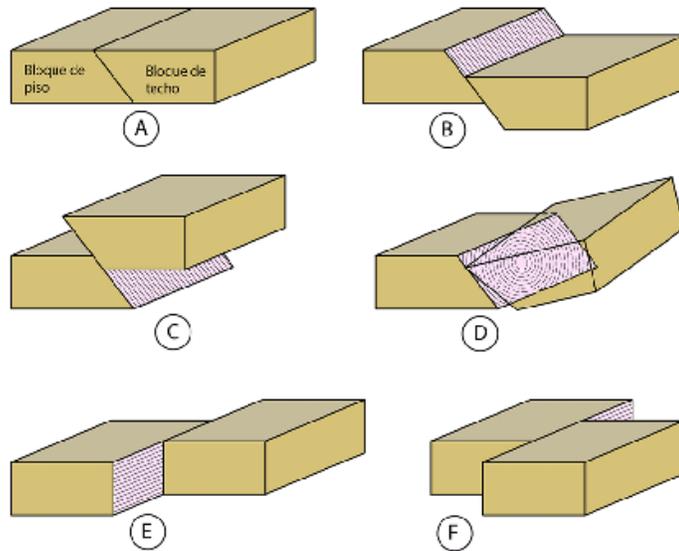


Ilustración 11. Ilustración 11. Clasificación de las fallas conforme al movimiento relativo de los bloques.

Bajo el campo de la deformación frágil las rocas se rompen conforme a superficies más o menos planas. Las superficies de ruptura se denominan fracturas cuando no se aprecia desplazamiento entre los dos bloques en sentido paralelo a la propia superficie de discontinuidad (UNAN, 216).

Cuando ocurre desplazamiento en algún sentido paralelo a la superficie de ruptura, esta se denomina como falla. Si el movimiento ocurre conforme a la recta de pendiente máxima, la falla será normal si el deslizamiento es tal que el bloque de techo se desliza hacia abajo (Ilustración 11B), y será inversa cuando el bloque de techo se desliza hacia arriba (Ilustración 11C). El movimiento entre los bloques puede ser rotacional (Ilustración 11D); si el movimiento es paralelo al rumbo de la superficie, la falla es lateral la cual puede ser izquierda (Ilustración E) o derecha (Ilustración 11F) (UNAM, 2016).

En todos los casos, la dirección del movimiento puede estar expresada por rasgos de abrasión (estrías de falla) en la superficie de la falla y el sentido del movimiento se puede inferir con base en indicadores cinemáticos como los representados en la ilustración 12. Otro

rasgo de las superficies de falla es la presencia de materiales triturados asociados a la zona de falla (brecha de falla, microbrechas, etc.) (UNAM, 2016).

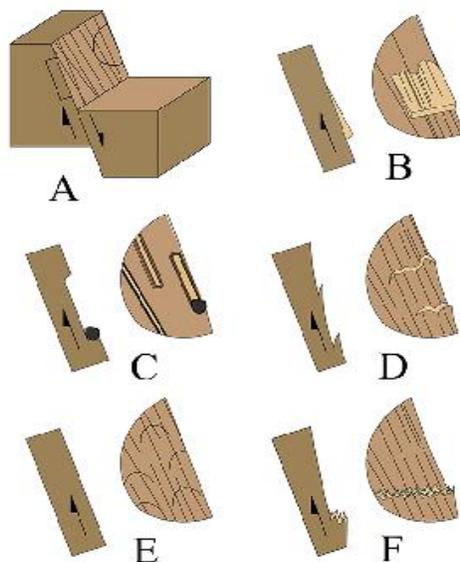


Ilustración 12. Criterios para definir el movimiento relativo de los bloques de falla.

En la ilustración 12 se define: A) Diagrama que muestra el movimiento de la falla, los recuadros se amplían en el resto de la figura para ilustrar distintos rasgos que puede presentar la superficie de falla y expresar el movimiento relativo entre los bloques de la Falla. B) Relleno, en forma de cuña, de minerales que crecen durante el desplazamiento, el movimiento del bloque ausente ocurrió en el sentido hacia donde se engruesa la cuña. C) Surco formado por el arrastre de un grano más resistente que la matriz que la contiene, el grano alojado en un extremo del surco expresa la trayectoria del bloque ausente. D) Grietas en forma de escalón, se forman por el arrastre del material durante el deslizamiento, las grietas se profundizan en el sentido del movimiento del bloque ausente. E) Marcas parabólicas en una superficie de falla pulimentada, el lado cóncavo de las marcas indica el sentido del movimiento del bloque ausente.

2.2. Hipótesis

La geología del área de estudio podría estar influenciada por eventos volcánicos del Período Terciario, correspondiendo litológicamente a posibles afloramientos del Grupo Coyol y Grupo Matagalpa, en consecuencia, todas las estructuras geológicas presentes en el interior de la hoja estarán asociadas a dicha actividad como un registro en el tiempo geológico del área de estudio.

Capítulo III

3.1. Diseño metodológico

3.1.1. Tipo de estudio.

3.1.1.1. *Enfoque de la investigación*

Para la elaboración de esta investigación se utilizó un enfoque mixto, debido a que este tipo de estudio busca complementar datos numéricos y objetividad con la información subjetiva a percepción del espectador. Es cuantitativo debido a que se emplearon datos numéricos al momento de la ubicación espacial de las unidades litológicas y geomorfológicas, de igual manera se utilizaron en la etapa de campo para la medición directa o indirecta de afloramientos rocosos (altura de los taludes en Bancos de Materiales o Bancos de Préstamos), así mismo se utilizó para la obtención de los diagramas de fracturas y mapa de pendientes. A su vez el enfoque es cualitativo debido que se emplea la descripción e interpretación litológica, geomorfológica y estructural mediante el uso de plantillas in situ y en el laboratorio (análisis muestras recolectadas en campo).

3.1.1.2. *Tipo de investigación.*

El tipo de estudio es Descriptivo, debido a que consiste en caracterizar fenómenos, situaciones, contextos y eventos, además buscan especificar las propiedades y características de los fenómenos, objetos o perfiles que se sometan a análisis (Hernández, Fernández y Baptista, 2006). Para este caso se realizó la descripción de los cuerpos ígneos, capas de suelos y estructuras geológicas que se encuentran aflorando en la zona. Se tomaron en cuenta los parámetros principales como: Color, textura, tenacidad, composición química, granulometría, grado de meteorización y alteraciones que presenta la roca, de igual manera se analizó el tipo de desplazamiento de las fallas.

3.1.1.3. Periodo y secuencia del estudio.

Este estudio se define como Transversal debido a que es observacional y el investigador registra la información sobre los participantes (muestreo geológico) sin cambiar nada ni manipular el entorno natural en el que existe. La característica más importante de este estudio es que se puede comparar diferentes muestras de diferentes periodos de tiempo específicos.

3.1.2. Área de estudio.

El área sujeta a estudio se localiza en el departamento de Río San Juan, entre municipios de San Carlos y San Miguelito correspondiente a la hoja número 3249 – I.

3.1.3. Universo y muestra.

El universo del presente trabajo monográfico lo constituye la totalidad de las diferentes unidades litológicas presentes en el interior de la hoja topográfica Los Chiles, y la muestra está conformada por las diferentes estaciones donde se efectuó el levantamiento geológico en el interior de este cuadrángulo. El tipo de muestreo que se realizó es no probabilístico debido a que este consiste en obtener muestras sin que todos los individuos de la población tengan la posibilidad igual de ser elegidos.

3.1.4. Métodos, técnicas de recolección de datos.

3.1.4.1. Etapa de gabinete.

Esta etapa inicio, con la compilación y análisis de los antecedentes donde se realizó el cartografiado geológico. En este período, se consultaron documentos de los CEDOC del Ministerio de Energía y Minas, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales, Instituto de Geología y Geofísica, Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales y del Ministerio de Fomento Industria Comercio. Igualmente se visitaron bibliotecas como la del Dr. Roberto

Incer Barquero ubicada en el Banco Central de Nicaragua, Salomón de la Selva en la UNAN Managua y la Biblioteca Albaro Arguello ubicada en el Instituto de Historia de Nicaragua y Centroamérica, del mismo modo se solicitó entrevista con autoridades del Ejército de Nicaragua para obtener más información del área de estudio relacionada a las ortofotografías más recientes existentes en el inventario nacional (Anexo 8).

Como resultado de esta recopilación de información se obtuvieron mapas geológicos y topográficos aledaños al sitio de estudio con escala 1: 50,000, ortofotos, imágenes de radar, boletines geológicos que hacían referencia a estudios de zonificación en el interior o cercano al perímetro de Los Chiles, también se obtuvieron estudios y reportes geológicos que hacen una reseña al sitio en cuestión.

Se interpretaron 10 pares de ortofotos pertenecientes a la línea de vuelo 56 y 57 del año 1964, la cual fue realizada por el Ejército de los Estados Unidos, estas exhiben una escala de 1: 60, 000. Igualmente, la imagen de aspecto lateral del radar AN/APQ 97 a escala 1: 100, 000 adquiridos por la empresa Westinghouse Electronic Corporation para earth resources program en noviembre de 1971 y preparado para la dirección general de cartografía de Nicaragua en 1972, las que fueron compiladas en una serie de mosaicos a escala 1:100, 000 ideales para los levantamientos cartográficos regionales. También se descargaron e interpretaron una serie de imágenes satelitales de las plataformas USGS, NASA, LAND VIEWER, Google, Bing y ESRI, donde estas tres últimas corresponden al software Ruso SAS Planet. Cabe destacar que estas imágenes satelitales fueron capturadas por los satélites entre los años 2010 – 2019.

Con la recopilación y el debido procesamiento de todas las imágenes, se facilitó en primera instancia la actualización de las curvas de nivel, el trazo de las vías de circulación,

sean estas carreteras, caminos y trillos, se logró la localización de zonas de extracción de material, el cual nos permitiera comprender más ampliamente el comportamiento y tipo de material presente en áreas adyacentes a los afloramientos expuestos recientemente.

También, se pudo identificar los aspectos geomorfológicos, litológicos y estructurales presentes en la zona, como fallas, fracturas, lineamientos, estructuras circulares y contactos litológicos.

El mapa obtenido en esta etapa de gabinete mediante interpretación de imágenes satelitales y de radar, es un mapa preliminar donde se reflejan los rasgos estructurales y de contacto litológico entre el grupo Coyol y el grupo Matagalpa siendo equivalente a un mapa geológico, con la diferencia de que este se comprobara en la etapa de campo.

3.1.4.2. Etapa de campo.

En esta etapa se procedió a visitar el área de estudio, utilizando como guía un mapa preliminar elaborado en la etapa de gabinete, en este mapa se mostraron las diferentes estructuras; así como, fallas, fracturas, lineamientos, estructuras circulares y afloramientos o bancos de materiales. En dicha visita se realizaron las actividades que sustentarán el levantamiento de campo.

- a) Reconocimiento geológico general del campo por medio de la planificación de marchas rutas en el interior del área, para obtener una idea de la magnitud y complejidad del área de estudio.
- b) Localización de los principales afloramientos.
- c) Confirmación de estructuras circulares, lineamientos, fracturas y fallas observados en la fotointerpretación.

- d) Clasificación macroscópica del tipo de roca. Durante esta sección, identificar cuantas unidades existen en el área y nombrar las unidades preliminares.
- e) Mediciones estructurales (Rumbo, Buzamiento y desplazamientos de las estructuras) como: fallas, fracturas, diaclasas, diques, entre otros.
- f) Toma de fotografías de los afloramientos y estructuras mejor expuestas.
- g) Levantamientos de columnas estratigráficas para una posterior correlación y definir así una sola columna.
- h) Identificación de Indicadores cinemáticos.
- i) Descripción Geomorfológica de sitio.

3.1.4.3. Materiales.

Los instrumentos utilizados en la etapa de campo fueron: piqueta, mazo de 2 libras, machete, lupa, brújula, GPS, bolsas para muestra, lápices, libreta de campo, ácido clorhídrico (10 %), cinta métrica de 5 y 25 metros, lápices de colores, marcadores, mapa topográfico y geológico (preliminar) Esc. 1:50,000, fotografía aérea escala 1:60,000, sacos de polipropileno y cinta adhesiva.

3.1.5. Procedimientos para la recolección de datos e información.

El levantamiento de los datos de campo se realizó mediante un muestreo sistemático tomando en cuenta la composición litológica de los estratos que afloran en superficie, no obstante, también se tomó como referencia la topografía local ubicando los puntos de pendiente más escarpadas para la toma de muestras y descripción de rasgos morfoestructurales, para ello fue indispensable el uso de GPS y brújula. La hoja se dividió por cuadrantes para obtener un levantamiento de manera eficiente con datos veraces. Al realizar la toma de muestras en los horizontes de suelo se hizo una descripción de campo y

se evaluó el estado en el que se encontró la roca, para posteriormente en laboratorio efectuar un análisis a escala macroscópica y microscópica que permitiera diagnosticar las características texturales de la muestra, para asignarle la formación litológica en la que se encuentra dentro del área de estudio y así poder realizar un mapa geológico a escala donde se reflejen dichos rasgos observados en campo.

3.1.6. Plan de análisis y procesamiento de los datos e información.

Una vez culminada con las diferentes expediciones realizadas al área de estudio se procedió con el análisis y procesamiento de todos los datos obtenidos tanto en campo como en la etapa de gabinete. Se seleccionaron las mejores muestras de rocas, posteriormente se enviaron al laboratorio para la realización de secciones delgadas, seguidamente se elaboró el análisis petrográfico de cada muestra con ayuda del microscopio; de esta manera determinamos el tipo de roca que caracteriza el lugar y así complementar la información para la presentación del mapa geológico final.

Se digitalizo la información recopilada en campo, con el software ArcGIS 10.6, como base para la elaboración de mapa geológico final, mapa geomorfológico, mapa de puntos de muestreos, mapa altimétrico y mapa de pendientes. Igualmente se procesaron los datos estructurales en el programa GeoRose para obtener la dirección preferencial, determinar el máximo y mínimo esfuerzo de las estructuras. En campo se confirmaron las estructuras circulares, lineamientos y fallas que fueron observadas mediante la realización de la fotointerpretación.

3.1.6.1. Análisis macroscópico y microscópico.

3.1.6.1.1. Análisis macroscópico.

Con lupa estereoscópica ZEISS se describieron 77 muestras de mano (Anexo 9) tomando en cuenta la tenacidad, grado de meteorización, reacción al ácido clorhídrico por inclusiones hidrotermales, color de la muestra, grado de cristalización, forma del cristal, modo de ocurrencia y la composición mineral. Para la descripción de estas muestras se elaboró un formato que detalle las principales propiedades físicas y químicas de las rocas a analizar, al mismo tiempo que mostrará las coordenadas del sitio donde se extrajo la muestra (Anexo 10). Para la descripción de los ejemplares se utilizó un juego de lápices de dureza, imán y líquido HCL diluido al 10% (Anexo 13).

3.1.6.1.2. Análisis microscópico.

Se realizaron un total de 7 muestras en sección delgada a 30 micrones de espesor, para posteriormente analizarlas en microscopio NIKON de luz polarizada y platina giratoria. Para la realización de la descripción de estas muestras se utilizó un formato el cual describe el tipo de mineral, la textura de cada uno de estos y la alteración que presenta la muestra producto de una mineralización secundaria. También se utilizó como herramienta la tabla de colores de Michel Lévy para determinar la birrefringencia los minerales examinados en las muestras (Anexo 14).

3.1.6.2. Procesamiento de datos para elaboración de mapas.

3.1.6.2.1. Mapa geológico.

Para llevar a cabo la elaboración de este mapa se utilizó como base la carta topográfica 3249-I, igualmente se emplearon mapas de relieves, imágenes satelitales y pares de ortofotos que aportaron información para delimitar con claridad las fallas, fracturas, diques, estructuras

circulares y los contactos entre formaciones. Teniendo elaborado el mapa geológico preliminar se procedió a la etapa de campo donde se realizaron verificaciones y correcciones al mapa inicial puesto que también se obtuvieron nuevos datos referente al área.

Para modelar toda la información geológica y obtener como resultado el mapa geológico final se utilizó el software ArcGIS 10.6 donde con ayuda de la herramienta polígonos y polilíneas fueron creadas las áreas de cada formación rocosa y los lineamientos geológicos respectivamente. Partiendo de una imagen DEM, para que este mapa tuviese el aspecto de relieve se utilizó la herramienta Hillshade y contour.

3.1.6.2.2. Mapa geomorfológico.

Este mapa fue elaborado tomando en cuenta principalmente el mapa altimétrico y posteriormente todo el compendio de mapas e imágenes mencionadas anteriormente, de igual manera, se consideraron los agentes exógenos que modelan la superficie terrestre tomando en cuenta las características, composición de las rocas y el ambiente climatológico que afecta a la región. Se obtuvieron como resultado de este trabajo 5 unidades geomorfológicas trazadas con ArcGIS (Ilustración 10).

3.1.6.2.3. Mapa de puntos muestreados.

Este mapa fue elaborado para ubicar los diferentes puntos donde se realizaron descripciones, toma de muestras en rocas y recopilación de información. Para la elaboración de este mapa se generaron curvas de nivel cada 20 metros, imagen de relieve, trazado de ríos y límites municipales, procesamiento de datos GPS y ubicación de topónimos. (Anexo 5). En este mapa se representan 332 puntos de muestreos, de los cuales 7 corresponden a análisis petrográfico y 11 a antecedentes litológicos, posteriormente este mapa servirá como

herramienta para efectuar el trazado de las formaciones litológicas y de los lineamientos estructurales, tomando en cuenta los resultados recabados en la etapa de campo.

3.1.6.2.4. Mapa altimétrico.

Mediante el uso de este mapa auxiliar se delimitaron las regiones morfológicas de Los Chiles en el mapa geomorfológico debido a que este proporciona información sobre los lineamientos de los cerros, forma y altura del terreno mediante el coloreado de tintas hipsométrica, la cual consiste en la aplicación de distintos colores en cartografía para señalar la elevación que presenta el sitio. Este mapa fue realizado tomando como base una imagen de sombras (DEM) y procesada en ArcMap, se obtuvieron 17 rango de valores altimétricos con rango altitudinal cada 20 metros. (Anexo 6).

3.1.6.2.5. Mapa de pendientes.

Para la elaboración de este mapa se tomó de base la imagen DEM de Los Chiles, esta fue procesada en ArcMap con la herramienta Slope y utilizando la tabla de rango de pendientes se le asignó la elaborada por Lugo (Anexo 15), dando que fue la más acertada para analizar parte de los rasgos morfológica o morfométrico. Este mapa de pendiente (Anexo 7), también es útil para ayudar a identificar lugares en forma de planicies, valles o sitios donde ocurran deslizamientos. Cabe destacar que este mapa temático está realizado en grados.

3.1.6.2.6. Mapa de red hidrográfica.

Se realizaron dos mapas de drenajes, en el primero (Ilustración 10) se trazó la red hídrica, se etiquetaron los órdenes de corrientes utilizando el método de Strahler (Anexo 20), igualmente se delimitaron las cuencas hidrográficas para cada red de drenaje mediante el trazado de los parteaguas, el cual está en función de la altimetría la zona. Para realizar este

mapa se utilizaron las herramientas de ArcMap 10.6 y tomando como base un modelo digital de elevación (DEM).

La red de drenaje del segundo mapa (Ilustración 11), fue elaborada en base a la carta topográfica de Los Chiles, edición 1989, sobre esta se trazaron los Shapefile de polilíneas para representar los ríos de corrientes intermitentes y corrientes permanentes que discurren en el área. Debajo del mapa topográfico se utilizó una imagen que proporcionara la apariencia de resaltar las elevaciones que caracteriza a Los Chiles (Hillshade). Cabe destacar que el drenaje presente en este mapa es de cuenca circulante, debido a que solamente se consideró la red recorrida por las arterias funcionales, a diferencia del primer mapa (Ilustración 10), que es una cuenca teórica, debido a que abarca la totalidad de los drenajes, auxiliándose de los trazos de las curvas de nivel y el Criterio o Regla de la V.

3.1.6.2.7. Mapa y análisis estructural.

Para realizar el procesamiento de los datos estructurales obtenidos en los diferentes levantamientos en campo, se utilizó el programa GeoRose 0.5.1 (Anexo 11), donde se ingresaron los rumbos de las fracturas, fallas, diques y vetillas en formato azimutal, cabe destacar que las mediciones de estas estructuras primeramente se levantaron por cuadrantes y posteriormente se realizó la conversión para proceder a ingresarlas al programa.

El diagrama obtenido producto del procesamiento de los datos estructurales fueron comprobados de manera manual utilizando una plantilla del diagrama de roseta, posteriormente se ingresaron las mediciones recolectadas en campo para obtener como resultado la coincidencia de las direcciones de los rumbos generales de las estructuras tabulares y planos tectónicos. (Anexo 12).

Las estructuras geológicas se trazaron con ayuda de ortofotografías, imágenes radar e imágenes satelitales (ALOS PALSAR, ASTER y Landsat), las cuales fueron posteriormente identificadas en campo, tomando en consideración los cambios abruptos del terreno, la alineación del drenaje a una estructura puesto que es un indicador de fallamiento e igualmente se verificaron otras estructuras delimitadas en el mapa fotointerpretado en la etapa de gabinete. (Anexo 14).

3.1.7. Matriz de operacionalización de variables independientes.

| Objetivos específicos | Variable Conceptual | Subvariables o Dimensiones | Variable operativa o Indicador | Técnicas de Recolección de Datos e Información |
|---|---|--|---|--|
| Delimitar las diferentes unidades geomorfológicas existentes en el área. | Rasgos geomorfológicos del área de estudio | Atributos de las estructuras geológicas que afloran en la superficie. | Descripción física de los materiales de los cuales se componen las estructuras que afloran en superficie. | Fichas de descripción en campo. |
| Determinar las fases de deformación estructural que afectan el área. | Fases de deformación estructural | Resistencia del suelo o roca ante un evento geológico | Capacidad de soporte de los materiales de una superficie ante un esfuerzo. | Análisis estadístico mediante software. |
| Elaborar un análisis petrográfico de las principales unidades litológicas presentes en el área. | Análisis petrográfico de unidades litológicas | Características físicas y ópticas de los minerales que componen la matriz rocosa | Comportamiento de los minerales ante el intemperismo y la variación de la luz en el microscopio. | Ensayo de laboratorio. |
| Definir las unidades litológicas que se encuentran en el área de estudio. | Unidades litológicas del área de estudio | Características físicas de la matriz edáfica y rocosa que aflora en superficie. | Comportamiento de los minerales que se encuentran en la roca y matriz edáfica ante el intemperismo. | Fichas de descripción en campo. Análisis de las muestras recolectadas en campo. |
| Proponer la columna estratigráfica de la zona de estudio. | Columna estratigráfica del área de estudio | Representación de los tipos de roca y suelo que afloran en el sitio | Descripción de los materiales que se encuentran aflorando en superficie de manera homogénea o heterogénea, dependiendo del grado de intemperismo o esfuerzo ante un posible evento geológico. | Modelo empleado por software. |

Tabla 2. MOVI.

Capítulo IV

4.1. Análisis y discusión de resultados.

4.1.1. Hidrografía.

El área de estudio se encuentra en el interior de la cuenca hidrográfica N.º 69 denominada Cuenca del Río San Juan (Anexo 19), esta se encuentra constituida por un área total entre Nicaragua y Costa Rica de 42,035.58 km² (Anexo 21), de las cuales en Nicaragua cubre una superficie de 28,995.54 km² (INETER 2016), esto es equivalente al 69% de la totalidad de la cuenca, en consecuencia, esta sería una de las cuencas más extensas del país.

En nuestro país, esta cuenca se encuentra distribuida mayormente sobre la Provincia de la Depresión Nicaragüense y abarca parte de los departamentos de Chontales, Boaco, Matagalpa, Jinotega, Estelí, León, Managua, Masaya, Granada, Rivas y por consiguiente Río San Juan. Esta parte de la cuenca se encuentra segmentada según la concentración de los puntos donde descargan las Subcuencas, y se encuentra constituida por el Lago Apanás, Lago Xolotlán, Lago Cocibolca y el Río San Juan, siendo estas dos últimas el punto de desfogue de las subcuencas que se encuentran en el interior del mapa de drenajes de Los Chiles.

El interior del perímetro de estudio se encuentra constituido por 11 subcuencas exorreicas, las cuales albergan una red hidrográfica de tamaño y clasificación variable, 4 de estas subcuencas drenan hacia el Lago de Nicaragua y 7 hacia el Río San Juan. Todas estas subcuencas se describen a continuación:

4.1.1.1. Subcuenca Hidrográfica Río Tule.

Parte de esta subcuenca se encuentra representada en toda la zona Norte del mapa, ocupando un área de 256.71 km², posee una corriente de sexto orden, predominando un

patrón de drenaje del tipo dendrítico. Este patrón está conformado por una corriente principal atribuible al Río Tule, con afluentes primarios como el Ventura, Las Cañas, La Mina y El Cojo, de igual manera lo constituyen afluentes secundarios como el río San Agustín, Los Chiles, La Cruz Verde, El Espabel y Punta Delgada, todos estos afluentes se unen libremente en todas direcciones indicando que la pendiente del área es de bajo ángulo y compuesta de materiales uniformes.

En la zona NW de la subcuenca también se pudo identificar un patrón de drenaje del tipo radial, este se encuentra entre un lineamiento semicircular, con pequeñas corrientes hasta de tercer orden que fluyen hacia las periferias de la estructura, siendo característico de un drenaje radial centrípeto, esta red cubre al Cerro México, La Cruz Verde y El Bejuco.

El cauce principal Río Tule presenta una morfología meandriforme, principalmente en la zona del Cerro Los Raizones donde la sinuosidad de los meandros es muy pronunciada y continua. Sobre la ribera de este río se logró apreciar suamos y algunos meandros abandonados que presentan formas de lagos en herraduras.

Las aguas que circulan sobre la red de drenaje de esta subcuenca descargan al lago de Nicaragua el cual forma parte del cauce principal de la cuenca N.º 69. Esta subcuenca abarca parte las comarcas El Guásimo, La Trinidad, San Ramón, Los Chiles, Las Maravillas II, El Ventura I, Nueva Armenia II, El Espejo, El Pavón, México, La Cruz Verde y Las Marías.

4.1.1.2. Subcuenca Hidrográfica Estero El Coyol.

Esta subcuenca abarca un área de 9.40 km², representándose únicamente en nuestra zona 0.96 km², presenta un drenaje dendrítico de tercer orden en la desembocadura del Lago de Nicaragua, pero en nuestra hoja solamente se logran apreciar las corrientes de primer

orden, las cuales no tienen afluentes y las de segundo orden como resultado de la afluencia de dos vínculos de primer orden. Esta cuenca hidrográfica se ubica en el extremo Oeste del mapa y solamente cubre la zona donde nacen las corrientes (zona de cabecera).

4.1.1.3. Subcuenca Hidrográfica Río El Consuelo.

Se encuentra ubicada al Oeste del cuadrángulo y con desembocadura hacia el Lago Cocibolca, esta subcuenca cubre una superficie de 102.53 km² donde solamente 91.31 km² corresponden al interior de Los Chiles. Además, presenta una red de drenaje del tipo dendrítico que comprende las comarcas Ojo de Agua, Carlos Zeledón, La Argentina, Los Rugama, El Paraíso, Laurel Galán y parte de La Cruz Verde.

Esta subcuenca presenta una corriente de quinto orden desde el punto de desfogue ubicado en el Lago de Nicaragua, hasta la parte baja de la subcuenca media, esto es producto de la unión de dos microcuencas de cuarto orden que definen el cauce principal del Río El Consuelo (San José). Los afluentes Río San Vicente y La Argentina – Los Rugama representan al drenaje primario que conforma a la corriente principal de subcuenca.

4.1.1.4. Subcuenca Hidrográfica Río El Anzuelo.

Cubre una superficie en nuestra área de 2.73 km² de un total de 12.60 km² que conforma toda la subcuenca, esta se ubica en el extremo SW de la hoja, Abarcando únicamente la comarca Santa Elena, presenta un patrón de drenaje erosional del tipo paralelo o semi paralelo, los tributarios son medianamente desarrollados, posee corrientes de segundo orden en parte alta de la subcuenca y en la desembocadura hacia el Lago Cocibolca una corriente de tercer orden.

4.1.1.5. Subcuenca Hidrográfica Río Espabel.

Se encuentra constituida por las comarcas El Paraíso y Melchorita, abarcando un área de 29.59 km² y teniendo por desembocadura el Río San Juan, donde presenta una corriente de cuarto orden. En el interior de cuadrante solamente cubre una superficie de 12.51 km² que corresponde a la parte alta de la subcuenca, esta se encuentra delimitada por una porción del lineamiento semicircular que presenta un patrón de drenaje subradial centrípeto producto del escurrimiento de las aguas hacia el interior de la estructura. En el margen Sur, esta se encuentra muy erosionada, permitiendo que las corrientes drenen hacia el exterior del lineamiento que forman las lomas Laurel Galán, La Bruja y El Caimito. De manera generalizada, esta subcuenca río Espabel alberga un drenaje dendrítico que cubre tanto la hoja topográfica Los Chiles (3249 – I) como a la de Las Azucenas (3249 – II).

4.1.1.6. Subcuenca Hidrográfica Río Melchorita.

Se ubica al SW de la hoja, cubriendo una superficie de 26.63 km², donde solamente 12.48 km² corresponde a la zona de estudio, presenta una corriente de sexto orden que desemboca en el Río San Juan, en un sitio conocido por lugareños como San Pancho, esta subcuenca se encuentra constituido por las comarcas La Argentina, La Venada y Melchorita.

Se encuentra limitada en el extremo Oeste de la parte alta de la subcuenca por un lineamiento semicircular conformado por Loma Bruja y El Caimito, mientras que en el extremo Este por Loma Quemada. En el interior de estas lomas se encuentra una red de drenaje dendrítica, donde los tributarios son pequeños, irregulares e intermitentes y donde el cauce principal ubicado en el interior de la hoja presenta un punto de salida de cuarto orden.

4.1.1.7. Subcuenca Hidrográfica Río Melchora.

Presenta una corriente de quinto orden, con desembocadura hacia el río San Juan, abarca un área de investigación equivalente a 69.63 km² de un total de 75.89 km² que conforma toda la subcuenca, se encuentra comprendida por las comarcas México, El Pavón, Alejandro García, La Venada, San José, La Azucena y El Candilito, esta subcuenca cubre lineamientos semicirculares y lineamientos asociados a fallamientos.

Al sureste de la comarca el México se encuentra una microcuenca que drena sus aguas intermitentes hacia el río Melchora, esta posee un patrón de drenaje paralelo, en donde el río principal discurre en dirección SE y con una corriente de tercer orden en su punto de salida. Los tributarios son pocos desarrollados debido a que las escorrentías se originaron sobre un plano inclinado (pendiente de alto grado) el cual está relacionado a un control estructural.

La cabecera de la subcuenca se encuentra limitada por los cerros El Águila, El Pavón y La Venada, en su interior los tributarios forman una red de drenaje del tipo subradial centrípeta los cuales son drenados hacia afuera del lineamiento semicircular debido a la erosión que presenta el flanco SW de la estructura. La interconexión del drenaje presente en cada estructura geológica forma una red hidrográfica dendrítica.

4.1.1.8. Subcuenca Hidrográfica Crique Hondo.

Se encuentra localizada en la zona centro sur de la hoja, comprende únicamente a las comarcas San José, La Azucena y Las Delicias, sus aguas descargan hacia el río San Juan, la subcuenca cuenta con una superficie de 16.20 km² de los cuales solamente 7.05 km² pertenece a Los Chiles, en el punto de confluencia con el río San Juan la subcuenca presenta una corriente de tercer orden y con red de drenaje paralelo.

4.1.1.9. Subcuenca Hidrográfica Medio Queso.

Constituida por una superficie de 24.54 km² de la cual solamente 3.24 km² pertenecen a nuestra área de estudio, esta se encuentra constituida por una red de drenaje del tipo dendrítico y una corriente de cuarto orden en la desembocadura al río San Juan. En Los Chiles solamente podemos apreciar la zona de cabecera de esta subcuenca, la que alberga en su interior corrientes de primer y segundo orden paralelas entre sí, todo esto en las proximidades de la comarca San José.

4.1.1.10. Subcuenca Hidrográfica Río Palo De Arquito.

La parte alta de la subcuenca Comprende un área de 43.57 km², equivalente al 45.58% de la totalidad de la cuenca, esta se encuentra caracterizada por tres afluentes principales como son Río El Botadero, Quebrada Buena Vista y Río Palo de Arco, donde las dos primeras producen una zona de captación en esta parte de la subcuenca como resultado de la confluencia de estas dos microcuencas.

De manera general esta subcuenca contiene un drenaje dendrítico y con desembocadura hacia el río San Juan, así mismo presenta una disposición de corriente de quinto orden donde solamente se puede apreciar en nuestra área de tercero y cuarto orden.

4.1.1.11. Subcuenca Hidrográfica Río Boca Negra.

En nuestra área solamente cubre 3.54 km² de un total de 89.92 km² que constituye la subcuenca, esta se encuentra localizada al SE de la hoja, cubriendo la comarca Monte Piedad, con un sistema de drenaje dendrítico rectangular producto al control estructural ejercido existente en la zona.

La subcuenca se encuentra delimitada por Lomas El Areno, Cerro El Arenito, Cerro Boca Negra, Cerro San Antonio, Cerro Punta Chata y Lomas Las Delicias, donde en el interior de estas discurre un drenaje de quinto orden, el cual tiene por desfogue el río San Juan, mientras que en nuestra área solamente cubre corrientes de tercer orden.

4.1.2. Geomorfología.

En esta sección se clasificaron las formas que presenta el relieve en el interior del cuadrángulo, mediante la interpretación de imágenes de pendientes, altimétricas e hidrográficas, las cuales morfológicamente comprenden zonas de relieve abrupto, onduladas y llano con lomos aislados. Posteriormente al análisis y delimitación se obtuvo como resultado un total de 6 unidades geomorfológicas donde se empleó la metodología avalada por el Servicio Geológico Colombiano titulado *Propuesta de estandarización para la cartografía geomorfológica* elaborada en 2012.

4.1.2.1. Unidad de caldera (Vcd).

Esta unidad destaca mayormente en la zona central de la hoja, se encuentra conformada por calderas semicirculares las cuales son el resultado de la meteorización, erosión y colapso de estructuras primarias formadas posterior a un evento volcánico antiguo. Estas estructuras ubicadas en la zona núcleo de la hoja son las que mejor se encuentran preservadas, en comparación con los otros lineamientos semicirculares representados en las periferias de esta estructura central.

Las calderas ubicadas en la zona central del cuadrante rumban en dirección NW – SE, casi paralelas a la cadena volcánica actual, donde a su vez se encuentran delimitadas al Este por Cerro El Pavón, al Oeste por Cerro El Águila, al Sur con el Cerro La Venada y al Norte por Cerro México y El Bejuco (Fotografía 1).

Las otras estructuras semicirculares ubicadas próximas a las anteriormente descritas presentan menos altitud, mayor meteorización y erosión, pero aún se preservan vestigios de su forma, lo cual las hace fácilmente reconocible solamente mediante el alineamiento en fotografías aéreas y en campo mediante la presencia de depósitos aglomeráticos en los

alrededores de la estructura. Cabe destacar que estos remanentes de calderas también se encuentran sujetos a deformaciones estructurales lo que implica un diastrofismo a la forma original de la estructura. Todo este complejo de estructuras semicirculares que se encuentra en esta unidad está relacionado al alineamiento VIII del Paleo-Arco Volcánico de Nicaragua (Anexo16).



Fotografía 1. Costado Este de la caldera El Pavón, foto tomada en dirección Oeste, desde el punto N 1241908 - E 769272.

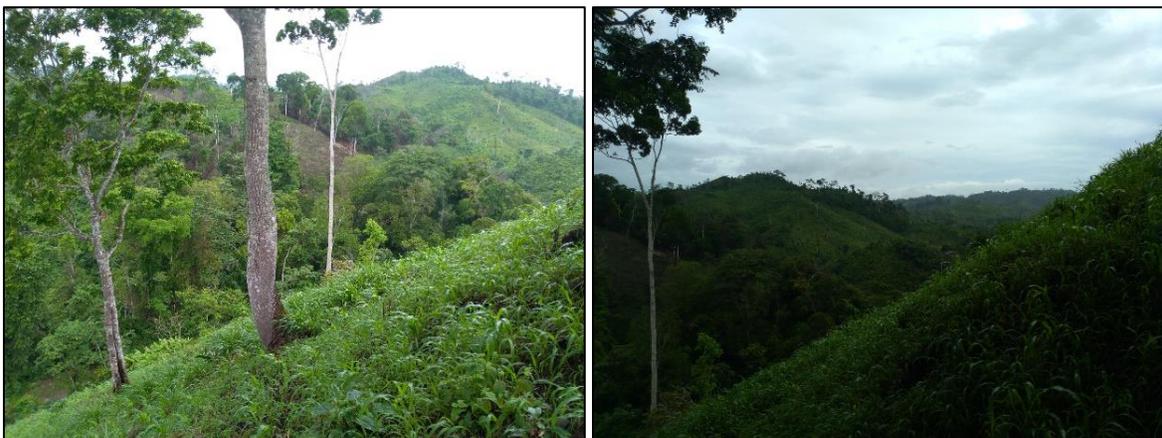
Esta unidad se encuentra conformada al menos por 11 lineamientos semicirculares asociados a calderas y cráteres volcánicos del terciario, todas estas geoformas presentan rocas de composición andesita – basalto perteneciente al grupo Coyol inferior. Las elevaciones de estas estructuras oscilan, de 398 msnm y ubicado en el extremo Este de la caldera el Pavón, a 60 msnm perteneciente al lineamiento semicircular San Vicente constituido por pequeños montículos perfectamente alineados al cual solamente se logró identificar por imágenes satelitales debido a que no se pudo acceder a la zona.

Las pendientes predominantes son de 30° a 60° y con corrientes hidrográficas hasta de segundo orden, las cuales descienden sobre las laderas de las estructuras cuya cima ejerce

de parteaguas, generando que las escorrentías fluyan de manera centrípeta y centrífuga sobre el lineamiento semicircular. Toda esta unidad volcánica presenta una dimensión aproximada a los 146.6 km².

4.1.2.2. Unidad de colinas semi-ásperas y disectadas (Dkdi).

Esta unidad cubre un área de 91.85 Km², se encuentra distribuida en todo el cuadrante, predominando en el sector Este de la hoja topográfica y extendiendo su relieve hacia el Oeste, en el sector sur de la caldera El Pavón y comarca Ojo de Agua, las elevaciones oscilan entre 150 a 300 msnm, siendo la cima de estas colinas peneplanadas por la erosión, mientras que sus laderas presentan pendientes muy escarpadas que fluctúan en rango de III a IV (equivalente 30° - 45°), según la clasificación de Lugo (Anexo 15), la morfología de esta unidad es producto de la tectónica regional que afecta al área (Fotografías 2).



Fotografía 3. Colinas escarpadas y disectadas. Visando hacia el SE del punto con coordenadas de localización N 1240291 - E 771130.

Esta unidad se caracteriza por presentar un sistema de drenaje subparalelo y por contener corrientes de tercer orden, las cuales discurren sobre el terreno abrupto. La zona se encuentra constituida por una roca masiva parcialmente fragmentada, meteorizada y en ocasiones pasando a suelo. La composición de esta roca es de intermedia a básica producto

de un posible proceso de diferenciación magmática que genero rocas andesitas – basálticas y basaltos.

4.1.2.3. Unidad de conos y diques (Vc-Vd).

Esta unidad se encuentra constituida por 18 diques los cuales 8 de estos presentan rumbo NW – SE, los otros 10 restantes están alineados con dirección NE – SW, todos los diques visitados presentaban una capa de suelo producto a la descomposición de la roca expuesta a los agentes erosivos en superficie, la longitud de estos cuerpos ígneos oscila entre 530 m y 1,887 m. La estructura tabular de menor longitud está ubicada en la comarca La Trinidad, esta presenta una dirección N33°E y la de mayor longitud exhibe un rumbo de N10°E ubicado en la comarca. Las Maravillas (Fotografía 3).

El dique cerro azul ubicado al norte de la comarca Laurel Galán exhibe una altura de 135 msnm, abarca un área de 0.18 km², con orientación N29°W y presenta una composición andesítica. Al este de la comarca Los Chiles se aprecia otro dique con una roca de textura afanítica y de tonalidad oscura la cual es característico de un basalto, este presenta un área de 0.13 km², con dirección N34°E, este dique presenta igual altura al anteriormente descrito. Cabe destacar que todos los diques que se encuentran en esta hoja están enmascarados por un suelo residual con abundante vegetación.

En el interior de esta unidad también se encuentran 4 conos de los cuales 3 de ellos están alineados hacia el NE, también presentan una pendiente muy escarpada de rango IV (30° - 45°), donde la altura máxima de estos es 180 msnm. El otro cono presente al NW de la hoja Los Chiles exhiben una altitud de 300 msnm y con una pendiente más suave (de rango III).



Fotografía 4. De fondo se aprecia un dique recubierto por suelo orgánico, presenta un rumbo de $N49^{\circ}E$ y con coordenadas $N 1244513 - E 749023$. Visando hacia el NW. Presenta altura aproximada de 50 m desde su base.

Los conos de esta unidad muestran un drenaje radial centrifugo, con laderas de pendientes pronunciadas que varían de 30° hasta ángulos mayores a 45° , esta unidad abarca un área total de 13.10 km^2 . En el cono volcánico cerro los limones, ubicado en la comarca La Cruz Verde se encuentra constituido por flujo basáltico de textura afanítica, este cubre un área de 12.02 km^2 , con altura 300 msnm y con pendiente de 30° aproximadamente. Las otras tres estructuras cónicas se encuentran alineadas entre sí, presentan un rumbo $N35^{\circ}E$ y con pendientes mayores a los 45° equivalente a un rango IV de la escala de Lugo.

4.1.2.4. Unidad de llanura aluvial (Fpa).

Se encuentra localizada al Norte de la hoja topográfica Los Chiles, constituida por depósitos sedimentarios recientes, transportados por el proceso fluvial que actúa en el área, al mismo tiempo alberga un sinnúmero de meandros a lo largo del trayecto del río Tule, como característica representativa de una llanura aluvial de escasa pendiente, asimismo se presentan meandros abandonados formando pequeños lagos en forma de herradura.



Fotografía 5. Llanura de inundación del río Ventura, afluente del río Tule. En su margen se apreciaron arboles similares al mangle. El río fluye sobre un canal paralelo y solamente inunda el área circundante, produciendo un proceso de erosión y sedimentación.

Esta unidad presenta una pendiente de rango entre I y II, equivalente de $0^{\circ} - 12^{\circ}$ hacia el NW, se encuentra ubicada en el interior de la curva de nivel 80 y presenta un área de 3.87 km² (Fotografías 4). Esta unidad presenta un drenaje dendrítico hasta de sexto orden producto de la desembocadura de los tributarios Los Chiles y Ventura sobre el río Tule.

4.1.2.5. Unidad de peniplanicie (Dpp).

Esta unidad es la más extensa de todo el grupo y se encuentra ampliamente distribuida en toda la hoja, presenta un área de 243.05 km², abarcando las comarcas Las Marías, Ojo de Agua, El Paraíso, La Venada, San José, El Ventura I, Los Chiles y Buena Vista. Se caracteriza por presentar una superficie ligeramente ondulada producto de los procesos morfogénicos que modelaron el relieve de esta unidad.

Durante el recorrido en esta área se apreciaron pequeños montículos con pendientes suaves, con crestas elongadas y erosionadas. La altura para esta unidad oscila entre 60 – 100 msnm. El rango de pendiente según la escala de Lugo varía de I – II, equivalente de 0° a 12° . (Fotografía 5).



Fotografía 6. Peniplanicie del sector NW la hoja Los Chiles. Vista desde el cerro El Bejuco, en dirección NW (E 750101 – N 1252712).

Esta unidad se encuentra constituida por rocas altamente meteorizadas, las cuales forman suelos arcillosos, limo arcilloso o residuales. En algunas áreas se puede identificar que este material proviene de una roca andesítica. El drenaje de esta zona se caracteriza por ser dendrítico de 5 orden y en ocasiones subparalelo.



Fotografía 7. Terreno ligeramente ondulado con pendiente suaves. Fotografía tomada en dirección Oeste en coordenadas E 766525 – N 1242051.

4.1.2.6. Unidad de ambiente estructural (Slfe).

Escarpe de línea de falla, estas unidades son deformadas por una línea de falla ya sea en laderas cortas o pendientes a brucas y pueden sobre pasar a 70 grados de igual forma suelen generar movimientos de masa y por otro lado las rocas que se presentan en esta unidad, se suelen presentar de manera muy fracturada por la acción de las fuerzas tectónicas a las cuales estas están siendo sometidas, ya sean las rocas del grupo coyol inferior y Matagalpa.

4.1.2.6.1. Lineamiento Las Maravillas I.

Este está asociado a sistemas de lineamientos, en donde la erosión ha dejado una señalización del cambio de pendiente quedando este escarpado por las influencias climáticas del área, este tiene una dirección preferencial de NE-SE, esta unidad presenta un drenaje paralelo en donde afecta estructuras circulares como la caldera el pavón, que se encuentra deformada. También esta unidad presenta una topografía ondulada con una altura de 400 metros y con una pendiente de 45 a 70 grados de pendiente.



Fotografía 8. Fotografía 7. Coordenadas E: 762153-N: 1239134 de la falla las maravillas, localizada en la comarca correspondiente al mismo nombre.

4.1.2.6.2. *Lineamiento Cerro La Cenada.*

Este se encuentra afectando las unidades litológicas del grupo Matagalpa y coyol inferior, en donde se aprecia el cambio brusco de pendiente debido al tectonismo o volcanismo, que en años atrás a sufrido en el terciario se vio afectada quedando evidencias geológicas como esta estructuras, este lineamiento se sitúa en la parte central del área de estudio en donde tiene una dirección preferencial dirección NE, SW afectando en la comarca san José, Alejandro García y también las maravillas 2, se encuentra afectando estructuras circulares nombrada como Alejandro García, el bloque levantado es el derecho y el bloque izquierdo subyace.



Fotografía 9. Fotografía 8. Coordenadas: E: 761881-N-1238985 de la falla cerro la venada, en donde se encuentra afectando, las comarcas san José - Alejandro García.

4.1.2.6.3. Lineamiento Poza II.

En donde se puede observar el cambio de pendiente que presenta posiblemente, el tectonismo ha dado lugar a estos sistemas de lineamientos estructurales, los cuales suelen estar asociados a fallas ya que el área de estudio se encuentra, situada en la zona de convergencia de la provincia geológica y de la depresión nicaragüense y la provincia geológica central, Este se ubica en la sección NE del área de la hoja topográfica de los chiles, este se encuentra afectando geológicamente a las rocas del grupo coyol inferior compuesto, posiblemente de Tmca.



Fotografía 10. Lineamiento entre las coordenadas E. 771130- N.1240291 del área adyacente a Poza II.

4.1.2.6.4. Lineamiento Las Maravillas I – Poza II.

Este sistema estructural perteneciente a lineamientos, se puede observar el cambio de pendiente de terreno, un indicador los árboles los cuales hay variación de altura, en donde este pudo estar sometido a constante movimiento debido al tectonismo o al volcanismo que esta área sufrió en el terciario. Este se presenta en la dirección NE- SE siendo este su mayor preferencia y alcanzando gran parte de la comarca las maravillas 1.

Debido a la vegetación el alcance de las fotos no se puede observar muy bien, pero en la parte SE, sea precia el cambio que dicho movimiento origino, y posiblemente afecta a las rocas que presenta el área de estudio, estas forman parte del grupo coyol inferior Tmca



Fotografía 11. Fotografía 10. N: 772619-E.1239613 del lineamiento el cual lleva como nombre las maravillas.

4.1.2.6.5. Lineamiento Las Maravilla I.

Este lineamiento se localiza en las maravillas 1 y lleva el nombre de la misma comarca, este posiblemente es está afectando estructuras circulares denominadas Alejandro García, la cual esta se observa un movimiento de lateral derecho con un rumbo (N75E) de igual forma afecta las rocas del grupo coyol inferior, en donde se puede observar un movimiento lateral izquierdo.



Fotografía 12. Coordenadas E.763016 N. 1239101 de la falla ubicada en la comarca las maravillas la cual es conocida con el mismo nombre de la comarca.

En el área de estudio de la hoja topográfica los chiles (3249-I) Escala 150,000 los principales, sistemas estructurales presentes fueron, NE, NW siendo el más predominantes de estos el sistema NE-SE, en donde fue el de mayor preferencia, ya que este presenta más prolongaciones de fracturas, diques, lineamientos.

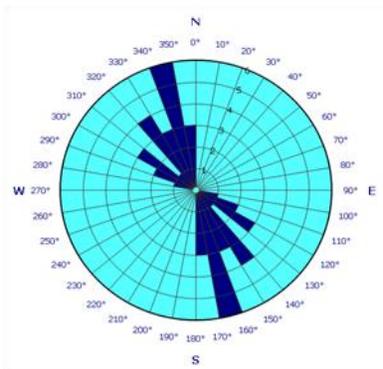


Ilustración 15. Diagrama con rumbo NW-SE generalizada.

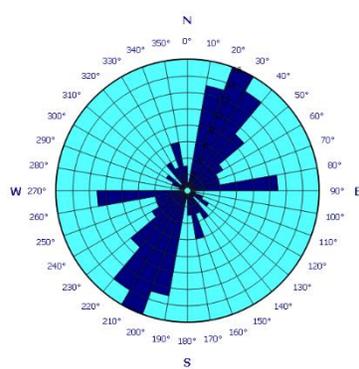


Ilustración 16. Diagrama de roseta generalizado con dirección preferencial NE-SW.

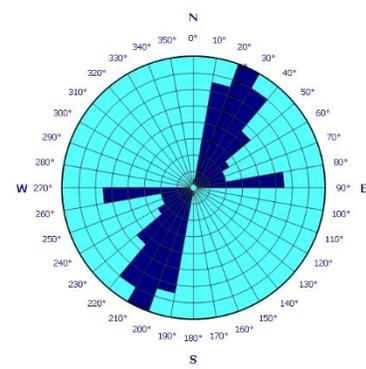


Ilustración 17. Diagrama con rumbo NE-SW.

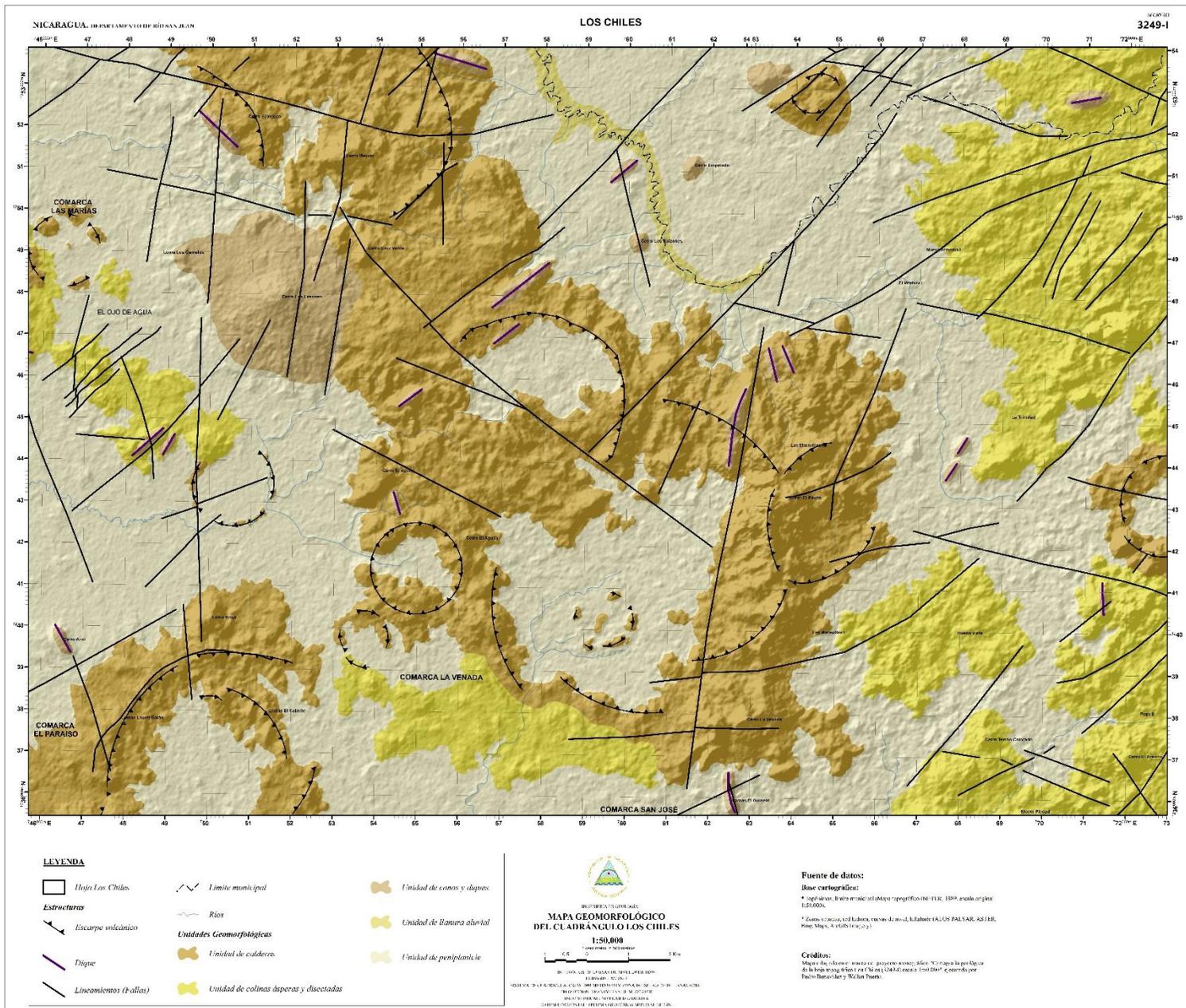


Ilustración 18. Mapa geomorfológico del cuadrángulo Los Chiles.

4.1.3. Geología.

El área de estudio se encuentra constituida por cuatro unidades estratigráficas, dos de ellas corresponden a materiales volcánicos del período Terciario y las otras dos unidades restantes a depósitos Cuaternarios. Las rocas del Terciario corresponden al Grupo Matagalpa (Tomm) y Grupo Coyol inferior (Tmca), mientras que las del Cuaternario pertenecen a depósitos aluviales (Qal) y residuales (Qr). Ocasionalmente estas unidades se encuentran afectadas por pequeñas intrusiones ígneas, soluciones hidrotermales de zeolita y cuarzo, de igual manera por deposición y endurecimiento de sílice coloidal.

Según Hodgson (1973), las rocas volcánicas de estos dos grupos no presentan los grandes espesores, ni la gran variedad litológica como las que se pudiesen encontrar al Norte de nuestro país. Cabe destacar que las rocas de esta zona son más básicas que ácidas y con predominio del grupo Coyol inferior sobre toda la hoja.

A continuación, se describen las unidades lito-estratigráficas que se obtuvieron como resultado del cartografiado geológico, estas se encuentran ordenadas de la más antigua a la más reciente, siguiendo el orden deposicional de cada una de estas.

4.1.3.1. Grupo Matagalpa (Tomm).

Se encuentra ubicado en el extremo Este del cuadrante, entre el río Ventura (comarca San Ramón) y el cerro El Arenito (comarca Poza II), justamente donde nace el río Palo de Arco, al Oeste se extiende hasta alcanzar al río San Agustín, poco antes de llegar a la comarca Los Chiles. Este grupo cubre una extensión aproximada de 30 km², en la cual se realizaron un total de 58 levantamientos. Geomorfológicamente abarca parte de la unidad de colinas ásperas y disectadas (Dkdi) y unidad de peniplanicie (Dpp).

Las rocas de este grupo generalmente se encuentran muy meteorizadas y sujetas a alteraciones hidrotermales, lo cual justifica que en ocasiones estas se encuentren muy deleznable o no se pueda identificar su composición debido a la desintegración o reemplazamiento parcial o total de los minerales que caracterizan a la roca. Este grupo se extiende hasta el margen Oeste de la hoja río Sábalos, al mismo tiempo este se encuentra limitado por la unidad cuaternario residual (Qr) y rocas del Coyol inferior (Tmca).

Sobre el camino que conduce de la comarca de Los Chiles hacia Poza Redonda N° 2, exactamente en las Lomas de Año Nuevo (E: 771188 / N: 1240206) se encuentran aflorando andesita con leve alteración a zeolita, la cual presenta un hábito hojoso y relleno de pequeñas cavidades diseminadas en toda la roca. Este material se encuentra fragmentado producto a la posible meteorización física (descompresión, termoclastia o actividad biológica) a la que se encuentra expuesta, o bien, a la mineralización secundaria que emplazo a estas rocas provocando así la fragmentación de las andesitas (fotografía 7). Estas rocas se encuentran enmascaradas parcialmente en algunas áreas por una capa de suelo vegetal de espesores variables.



Fotografía 13. Afloramiento de fragmentos andesíticos con alteración por zeolita del grupo Matagalpa (Tomm). Lomas de Año Nuevo (E: 771188 / N: 1240206).

Según el boletín N.º 10 del Servicio Geológico Nacional en su página 17 cita que en las coordenadas N 1241 / E 7709 se midieron 100 metros de toba verde y sobre este se encontraban andesitas, de igual manera en su parte inferior.

Al Sur de las Lomas de Año Nuevo y a un poco más de 2 kilómetros al SE del punto anteriormente descrito, se encontró un flujo andesítico (E: 772671 / N: 1239820), entrecortado por pequeñas vetillas de cuarzo que no presentaban ninguna orientación preferencial (fotografía 8 y 9), este cuerpo ígneo fue utilizado como banco de préstamos para macadán. Se encuentra moderadamente meteorizado y con alineación N11°E (fotografía 10). Junto a este se encuentra un suelo de tonalidad rojiza de 7 metros de potencia, al norte de este punto se encuentra un lineamiento estructural con dirección NE – SW, cabe destacar que este flujo presenta más de 10 metros de altura.



Fotografía 14. Vista generalizada del flujo andesítico perteneciente al Tomm (E: 772671 / N: 1239820).



Fotografía 15. Pequeñas vetillas de cuarzo que se encuentran cortando la andesita producto a fluidos hidrotermales (E: 772671 / N: 1239820).

Macroscópicamente (Anexo 22) esta roca presenta una tenacidad alta, coloración gris claro en superficie fresca, con textura merocristalina en relación al grado de cristalinidad, los minerales presentan textura inequigranular en relaciones mutuas del cristal y subhedral en la forma de los cristales. En esta roca predominan las plagioclasas sobre los máficos, pero estos se encuentran más desarrollados (2 – 5 mm), los bordes de los anfíboles se encuentra un material verdoso que es resultado de la cloritización del mineral. A esta roca se le realizó un análisis petrográfico el cual se detalla más adelante.



Fotografía 16. Alineación del bloque andesítico en la parte alta (cresta) del flujo con dirección N11°E.

En el punto 23062019-21 correspondiente a las coordenadas E: 773016 / N: 1242956 se encontró un flujo basáltico afanítico con inclusiones de zeolita, esta se encuentra emplazada en vesículas producto de la desgasificación del flujo. El basalto se encuentra subyacente a un suelo vegetal y aflorando en el margen Este de un afluente del río Ventura.



Fotografía 17. Flujo basáltico con vesículas de zeolita correspondiente al grupo Matagalpa (E: 773016 / N: 1242956).

A 1 km del río Espabel, que es afluente del río San Agustín, se encuentra la comarca La Trinidad, donde se pudo apreciar sobre la pared SW un talud formado por la remoción de material para balasto, conformado por una roca de composición andesita-basalto. Este afloramiento presenta una altura de 14.1 metros en el punto más alto (fotografía 12), este escarpe antrópico es un flujo que se encuentra completamente brechado por la inclusión de fluidos hidrotermales de baja temperatura tales como zeolita y minerales asociados como el cuarzo.

En la parte derecha de la fotografía 12 este flujo se encuentra completamente alterado, de tonalidad gris claro y con tenacidad de la roca muy baja o deleznable al tacto, la alteración

por zeolita fue muy intensa en esa área (fotografía 13). En la parte centro y derecha, la roca se encuentra muy fracturada y dispuesta en lajas, esto permite que se produzca una meteorización y oxidación entre las justas de las rocas (fotografía 14) y de igual manera se emplacen los fluidos hidrotermales. En esta fracción del talud no se produjo destrucción total en la roca, pero la mineralización secundaria produjo pequeñas vetas de zeolita (fotografía 15). En el análisis macroscópico utilizando la lupa electrónica se determinó que las muestras presentaron una leve mineralización de sulfuros.



Fotografía 18. Talud de roca andesita-basalto formado por la remoción de material para balastro. Comarca La Trinidad (E: 769479 / N: 1245768).



Fotografía 19. Roca andesito-basáltica alterada probablemente por un sistema hidrotermal de baja temperatura (E: 769479 / N: 1245768).



Fotografía 20. Roca fracturada en lascas, meteorizada y oxidada del grupo Matagalpa (Tomm). Comarca La Trinidad (E: 769479 / N: 1245768).



Fotografía 21. Andesita basalto cortada por pequeñas vetas de zeolita y disseminación con habito hojoso y en forma de natrolitas (Tomm).

Este grupo se encuentra en contacto discordante con la formación Tmca del Coyol inferior, presenta un espesor relativo de 200 metros y ostenta una edad de 19.1ma a 15.5 \pm 0.3ma basado en el método K/Ar ubicado en el Oligoceno-Mioceno, realizada por Mc Birney, 1969 corroborado por Parson Corporation, 1972.

4.1.3.2. Formación andesita – aglomerado (Tmca)

Esta formación es la más extensa del área, ocupa una superficie aproximada de 265.64 km², se encuentra ampliamente distribuida en toda la hoja y sobre esta se realizaron un total de 160 muestreos. Geomorfológicamente, esta formación volcánica se encuentra cubriendo la unidad de calderas (Vcd), unidad de conos y diques (Vc-Vd), unidad de colinas semi-ásperas y disectadas (Dkdi), y unidad de peniplanicie (Dpp), siendo estas dos últimas cubiertas parcialmente.

Según Hodgson (2000), esta formación no presenta una diferencia litológica notable en relación al grupo Matagalpa, lo cual fue constatado en las jornadas de campo, pero tomando como referencia algunos antecedentes litológicos puntuales, se logró definir el contacto entre esta formación y grupo Matagalpa. Un antecedente notable es el hallazgo de una capa fosilífera que traza el límite entre el Tmca y el Matagalpa, puesto que estos fósiles son la base de subgrupo Coyol inferior.

Esta capa fue encontrada por Juan Kuang en 1973 a 50 metros al SE de la quebrada Buena Vista, en las coordenadas E: 768800 / N: 1239700 y perteneciente a la subcuenca hidrográfica río Palo de Arquito, donde en la etapa de campo de esta investigación no se logró localizar tal afloramiento debido a factores externos (climáticos y sociales), pero mediante información hablada y fotografías se pudo constatar de la existencia de esta capa sedimentaria fosilífera en el interior del cuadrante.

En la fotografía 16 se aprecia una arenisca tobácea con presencia de fósiles gasterópodos del género *Hemisinus*, esta especie fue identificada como del final del Mioceno e inicios del Plioceno por el Dr. W. P. Woodring (1973). Esta capa evidencia que entre estas

dos formaciones se produjo un periodo de receso de la actividad volcánica produciendo el desarrollo y deposición de organismos de agua dulce y ambiente somero (lacustre).



Fotografía 22. En la zona de Las Maravillas obtuvo una roca con presencia de gasterópodos.

Litológicamente la formación Tmca del subgrupo Coyol inferior se encuentra representado por aglomerados de composición andesita basálticas, flujos de bloques andesíticos, aglomerados andesíticos, flujos basálticos con alteración por zeolita y basaltos olivínico. La variación en la composición química entre la andesita y basalto puede ser el resultado de una diferenciación magmática producida durante las fases eruptivas que tuvo este complejo volcánico (Laurel Galán – El Pavón). Esta formación se encuentra en contacto con la unidad residual y el grupo Matagalpa.

Al NE de la comarca Alejandro García, sobre los afluentes del río Melchora (E: 760160 / N: 1240594), se encuentran aflorando flujos andesíticos masivos, con tenacidad alta y baja meteorización (fotografía 17). Estos exhiben una tonalidad gris clara en superficie

fresca, las plagioclasas presentan alteración argílica y los anfíboles se encuentran cloritizados (fotografía 18).

Generalmente la forma de estos minerales es subhedral, de tamaños fanero-afanítico e inequigranular respecto a las relaciones mutuas de los cristales. Esta roca presenta alteración hidrotermal por sulfuros, los cuales se encuentran diseminados en forma de calcopirita y donde presenta tonalidad amarillo latón, sin embargo, esta presenta patinas de color rojizo a violeta debido a la exposición prolongada al medio ambiente.



Fotografía 23. Flujo andesítico masivo con alteración por sulfuro perteneciente al Tmca (E: 760160 / N: 1240594).



Fotografía 24. Andesita gris clara con alteración en sus feldespatos y hornblenda (Tmca).

En las inmediaciones donde se encuentran aflorando en flujo andesítico también se aprecian sobre los cerros grandes bloques de andesita, pero suprayacente a un suelo vegetal poco desarrollado (fotografía 19). La parte externa de las rocas se encuentra meteorizada y con tonalidad oscura, pero al partir la muestra se exhibe de tonalidad gris claro y con velillas de calcita (fotografía 20). Los máficos se encuentran cloritizados y en algunos casos solamente aprecian las oquedades dejadas donde estuvo emplazado el mineral.



Fotografía 25. Agrupamiento de bloques andesíticos en cerro El Pavón (E: 760140 / N: 1240124).



Fotografía 26. Muestra de andesita gris clara relleno de fractura con calcita (Tmca).

La serie aglomerática se encuentra ubicada en los márgenes de las estructuras semicirculares y ocupando terrenos elevados. Estos se encuentran constituidos por a la acumulación de piroclastos, principalmente por bombas volcánicas de diferentes formas y tamaños. Los aglomerados basálticos son lo que presentan una mayor distribución, estos se encuentran aflorando en el cerro El Bejuco, cerro México, cerro Los Limones, cerro El Águila, sector Sur y Oeste del cerro El Pavón, lomas Laurel Galán, loma Bruja, lomas El Caimito y zonas aledañas.



Fotografía 27. Cerro El Vejuco, constituido por aglomerado basáltico altamente meteorizado, 05112019-10 (E: 750015 / N: 1252676).



Fotografía 28. Aglomerado basáltico ubicado en el costado Sur de la caldera El Águila, comarca La Venada 08112019-3 (E: 754810 / N: 1239602).

Los aglomerados presentan una gradación en el tamaño de sus bombas, las ubicadas en la base de los cerros presentan mayor proporción en relación a los que se ubican en las partes altas (fotografía 21 y 22).



Fotografía 29. Bloques de aglomerado basáltico en la comarca La Venada (E: 753306 / N: 1238794).

Al Este de la Caldera el Pavón, entre la comarca Los Chiles y Las Maravillas II se encuentran aflorando bloques andesíticos (fotografía 24), en ocasiones esta roca se encontró muy meteorizada, en donde las plagioclasas estaban pasando a arcilla y las hornblendas presentaban cloritización (fotografía 25).



Fotografía 30. Bloques de aglomerados andesíticos del Tmca (E: 765587 / N: 1243857).



Fotografía 31. Roca andesita completamente meteorizada.

En las proximidades del río Ventura (E: 766560 / N: 1248424), se encuentran aflorando basaltos olivínico (fotografía 26), que presenta una leve reacción al ácido clorhídrico, producto a la presencia carbonato cálcico emplazado en pequeñas fracturas de la roca, estas solamente pudieron ser vistas bajo lupa binocular. La muestra se presenta brechada, oxidada y con diseminación de galena. Este mineral al entrar en contacto con el HCl emana un hedor a huevo podrido. Esta misma roca se encuentra aflorando en las coordenadas E: 766572 / N: 1248858.



Fotografía 32. Roca basalto olivínico con presencia de sulfuros (Tmca).

Entre la comarca El espejo y Nueva Armenia I, se encontró subyaciendo a un suelo vegetal moderadamente desarrollado unos bloques de composición basalto andesita (fotografía 27), los cuales se encuentran fracturados y emplazados por una leve mineralización de calcita. En la cara expuesta a la superficie presenta una coloración ocre, pero al ser partida la roca exhibe una tonalidad gris oscura. En descripción macroscópica esta presenta textura merocrystalina en grado de cristalinidad, inequigranular en relaciones mutuas del cristal, fanero afanítica en tamaño de los cristales y subhedral en la forma de los minerales.



Fotografía 33. Bloques fragmentados de Basalto andesita del Tmca (E: 767180 / N: 1250511).

La roca muestra minerales máficos (piroxeno y hornblenda), plagioclasas y posible silicificación, presenta una potencia de 3 metros, sin aflorar su base, la tenacidad de esta roca es muy alta, con presencia de un bajo grado de meteorización (fotografía 28), en sección delgada se identificó la presencia de zeolitización y oxidación.



Fotografía 34. Basalto andesita con fracturas rellenadas de calcita del punto 30062019-27.

En comarca el espejo (E: 767371 / N: 1250652), se identificó un flujo de roca completamente alterado por zeolitización (fotografía 29), esta roca presenta una tenacidad baja, con tonalidad gris y en algunas zonas se encuentra rojiza, esta roca se encuentra constituida mineralógicamente por clinopiroxenos, plagioclasas, cuarzo y zeolita (fotografía 30). Este tipo de alteración se encuentra muy frecuentemente sobre toda la formación, predominando en las comunidades Buena Vista, Palo de Arquito, San Agustín, Nueva Armenia I, Las Maravillas II, Cerro México y Melchorita. Esta roca es utilizada para el mejoramiento de los caminos y es el resultado de la intrusión de fluidos hidrotermales de bajo grado de temperatura.



Fotografía 35. Roca completamente alterada por zeolitización y asociada a esta se encuentra cuarzo, pero en menor proporción.



Fotografía 36. Fragmentos de roca basáltica alterada, se aprecia vetillas de zeolita.

Esta formación se encuentra discordante con la formación del cuaternario residual (Qr), presenta un espesor aproximado de 320 metros. La edad aproximada para esta formación es de 15.3 millones de años (Hodgson 2000).

4.1.3.3. Unidad cuaternario residual (Qr).

Esta unidad se encuentra dispersa sobre todo el cuadrángulo de Los Chiles, ocupa una superficie de 204.59 km² y se encuentra sobre la unidad geomorfológica de peniplanicie. Las rocas del grupo Matagalpa y la formación Tmca se encuentran sometida a una constante

meteorización física, química y biológica los cuales descomponen a la roca sólida in situ, convirtiéndola en suelo. La unidad presenta un espesor aproximado a los 15 metros.

En la comarca Las Maravillas se sitúa una pequeña colina de composición basáltica, esta se encuentra completamente meteorizada por efectos fisicoquímicos, la roca se halla fragmentada en lascas, sus minerales están completamente alterados y lavados por efecto de lixiviación (fotografía 31).



Fotografía 37. Roca basáltica completamente meteorizada, 26062019-17 (E: 764270 / N: 1239207).

En la comarca Alejandro García, sobre el camino que conduce hacia Los Chiles, se puede apreciar en un corte de camino, donde una roca completamente meteorizada está pasando a suelo, esto es el resultado de una intensa meteorización fisicoquímica y biológica que se ejerce sobre la roca. En la fotografía 32 se aprecia un material arcilloso blanquesino que es producto de la descomposición de las plagioclasas (alteración argílica). Esta roca presenta una composición andesítica y separada en lascas por la acción de las raíces de la maleza o árboles.



Fotografía 38. En el punto 27062019-17 se muestra una roca andesítica meteorizada y pasando a suelo.

4.1.3.4. Unidad cuaternario aluvial (Qal).

Esta unidad se encuentra localizada en el interior de la cuenca hidrográfica río Tule, al Norte del perímetro de estudio, entre el cerro Los Raizones y cerro Empinado, abarcando un área de 3.87 km². Estos sedimentos encuentran dispuesta sobre un meandro de grandes dimensiones que forma el río Tule en la hoja de Los Chiles.

El material aluvial que predomina en esta zona y en áreas adyacente a sus principales afluentes (río Ventura, río Los Chiles y río La Cruz Verde), son depósitos constituidos generalmente por arena, limo y arcilla. En los meandros y márgenes de los ríos no se aprecian rodados, ni capas de conglomerados, esto es debido a la fuerte meteorización a la que se encuentra expuesta la roca, produciendo de esta manera una desintegración completa in situ del material rocoso.



Fotografía 39. Aguas turbias debido al transporte de partículas en suspensión, estas serán depositadas en las partes bajas de la cuenca formando depósitos de suelos arcillosos. Esta fotografía fue tomada en el punto 30062019-16, en el margen Este de un de un afluente del río Ventura (E: 766555 / N:1248462), que al mismo tiempo es afluente del río Tule

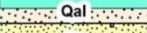
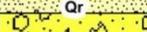
| Era | Período | Epoca | Grupo | Formación | Espesor (m) | Litología | Descripción | |
|-----------|-------------|------------------------|------------------------|----------------|--------------------|---|--|---|
| Cenozoica | Cuaternario | Holoceno / Pleistoceno | Depósitos cuaternarios | Qal | 5 - 10 |  | Materiales detríticos de textura limo - arcillosa, forma topografía plana, con escasa pendiente y de gran potencia. Esta unidad presenta poca o nula presencia de rodados rocosos. | |
| | | | | Qr | ±15 | |  | Desarrollado por la acción de los agentes de meteorización hacia las rocas del Tmca y Tomm. Esta unidad se encuentra constituida por rocas fragmentaria no trasportada (Saprolito ocre o rojizos). |
| | Terciario | Neogeno | Mioceno | Coyol inferior | Tmca | 320 |  | Flujo aglomeratico de composición basalto - andesita, en donde existe una variación en el tamaño de los clastos respecto a la trayectoria recorrida por el flujo. Tambien se encuentra un flujo andesítico masivo de apariencia fresca y una leve a moderada alteracion a minerales de sulfuro, zeolita, natrolitas, cuarzo y pirolusita en forma de dendritas. |
| | | | | | Matagalpa superior | Tomm | 200 |  |

Ilustración 19. Columna litología generalizada para la hoja 3249-I.

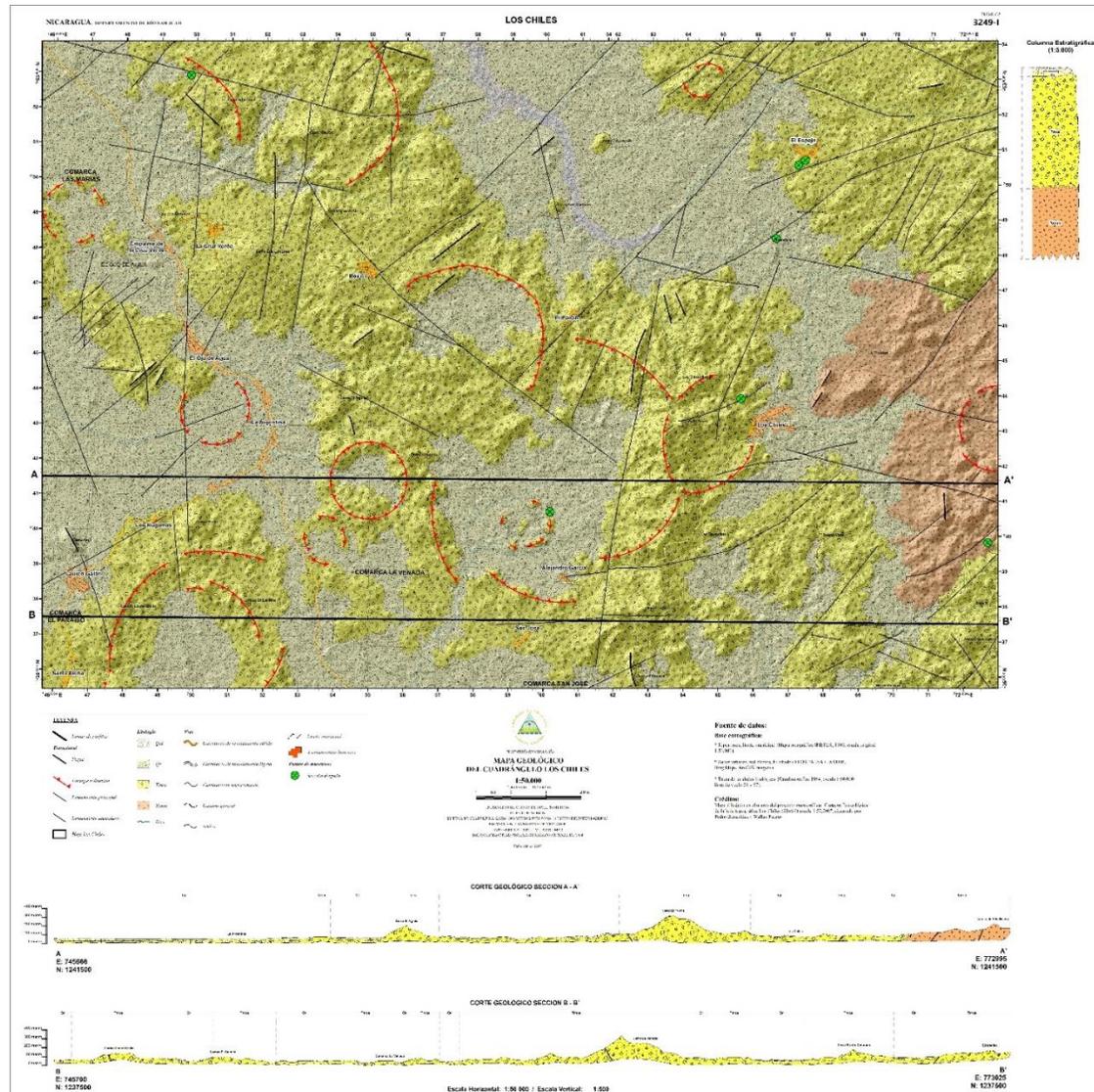


Ilustración 20. Mapa geológico de Los Chiles.

4.1.4. Petrografía.

4.1.4.1. Análisis petrográfico: 1

Código de campo y laboratorio: 01072019 – 06 / LAB.190037

Ubicación: 765587 E / 1243857 N (Los Chiles – Las Maravillas II)

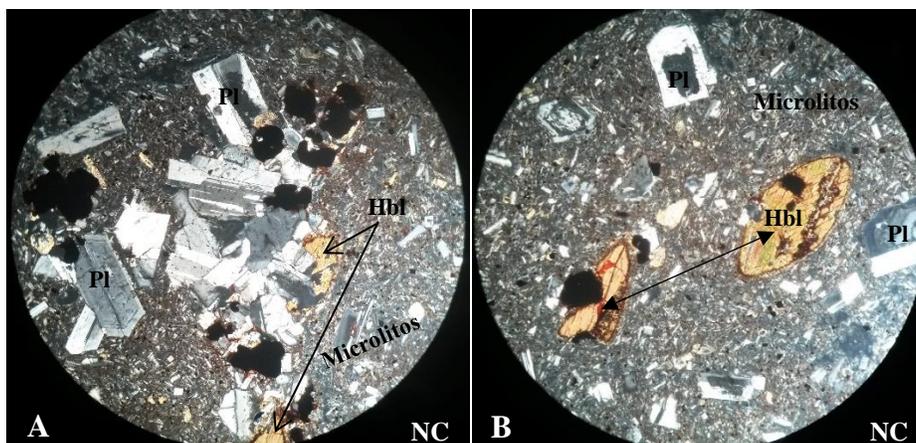
Nombre de la roca: Andesita.

Minerales componentes: Plagioclasa, Hornblenda, Piroxenos, Biotita.

Textura general: Porfídica.

Textura de la matriz: Hipocristalina.

Alteración: Oxidación, Anfibolitización, Sericitización, Peletización.



Fotografía 40. Se observa una lámina delgada de andesita con matriz vítrea (microlitos de plagioclasas) y con fenocristales de hornblenda (Hbl) y plagioclasas (Pl). Tomada en nicoles cruzados con objetivo de 5x.

Observaciones: los minerales componentes son: **Plagioclasa:** se encuentran zonadas, macladas, corroídas por la matriz, tienen hábito tabular subhedral y se exhiben peritizadas, dando un aspecto terroso en las plagioclasas. **Hornblenda:** está siendo afectada por la sericitización, tiene una forma Anhedral-Subhedral presenta un hábito de cristales prismáticos alargados. **Piroxeno:** se encuentran oxidados y corroídos por la matriz, estos se encuentran alterados por proceso de anfibolitización, presentan forma subhedral y están

siendo afectados por minerales metálicos en donde presentan un hábito prismático corto.

Biotita: se encuentra corroída por la matriz y presente como mineral accesorio.

4.1.4.2. Análisis petrográfico: 2

Código de campo y laboratorio: 28062019 – 10 / LAB.190038

Ubicación: 760160 E / 1240594 N (Alejandro García – El Pavón)

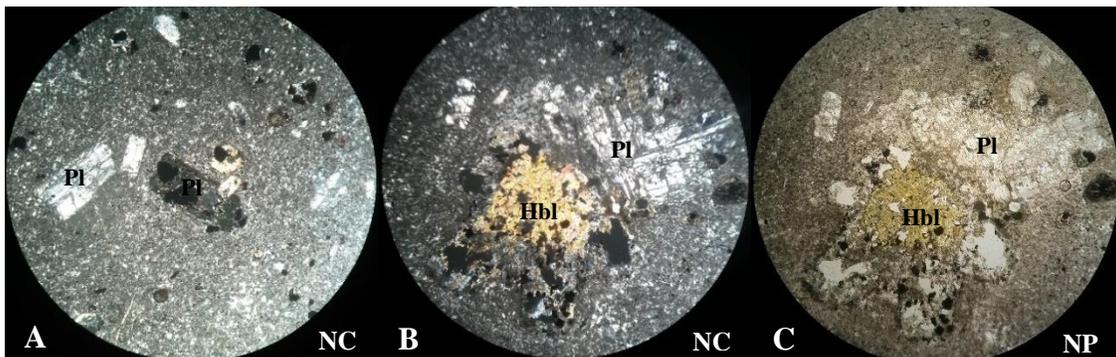
Nombre de la roca: Andesita.

Minerales componentes: Plagioclasa, Hornblenda, Piroxeno y Cuarzo

Textura general: Porfídica

Textura de la Matriz: Hipohialina

Alteración: Cloritización, Sericitización, Oxidación, Peletización.



Fotografía 41. En la fotografía A se aprecian microlitos y fenocristales de plagioclasas, B plagioclasas alteradas por sericitización y hornblenda por cloritización, C plagioclasa y hornblenda en nicoles paralelos. A y B tomada en nicoles cruzados (NC) y con objetivo de 5x, C) nicoles paralelos (NP) y con objetivo de 5x.

Observaciones: la muestra está compuesta por los minerales, **Plagioclasa:** estas se encuentran afectadas por la peletización y cloritización que sufren los minerales metálicos, ellas presentan un hábito tabular y exhiben forma subhedral – euhedral, de igual manera estas se encuentra afectada por sericitización. **Hornblenda:** se encuentra afectada por la oxidación, su forma generalmente es anhedral, presenta extinción oblicua, estos también se encuentran

alterados por cloritización y presentan forma anhedral. **Cuarzo:** presenta forma anhedral e incoloro, presenta relieve bajo y con extinción paralela a ondulante. Piroxeno: Se encuentra en menor proporción que los anteriormente descritos, pero se presentan con textura porfídica.

4.1.4.3. Análisis petrográfico: 3

Código de campo y laboratorio: 22062019 – 16 / LAB.190039

Ubicación: 772671 E / 1239820 N (Lomas de año nuevo)

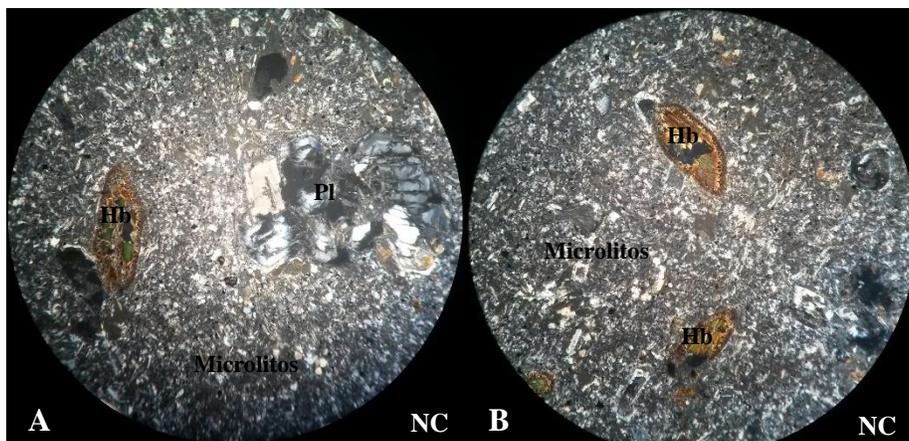
Nombre de la roca: Andesita.

Minerales componentes: Plagioclasa, Hornblenda, Piroxeno y Cuarzo.

Textura general: Porfídica

Textura de la Matriz: Holocristalina

Alteración: Cloritización, Oxidación, Sericitización, Anfibolitización.



Fotografía 42. A y B tomada con lentes 5x ubicación: 772671E/1239820N.se aprecia el piroxeno y unas oquedades en distintas secciones de la muestra.

Observaciones: posee una textura general porfídica, la textura que posee la matriz, es hipocristalina. Los minerales que la componen son: **Plagioclasa:** presenta mayor predominio sobre otros minerales, se encuentran afectadas por sericitización, se halla sustituida por la matriz, casi quedando solo las oquedades, tiene un hábito tabular y forma

subhedral. **Hornblenda:** Está se encuentra afectada por la oxidación, cloritización y en algunos puntos se puede notar la alteración de la anfibolitización, su forma es subhedral, en ocasiones solamente se aprecia las oquedades del mineral, producto de la alteración.

Piroxeno: estos se encuentran alterados por anfibolitización y cloritización tienen una forma Anhedral -Subhedral donde presentan un hábito prismático corto. **Cuarzo:** presenta forma anhedral y se encuentra distribuid sobre toda la muestra.

4.1.4.4. Análisis petrográfico: 4

Código de campo y laboratorio: 30062019 – 15/ LAB.190040

Ubicación: 766560 E / 1248424 N (Los Chiles – Nueva Armenia I)

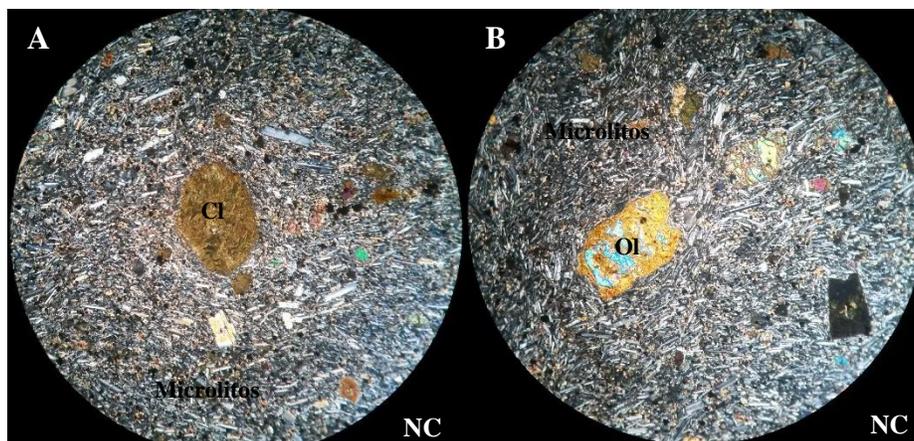
Nombre de la roca: Basalto Olivínico

Minerales componentes: Plagioclasas, Piroxeno, Olivino

Textura general: Holocristalina

Textura de la matriz: Traquítica

Alteración: Oxidación, Epidotización y Cloritización



Fotografía 43. A, se aprecia un fenocristal de piroxeno completamente alterado por cloritización y pequeños microlitos de plagioclasas. B. Se aprecia in olivino alterado posiblemente a iddingsita. Tomada con lentes 5x ubicación; 766560E/ 1248424N.

Observaciones: presenta una textura general holocristalina, una textura de la matriz traquítica, donde se puede notar minerales que la componen son: **plagioclasas** estas se encuentran zonadas y macladas, y están alteradas epidotización y cloritización, tiene un hábito Tabular o tabular primario estas forman cristales desde Anhedral – Subhedral. **Piroxeno:** este está siendo alterado por la oxidación y presenta una forma anhedral - Subhedral donde presentan un hábito prismático corto. **Olivino:** posee alteración de cloritización, está siendo corroídos por la matriz, hay minerales metálicos alrededor, en menor cantidad aproximadamente 1%, tiene una forma anhedral-subhedral su hábito es prismático.

4.1.4.5. Análisis petrográfico: 5

Código de campo y laboratorio: 30062019 – 27 / LAB.190041

Ubicación: 767180 E / 1250511 N (El Espejo)

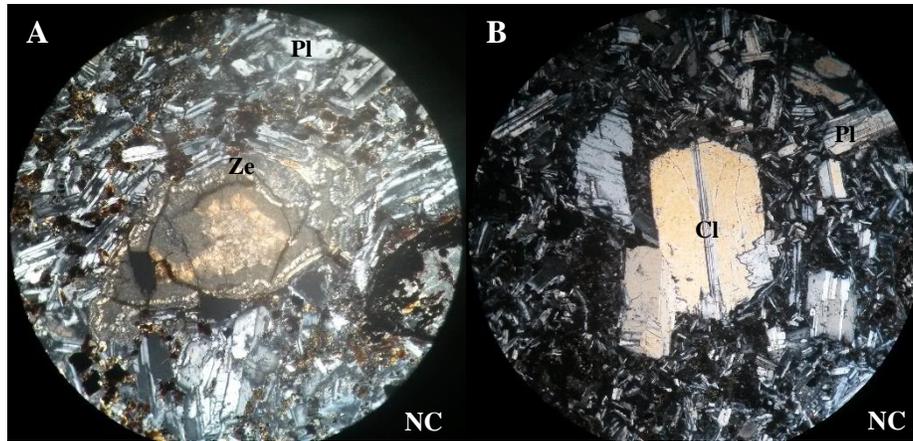
Nombre de la roca: Andesita-Basalto

Minerales componentes: Plagioclasas, Hornblenda, Piroxeno y Zeolitas.

Textura general: Porfídica y en ocasiones Glomeroporfídica.

Textura de la matriz: Holocristalina

Alteración: Carbonatación y Oxidación.



Fotografía 44. A. Las plagioclasas predominan en 70% en correlación al anfíbol, también se aprecia la alteración por zeolita que se encuentra emplazada entre minerales. B. en la parte central se aprecia un fenocristal de clinopiroxeno rodeado de plagioclasas. Tomada con objetivo de 5x.

Observaciones: la textura general que tiene es porfídica, la textura de la matriz es holocristalina debido a que el máximo porcentaje de estas rocas están compuestos por cristales, los minerales que componen esta muestra son **plagioclasa:** esta se encuentra zonadas, y con mucha abundancia, está siendo alterada, por la carbonatación y tiene un hábito tabular o tabular primático estas forman cristales desde anhedral – subhedral. **Hornblenda:** esta se encuentra siendo afectada por la oxidación, su forma es anhedral-subhedral, tiene un hábito de cristales prismáticos alargados. **Piroxeno:** presenta una forma anhedral-subhedral donde presentan un hábito prismático corto, **Zeolita:** esta se encuentra rellenando espacios de la muestra zeolitización.

4.1.4.6. Análisis petrográfico: 6

Código de campo y laboratorio: 30062019 – 28 / LAB.190042

Ubicación: 767371 E / 1250652 N (El Espejo)

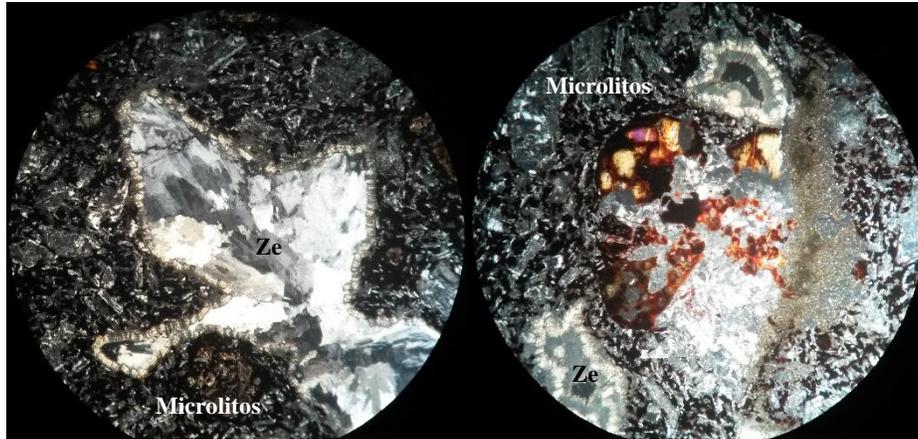
Nombre de la roca: Basalto

Minerales componentes: Plagioclasa, Piroxeno, Cuarzo y Zeolita.

Textura general: Porfídica

Textura de la matriz: Holocristalina

Alteración: Óxido de hierro, Desvitrificación, Peletización, Zeolitización.



Fotografía 45. A y B tomadas con lentes 5 x ubicación: 76737E1/1250552 N se aprecia la alteración de oxidación las oquedades rellenas de Zeolita y Cuarzo, las plagioclasas se encuentran alteradas.

Observaciones: tiene una textura general porfídica, con una textura de la matriz: holocristalina, está compuesta por **Plagioclasa:** las plagioclasas están alteradas, debido a la oxidación y zeolitización y peletización que esta tiene, el mineral solo se ve al contorno tiene un hábito Tabular o tabular primático estas forman cristales desde anhedral – subhedral. **Piroxeno:** los piroxenos se encuentran agrupados y alterados por oxidación de hierro presenta una forma anhedral - subhedral donde presentan un hábito prismático corto. **Cuarzo:** presenta un hábito cubico, trapezoedros presenta, y tiene una forma anhedral. **Zeolita:** en luz natural se presenta incoloro, habito tabular fibroso, este rellena cavidades o altera a otros minerales (zeolitización).

4.1.4.7. Análisis petrográfico: 7

Código de campo y laboratorio: 05112019 – 09/ LAB.190043

Ubicación: 749828 E / 1252933 N (Cerro El Vejuco)

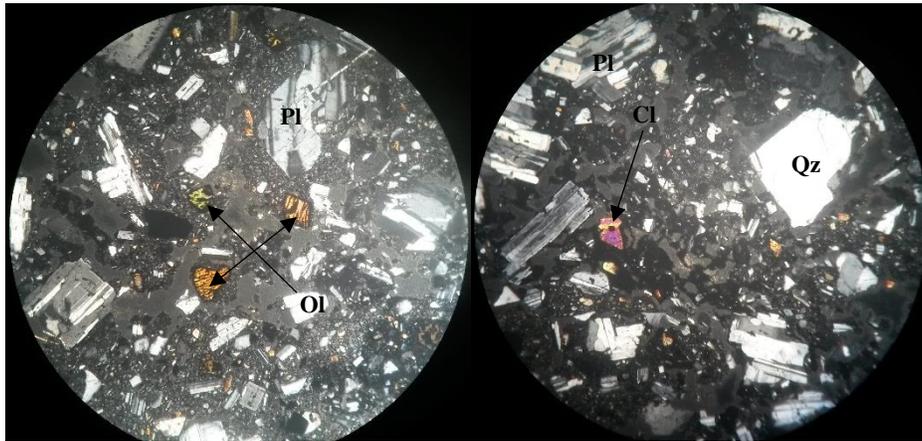
Nombre de la roca: Basalto

Minerales componentes: Plagioclasa, Olivino, Piroxeno y Cuarzo.

Textura general: Porfídica

Textura de la matriz: Hipocristalina

Alteración: Epidotización.



Fotografía 46. A y B tomada con lentes 5x ubicación: 749828E/ 1252933N se observa el cuarzo y alrededor la zeolita y los clinopiroxenos alterados.

Observaciones: la Textura general es porfídica, la Textura de la matriz que posee, es una hipocristalina esta hace referencia a la abundancia de cristales y vidrios que presenta, los minerales componentes son: **plagioclasa:** estas se encuentran alterada por la epidotización tiene un hábito Tabular o tabular primático estas forman cristales desde Anhedral – Subhedral. **Olivino:** tiene una forma Anhedral-Subhedral su hábito es prismático. **Piroxeno:** presenta una forma Anhedral -Subhedral donde presentan un hábito prismático corto. **Cuarzo:** presenta un hábito cubico, trapezoedros, y tiene una forma Anhedral.

Observaciones: la Textura general es porfídica, la Textura de la matriz que posee, es una hipocristalina esta hace referencia a la abundancia de cristales y vidrios que presenta, los minerales componentes son: **plagioclasa:** estas se encuentran alterada por la epidotización tiene un hábito Tabular o tabular primático estas forman cristales desde Anhedral –

Subhedral. **Olivino:** tiene una forma Anhedral-Subhedral su hábito es prismático.

Piroxeno: presenta una forma Anhedral -Subhedral donde presentan un hábito prismático

corto. **Cuarzo:** presenta un hábito cubico, trapezoedros presenta, y tiene una forma Anhedral.

| Análisis petrográfico | Código de Laboratorio | Código de campo | Coordenadas | | Resultado Petrográfico |
|--------------------------|--------------------------|--------------------|-------------|---------|---------------------------|
| | | | Este | Norte | |
| 1 | LAB.190037 | 01072019 – 06 | 765587 | 1243857 | Andesita |
| 2 | LAB.190038 | 28062019 – 10 | 760160 | 1240594 | Andesita |
| 3 | LAB.190039 | 22062019 – 16 | 772671 | 1239820 | Andesita |
| 4 | LAB.190040 | 30062019 – 15 | 766560 | 1248424 | Basalto olivínico |
| 5 | LAB.190041 | 30062019 – 27 | 767180 | 1250511 | Andesita – Basalto |
| 6 | LAB.190042 | 30062019 – 28 | 767371 | 1250652 | Basalto |
| 7 | LAB.190043 | 05112019 – 09 | 749828 | 1252933 | Basalto |

Tabla 3. Resultados del análisis petrográfico.

Capítulo V

5.1. Conclusiones

1. Se definieron 6 unidades geomorfológicas dentro el perímetro de estudio, las cuales constan de: Unidades de Colinas Ásperas y Disectadas (Dkdi), Unidad de Conos y Diques (VcVd), Unidad de Llanura Aluvial (Fpa), Unidad de Peniplanicie (Dpp), Unidad de Caldera (Vcd) Unidad de Ambiente Estructural (Slfe).
2. Se determino las fases de deformación estructural que afectan el sitio donde el área se encuentra afectada por sistemas de lineamientos por fallamiento, en donde posiblemente se encuentra siendo afectada por el tectonismo.
3. Se elaboraron 7 análisis petrográficos de las principales unidades litológicas que presenta el área de estudio en donde 3 fueron andesitas y 2 basaltos, una andesita Basalto y Basalto olivínico.
4. Se definieron las unidades litológicas que se encuentran en el interior del perímetro de estudio donde fueron 4 unidades Qal, Qr, Tmca, Tomm.
5. Se realizo la columna estratigráfica de la zona de estudio en donde esta presenta espesores de 5-10 Qal, 15 Qr, 320 Tmca, 200 Tomm.

5.2. Recomendaciones.

1. Se recomienda elaborar un estudio más detallado del área, en donde contenga, una mayor amplitud geológica del sitio de estudio.
2. Hacer estudios prospección geofísica en los principales lineamientos para obtener con mayor precisión el curso de estos.
3. Realizar análisis geoquímicos en los principales diques con pseudo mineralización para identificar su génesis.
4. Realizar dataciones radiométricas para determinar la edad absoluta de las rocas presentes en el área.
5. Elaborar una cartografía geológico detallada en la zona Sur de la hoja que ayude a definir las características que presenta la capa fosilífera que se encuentra en la comarca Buena Vista.

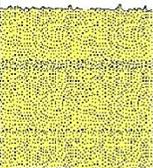
5.3. Bibliografía

- Amaya, M. (2015). *Geología estructural en la microcuenca del Río Pire – Condega, y sus influencias en la dinámica del flujo subterráneo.*
- Astorga, A. (1992). *Descubrimiento de la corteza oceánica mesozoica en el norte de Costa Rica y el sur de Nicaragua.*
- Ayala, L. (2011). *Reconocimiento de fracturas, pliegues y fallas geológicas.* Lima, Perú: Exploraciones Andinas SAC.
- Belousov, V. (1979). *Geología Estructural.* Moscú, Rusia: Mir.
- Caballero, Á. (2017). *Tabla del tiempo geológico.*
- Catastro e Inventario de Recursos Naturales, (1971). *Mapa Geológico de Morrillo (3249-IV), San Carlos (3249-3) y San Miguelito (3250-III).*
- Centeno, E. (sin fecha). *Serie de recomendaciones para llevar a cabo un trabajo de cartografía geológica regional.* Instituto de Geología, UNAM. Recuperado de <http://www.geologia.unam.mx:8080/igl/index.php/centeno-garcia-e/91-cartografia-geologica>
- Costa Rica. Ministerio del Ambiente y Energía. Dirección de Geología y Minas. (2017). *Lineamientos y estándares del mapa geológico de Costa Rica a escala 1:50,000*
- Dávila, J. (2011) *Diccionario geológico.*
- Dengo, Gabriel. (1973). *Estructura geológica, historia tectónica y morfología de América central.*
- Franco, M., & Gonzalo, J. (2008). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra.* Madrid: Editex, S.A.
- Frischbutter, A. (2002). *Structure of the Managua graben, Nicaragua, from remote sensing images.*
- Garayar, J. (1973). *Geología del cuadrángulo de Rio Camastro.* No publicado.
- Garayar, J. (1973). *Geología del cuadrángulo de Tepeguasapa catastro.* No publicado.
- Hansen, F. (2008). *Apuntes de cartografía.*
- Hodgson, G. (2005). *Fotogeología Aplicada.*

- Hodgson, G. (1973). *Geología de los cuadrángulos del Almendro y El Aparejo*. Catastro. No publicado.
- Hodgson, G. (2004). *Geología Histórica de Nicaragua*.
- Hodgson, G. (2000). *Geología Regional de Nicaragua (Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua)*.
- Hodgson, G. (1969). *Manuscrito sobre la geología del departamento de Río San Juan*. Catastro.
- Hodgson, G. (1973). *Reporte geológico de la zona occidental de la cuenca del Río San Juan*.
- Hunting Geology and Geophysics LTD., (1972). *Interpretaciones de imágenes del radar AN/APQ 97en San Carlos*.
- Hodgson, G. & Ferrey, C. (1971). *Geología y anotaciones mineralógicas de la planicie sureste del lago de Nicaragua*.
- INETER – BGR, (2004). *Mapa Geológico de Nicaragua a escala 1:750,000*.
- INETER, (2011). *División Política Administrativa del Departamento de Río San Juan a escala 1:250,000*.
- INETER, (1989). *Mapas topográficos de La Azucena (3249-II), El Castillo (3349-III), Los Chiles (3249-I), Morrillo (3249-IV), Río Camastro (3250-II), Río Chacalín (3350-III), Río Sábalo (3349-IV), San Carlos (3249-III) y San Miguelito (3250-III)*.
- INETER – VNIIZARUBEZHGEOLOGIA, (1995). *Mapa Geológico Minero de la Republica de Nicaragua a escala 1:500,000*.
- INETER & OIEA. (2009). *Caracterización hidrogeológica e isotópica del lago Nicaragua*.
- Kuang, J. (1973). *Geología del cuadrángulo de Cerro Pavón y Loa Chiles* Catastro. No publicado.
- Kuang, J. (1973). *Geología del cuadrángulo de Mohán y Quimichapa*. Catastro. No publicado.
- Martínez, P. (1973). *Geología de la región sureste de Nicaragua*.
- Meller, J. (2014). *Cartografía Geológica semidetallada a escala 1:50,000 del cuadrante Río Pilán serie 3253-II*.

- Ministerio de Energía y Minas, (2015). Índice de mapas topográficos a escala 1:50,000.*
- Moyer, L., Hastings, J., & Raines, G. (2005). Methods to create ArcMap® styles with examples for lithology and time. Extraído de <https://pubs.usgs.gov/of/2005/1314/>*
- Ortiz, J. (2010). Guía para elaborar un protocolo.*
- Pérez, E. (2013). Cartografía geológica en el prospecto minero de Santo Domingo, Chontales.*
- Servicio Geológico Nacional de Nicaragua, (1973-1974). Mapa Geológico de El Castillo (3349-3), Río Chacalín (3350-III) y Río Sábalo (3349-IV).*
- Sevilla, S. (2016). Mapa metalogénico de Nicaragua.*
- Silva, G., Mendoza, C., & Campos, E. (2016). Elemento de Cartografía Geológica. México: UNAM.*
- Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2005). Ciencias de la Tierra Una introducción a la Geología Física. Madrid: Pearson.*
- Zavala, Sylvia. (2012). Guía a la redacción en el estilo APA, 6ta edición.*

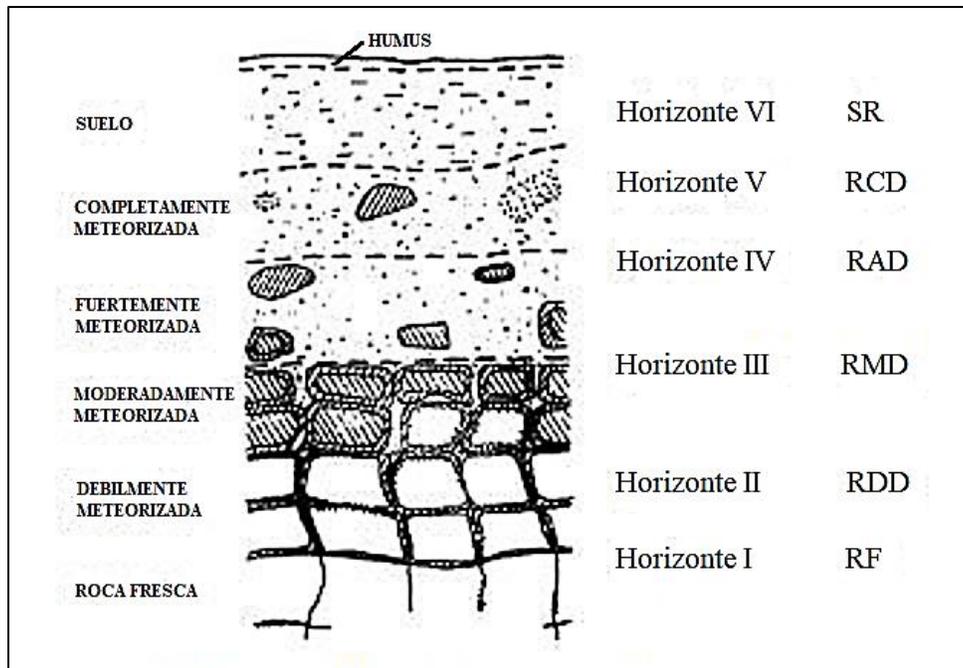
5.4. Anexo

| PERIODO | GRUPO O FORMACIÓN | LITOLOGÍA | ESPESOR | DESCRIPCIÓN |
|-------------|-------------------------|---|---------|--|
| CUATERNARIO | ALUVIONAL |  | 10 | GRAVA - ARENA - LIMO - ARCILLA PANTANO SUELOS |
| | PIROCLÁSTICO |  | 30 | PÓMEZ |
| TERCIARIO | PLIOCENO | MEDIO | 110 | TOBA IGNIMBRITA SILICIFICADO TOBA IGNIMBRITA. LIXIVIADO OBSIDIANA - PERLITA |
| | | INFERIOR | 100 | BASALTO OLIVÍNICO - VESICULAR COMPACTO Y NEGRO |
| | MIOCENO | MEDIO | 100 | IGNIMBRITA - DACITA - ANDESITA TOBA SOLDADA |

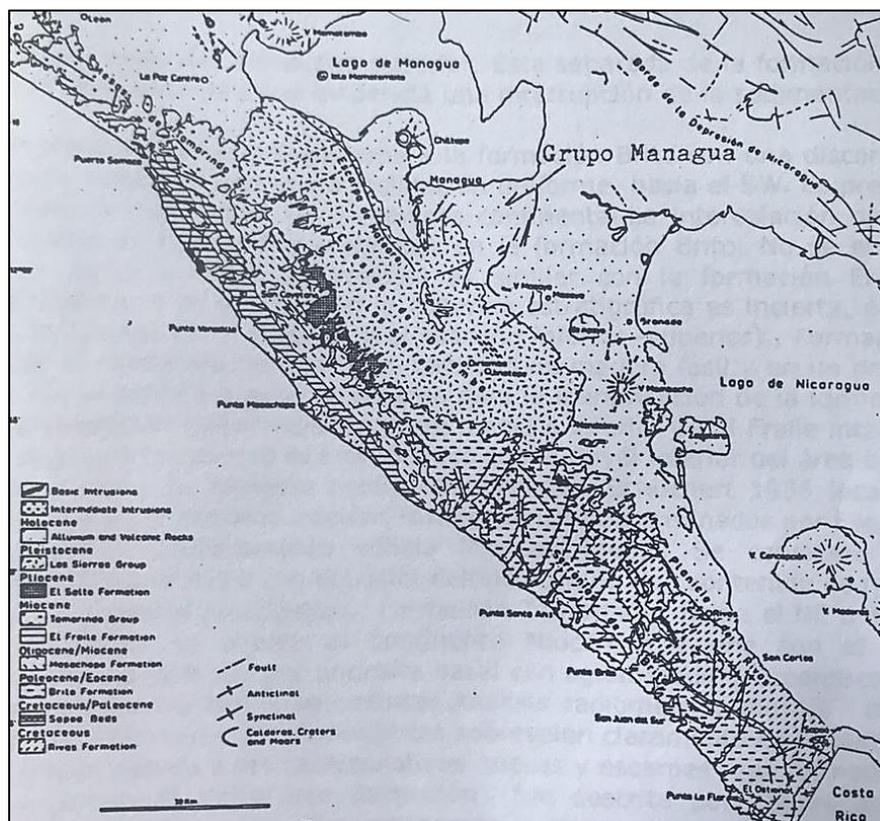
Anexo 1. Columna estratigráfica del área generalizada.

| Grado | Descripción | Litología |
|-------|---------------------------|---|
| VI | Suelo residual | Algún contenido orgánico, no se preserva estructura original, todos los minerales están descompuestos, excepto el cuarzo. |
| V | Completamente meteorizada | Suelo, aún se reconoce estructura original. |
| IV | Intensamente meteorizada | Parcialmente transformada a suelo, predomina suelo sobre roca. |
| III | Moderadamente meteorizada | Parcialmente transformada a suelo, predomina roca sobre suelo. |
| II | Ligeramente meteorizada | Roca fracturada, pátinas de alteración, feldspatos parcialmente alterados. |
| I | Roca fresca | Roca limpia |

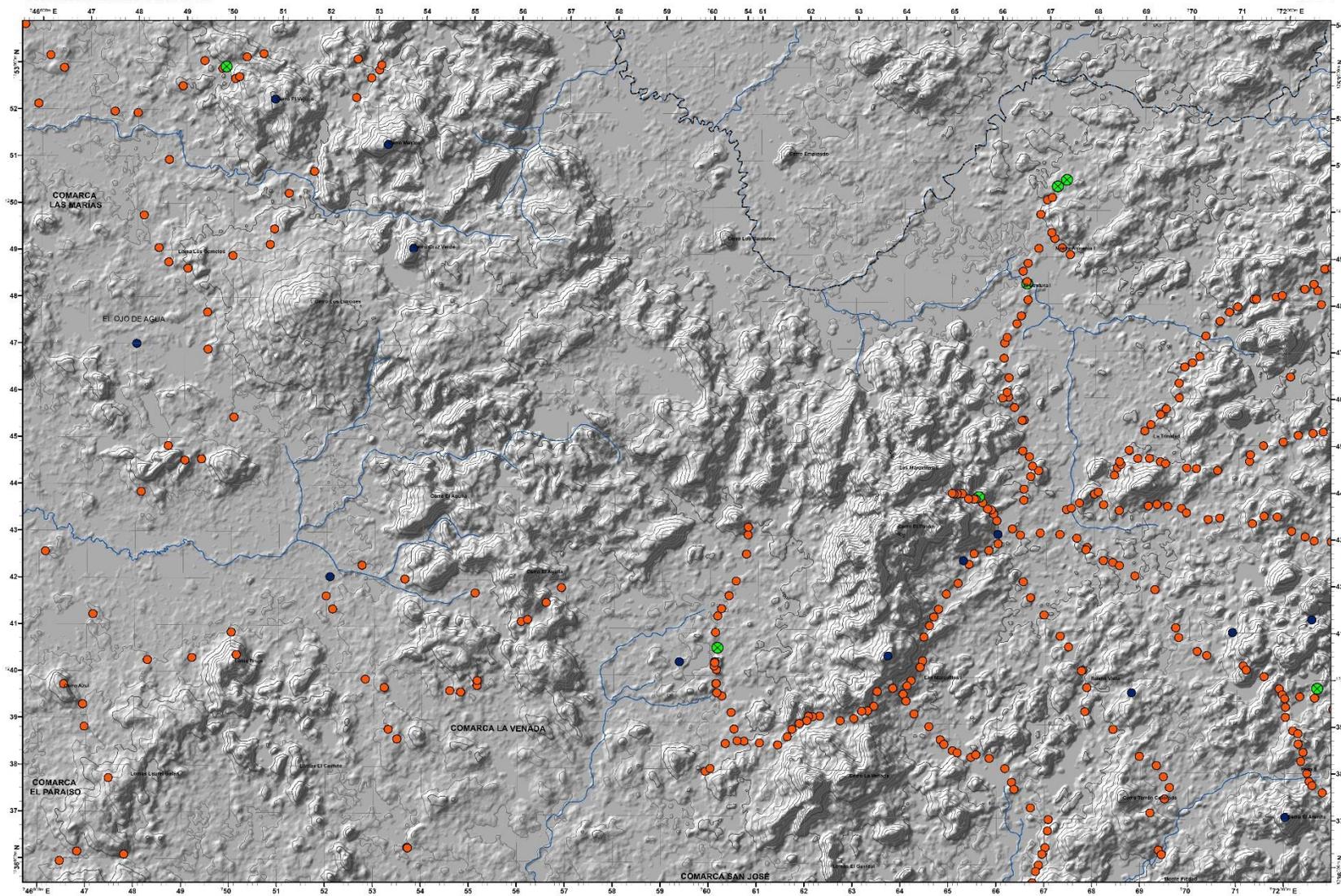
Anexo 2. Clasificación de rocas meteorizadas (modificado por Waltham, 1994).



Anexo 3. Horizontes del perfil de meteorización.



Anexo 4. Mapa geológico del occidente de Nicaragua a escala 1:250,000 (Managua 1972).



LEYENDA

- Antecedentes
- Puntos muestreados
- Hoja Los Chiles
- Limite municipal



MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO DEL CUADRÁNGULO LOS CHILES

1:50,000

1:50,000
Escala horizontal = 1:50,000

0 1 2 KM

Fuente de datos:

Base cartográfica:

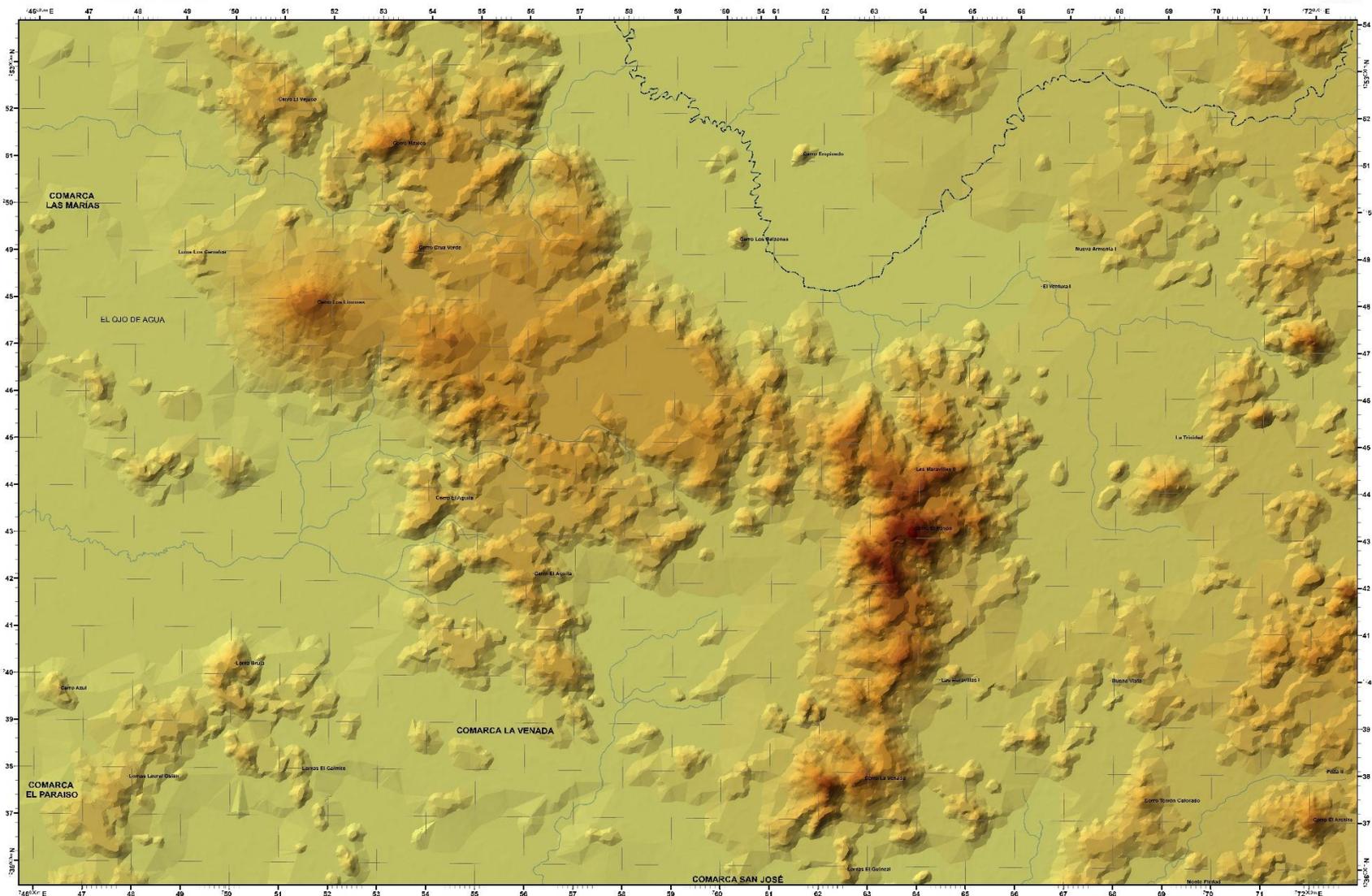
* Toponimia, límite municipal (Mapa topográfico INIDE, 1989, escala original 1:50,000).

* Zonas urbanas, red hidrogr. curvas de nivel, hidrol. (A LOS PAISAR, ANITR, Inst. Map. ANICR Imagery).

Créditos:

Mapa dibujado en el marco del proyecto manuscrito "Cartografía vectorial"

Anexo 5. Mapa de localización de los puntos de muestros.



LEYENDA

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

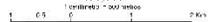
Anexo 6. Mapa Altimétrico.



MAPA ALTIMÉTRICO DEL CUADRÁNGULO LOS CHILES

1:50,000

1 centímetro = 500 metros



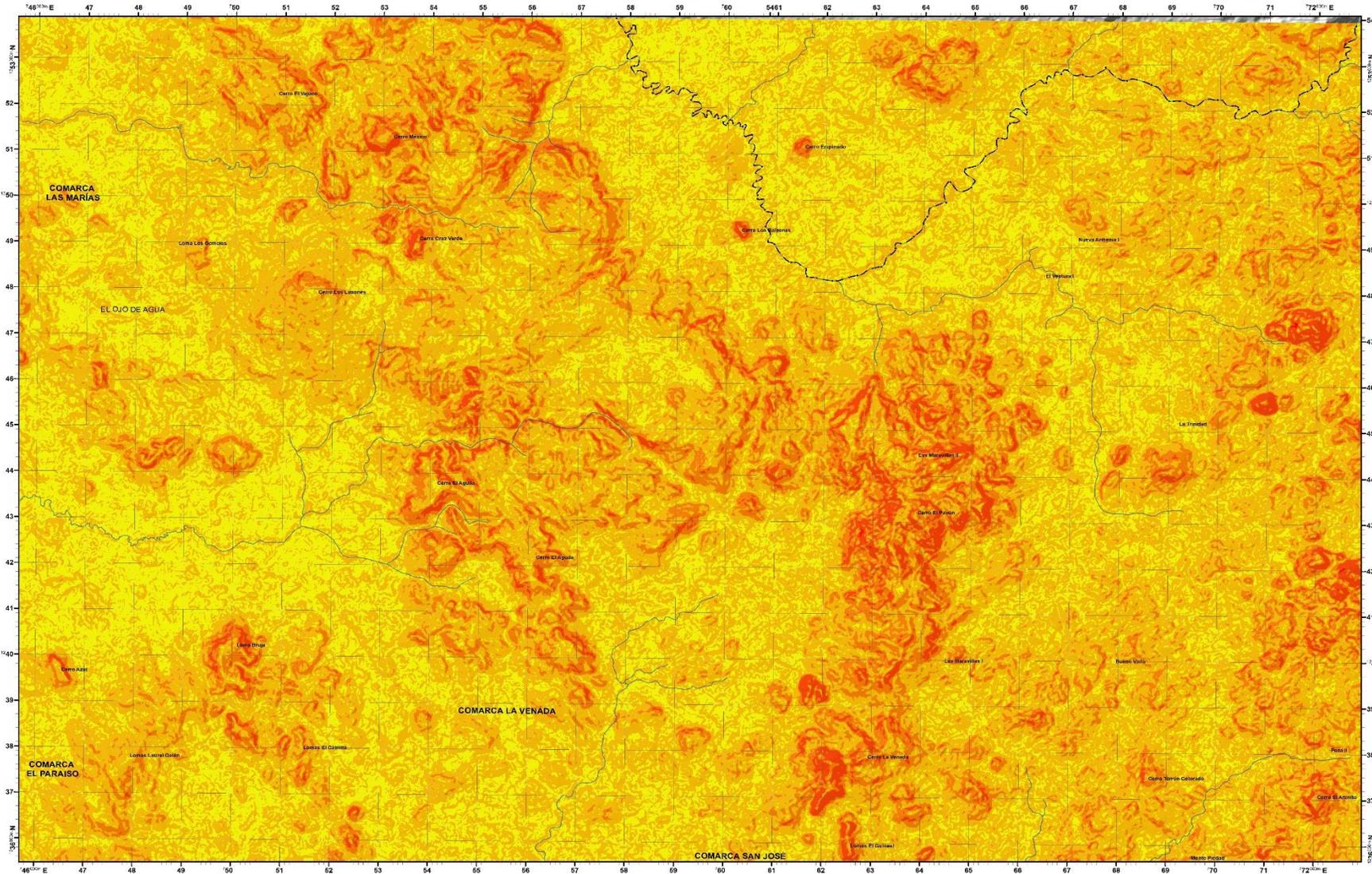
Fuente de datos:

Banc cartográfico:

* Instituto Geográfico y Catastral (MTC) INICRE, 1989, escala original 1:50,000.

* Red hídrica: imagen satelital "Watershed" (ATOS PALSAR, ASTER, River Map, ArcGIS Imagery).

Créditos:



LEYENDA

- Hoja Los Chiles
- Limite municipal
- Ríos

Rangos de pendientes en Grados.

- 0 - 3
- 3 - 12
- 30 - 45
- 45 - 60.38362503



MAPA DE PENDIENTES DEL CUADRÁNGULO LOS CHILES

1:50,000
1 centímetro = 100 metros



Fuente de datos

- Base cartográfica:
- * Topónimo, límite municipal (Mapa topográfico INI/113, 1989, escala original 1:50,000).
- * Rel métrica, imagen satelital, hillshade y dotm (ALOS PALSAR, ASTER, Bing Maps, ArcGIS Imagery).

Créditos:

Anexo 7. Mapa de pendientes.



Anexo 8. Índice ortofotográfico parcial de Río San Juan (1988).



Anexo 9. Descripción macroscópica con lupa estereográfica.

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE ROCAS ÍGNEAS

I. IDENTIFICACIÓN.

| | |
|------------------------|-------------|
| N.º HOJA | N.º MUESTRA |
| 3 2 4 9 I 28 06 2019 5 | |
| FECHA: | |
| Agosto de 2019 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---|------|---|---|---|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| COORDENADAS UTM: | | | | | | | | | | | | | | |
| HUS. BAN. | | ESTE | | | | | NORTE | | | | | | | |
| 16 | P | 7 | 6 | 0 | 1 | 3 | 7 | 1 | 2 | 3 | 9 | 8 | 2 | 7 |
| TRAMO: | | | | | | | | | | | | | | |
| Alejandro García – El Pavón | | | | | | | | | | | | | | |

II. DESCRIPCIÓN.

| | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------|------------------|--|--|
| TENACIDAD | Alta | | | | REACCIÓN AL HCL: | Medio | |
| GRADO DE METEORIZACIÓN | Baja | | | | OBSERVACIONES: | | |
| COLOR | Superficie intemperizada | | Superficie fresca | | | Los minerales máficos se encuentran oxidados, la composición química de la muestra es de 52 al 63% de SiO ₂ debido a que es una roca intermedia. La muestra también presenta una textura vesicular. | |
| | Gris oscuro | | Gris claro | | | | |
| TEXTURA | Grado de Cristalización | Relaciones mutuas del cristal | Tamaño del cristal | Forma de los cristales | | | |
| | Hipocristalina | Inequigranular | Afanítica | Anhedral | | | |
| MODO DE OCURRENCIA | Extrusiva – Subvolcánica | | | | | | |
| COMPOSICIÓN MINERAL | Minerales principales | | | | | | |
| | Minerales esenciales | | Minerales accesorios | Minerales secundarios | | | |
| | Plag. y Hornb. | | Feld. K., Qz. | Galena | | | |
| ALTERACIONES | Sulfuro | | | | | | |
| NOMBRE DE LA ROCA | Andesita | | | | | | |

I. IDENTIFICACIÓN.

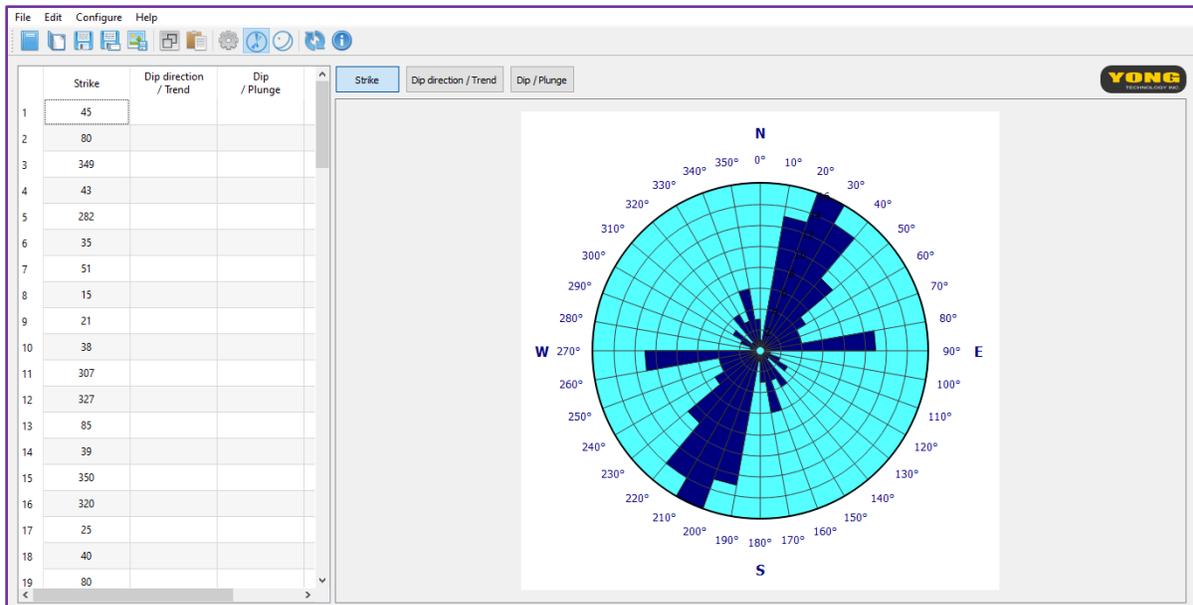
| | |
|------------------------|-------------|
| N.º HOJA | N.º MUESTRA |
| 3 2 4 9 I 27 06 2019 7 | |
| FECHA: | |
| Septiembre 2019 | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---|------|---|---|---|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| COORDENADAS UTM: | | | | | | | | | | | | | | |
| HUS. BAN. | | ESTE | | | | | NORTE | | | | | | | |
| 16 | P | 7 | 6 | 2 | 7 | 3 | 2 | 1 | 2 | 3 | 9 | 0 | 5 | 4 |
| TRAMO: | | | | | | | | | | | | | | |
| Las Maravillas – Alejandro García | | | | | | | | | | | | | | |

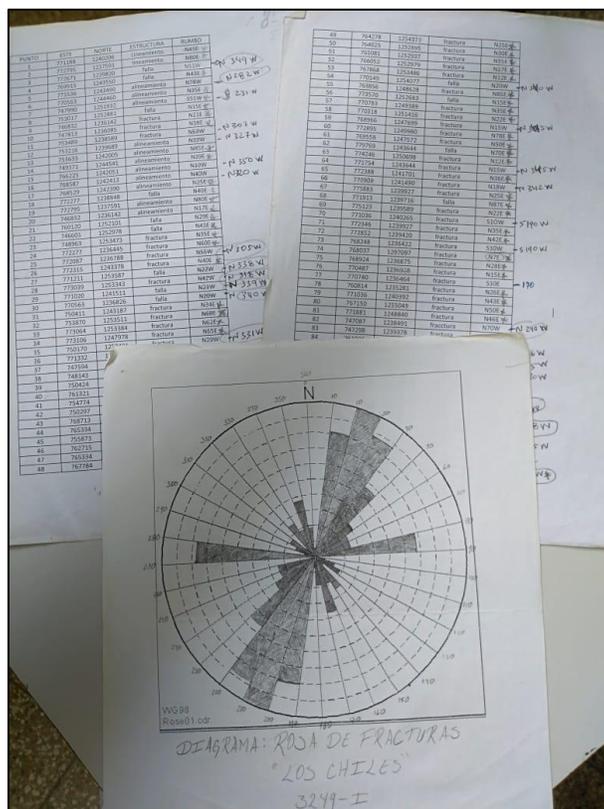
II. DESCRIPCIÓN.

| | | | | | | | |
|------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------|------------------|--|--|
| TENACIDAD | Alta | | | | REACCIÓN AL HCL: | Nula | |
| GRADO DE METEORIZACIÓN | Baja | | | | OBSERVACIONES: | | |
| COLOR | Superficie intemperizada | | Superficie fresca | | | La muestra presenta MnO ₂ (Pirolusita) en forma de dendritas de tonalidad negra y emplazadas en fracturas. se aprecia feldespato sobre una matriz vítrea de tonalidad gris. | |
| | Gris oscura | | Gris Claro | | | | |
| TEXTURA | Grado de Cristalización | Relaciones mutuas del cristal | Tamaño del cristal | Forma de los cristales | | | |
| | Merocristalina | Inequigranular | Fanero-afanítica | Subhedral | | | |
| MODO DE OCURRENCIA | Extrusiva – Subvolcánica | | | | | | |
| COMPOSICIÓN MINERAL | Minerales principales | | | | | | |
| | Minerales esenciales | | Minerales accesorios | Minerales secundarios | | | |
| | Anfib. y Plag. | | F.K., Px., Qz. | Dióxido de Manganeso | | | |
| ALTERACIONES | Oxidación | | | | | | |
| NOMBRE DE LA ROCA | Andesita | | | | | | |

Anexo 10. Formato para descripción macroscópica en laboratorio.



Anexo 11. Procesamiento de datos estructurales en GeoRose.



Anexo 12. Procesamiento y comprobación de datos estructurales elaborados manualmente.



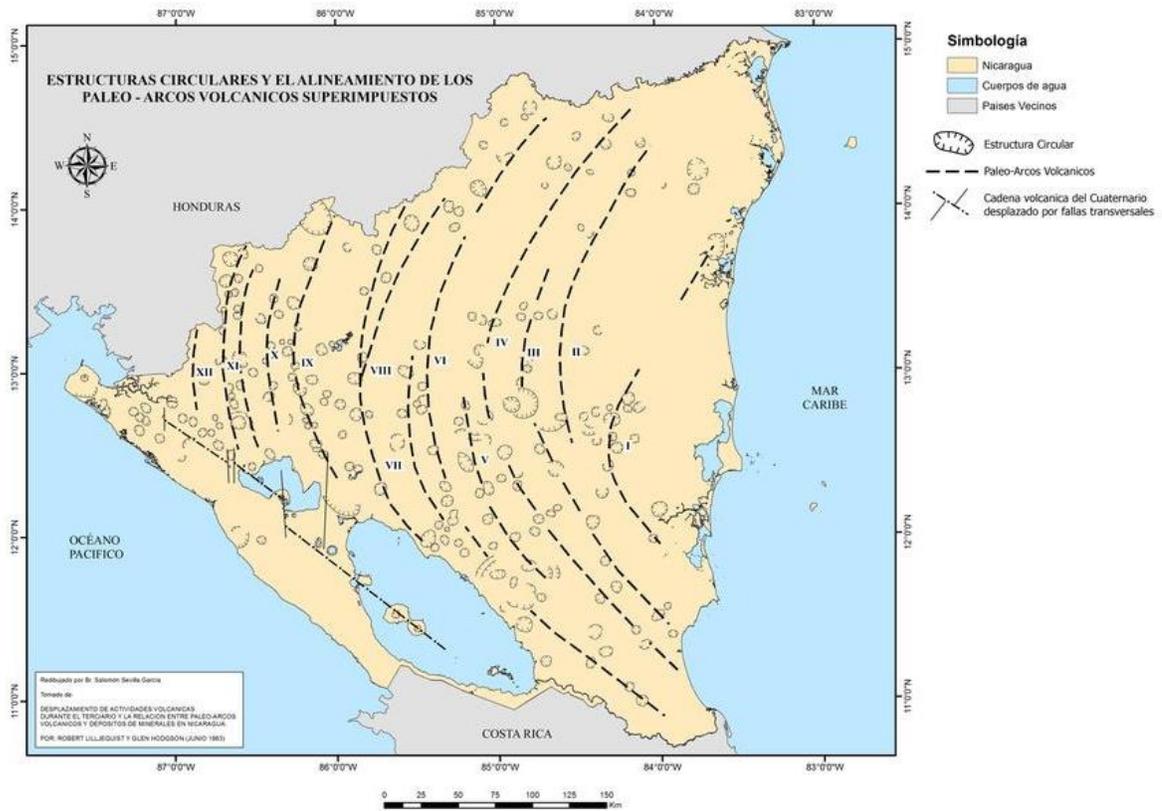
Anexo 13. Juego de instrumentos utilizados en análisis macroscópico.



Anexo 14. descripción de secciones delgadas y utilizando tabla de birrefringencia.

| Rangos de pendientes | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------------------|-----------------------|
| Rango | Lugo | Ortiz | Otros (Demek, 1972) | Clasificación |
| 1 | 0 – 3 | 0 – 3 | 0 – 2 | Plano (Planicie) |
| 2 | 3 – 12 | 3 – 6 | 0 – 5 | Ligeramente inclinado |
| 3 | 12 – 30 | 6 – 15 | 2 – 15 | Deslizamiento |
| 4 | 30 – 45 | 15 – 30 | 15 – 35 | Deslizamiento |
| 5 | > 45 | 30 – 45 | 35 – 45 | Caída libre |
| 6 | - | > 45 | > 45 | Caída libre |

Anexo 15. Tabla de rangos de pendientes en grados.



Anexo 16. Estructuras circulares y alineamiento de los Paleo-Arcos Volcánicos.

Anexo 17. Tabla de puntos de muestreo en el cuadrángulo de Los Chiles (3249-I).

| Punto | Fecha | Estación | Este | Norte | Descripción |
|--------------|--------------|-----------------|-------------|--------------|---|
| 1 | 1/5/2019 | 1 | 766294 | 1243177 | Suelo |
| 2 | 1/5/2019 | 2 | 766457 | 1243048 | Riachuelo; suelo |
| 3 | 1/5/2019 | 3 | 766525 | 1242051 | Suelo arcilloso |
| 4 | 1/5/2019 | 4 | 766679 | 1241712 | Falla |
| 5 | 1/5/2019 | 5 | 766967 | 1241349 | Suelo arcilloso |
| 6 | 1/5/2019 | 6 | 767305 | 1240895 | Suelo |
| 7 | 1/5/2019 | 7 | 767479 | 1240667 | Suelo |
| 8 | 1/5/2019 | 8 | 767784 | 1240172 | Suelo |
| 9 | 1/5/2019 | 9 | 767757 | 1240160 | Basalto – Andesita |
| 10 | 1/5/2019 | 10 | 767867 | 1239801 | Suelo |
| 11 | 1/5/2019 | 11 | 767830 | 1239286 | Suelo |
| 12 | 1/5/2019 | 12 | 768423 | 1238911 | Suelo |
| 13 | 1/5/2019 | 13 | 768976 | 1238339 | Suelo |
| 14 | 1/5/2019 | 14 | 769332 | 1238149 | Suelo |
| 15 | 1/5/2019 | 15 | 769481 | 1237908 | Suelo |
| 16 | 1/5/2019 | 16 | 769610 | 1237680 | Suelo |
| 17 | 1/5/2019 | 17 | 769503 | 1237434 | Suelo y fragmentos rocosos basáltico |
| 18 | 1/5/2019 | 18 | 769208 | 1237134 | Suelo ocre rojizo |
| 19 | 1/5/2019 | 19 | 769388 | 1236342 | Suelo |
| 20 | 2/5/2019 | 1 | 769452 | 1236246 | Suelo |
| 21 | 2/5/2019 | 2 | 769763 | 1235519 | Suelo |
| 22 | 2/5/2019 | 3 | 769877 | 1235272 | Basalto – Andesita |
| 23 | 2/5/2019 | 4 | 769899 | 1235179 | suelo y Regolitos rojizos |
| 24 | 2/5/2019 | 5 | 769832 | 1235011 | Suelo |
| 25 | 2/5/2019 | 6 | 769793 | 1234783 | Suelo |
| 26 | 2/5/2019 | 7 | 769712 | 1234512 | Suelo |
| 27 | 2/5/2019 | 8 | 769717 | 1234211 | Suelo |
| 28 | 21/6/2019 | 1 | 766872 | 1243094 | Suelo y pendientes suaves |
| 29 | 21/6/2019 | 2 | 767285 | 1243069 | Suelo |
| 30 | 21/6/2019 | 3 | 767635 | 1242990 | Suelo |
| 31 | 21/6/2019 | 4 | 767851 | 1242796 | Suelo |
| 32 | 21/6/2019 | 5 | 767826 | 1242745 | Suelo |
| 33 | 21/6/2019 | 6 | 768194 | 1242515 | Basalto |
| 34 | 21/6/2019 | 7 | 768389 | 1242479 | Suelo limo arenoso |
| 35 | 21/6/2019 | 8 | 768527 | 1242413 | Suelo arcilloso |
| 36 | 21/6/2019 | 9 | 768853 | 1242194 | Suelo |
| 37 | 21/6/2019 | 10 | 769272 | 1241908 | Suelo |

| | | | | | |
|-----------|-----------|-------|--------|---------|----------------------------------|
| 38 | 21/6/2019 | 11 | 769714 | 1241092 | Suelo limo arcilloso |
| 39 | 21/6/2019 | 12 | 769779 | 1240886 | Suelo |
| 40 | 21/6/2019 | 13 | 770164 | 1240593 | Suelo |
| 41 | 21/6/2019 | 14 | 770363 | 1240505 | Suelo rojizo |
| 42 | 21/6/2019 | 15 | 771130 | 1240291 | Suelo |
| 43 | 21/6/2019 | 16 | 771188 | 1240206 | Andesita |
| 44 | 21/6/2019 | 17 | 771190 | 1240203 | Andesita |
| 45 | 21/6/2019 | 18 | 771562 | 1240064 | Suelo rojizo. |
| 46 | 21/6/2019 | 19 | 771880 | 1239808 | Suelo |
| 47 | 22/6/2019 | 1 | 771946 | 1239679 | (Regolito Andesíticos – Basalto) |
| 48 | 22/6/2019 | 2 | 771996 | 1239598 | Suelo |
| 49 | 22/6/2019 | 3 | 772016 | 1239415 | Suelo arcilloso |
| 50 | 22/6/2019 | 4 | 772015 | 1239199 | Suelo limo arcilloso. |
| 51 | 22/6/2019 | 5 | 772174 | 1238909 | Suelo limo arcilloso |
| 52 | 22/6/2019 | 6 | 772284 | 1238631 | Suelo limo arcilloso |
| 53 | 22/6/2019 | (5-6) | 772277 | 1238848 | Rodados andesíticos. |
| 54 | 22/6/2019 | 7 | 772387 | 1238452 | Suelo limo arcilloso |
| 55 | 22/6/2019 | 8 | 772343 | 1238261 | Suelo limo arcilloso |
| 56 | 22/6/2019 | 9 | 772472 | 1238004 | Suelo |
| 57 | 22/6/2019 | 10 | 772519 | 1237832 | Andesíticos – Basalto. |
| 58 | 22/6/2019 | 11 | 772581 | 1237742 | Suelo limo arcilloso rojizo |
| 59 | 22/6/2019 | 12 | 772795 | 1237591 | Andesita – Basalto |
| 60 | 22/6/2019 | 13 | 772312 | 1239642 | Suelo arcilloso rojizo |
| 61 | 22/6/2019 | 14 | 772619 | 1239613 | Suelo arcilloso |
| 62 | 22/6/2019 | 15 | 773008 | 1239376 | Suelo arcilloso rojizo |
| 63 | 22/6/2019 | 16 | 772671 | 1239820 | Dique basáltico |
| 64 | 23/6/2019 | 1 | 767416 | 1243603 | Suelo |
| 65 | 23/6/2019 | 2 | 767515 | 1243633 | Suelo |
| 66 | 23/6/2019 | 3 | 767684 | 1243745 | Basalto y suelo (Regolito) |
| 67 | 23/6/2019 | 4 | 767998 | 1243939 | Suelo limo arcilloso |
| 68 | 23/6/2019 | 5 | 768188 | 1243710 | Suelo limo arcilloso |
| 69 | 23/6/2019 | 6 | 768516 | 1243591 | Suelo limo arcilloso |
| 70 | 23/6/2019 | 7 | 769121 | 1243694 | Suelo aluvial |
| 71 | 23/6/2019 | 8 | 769302 | 1243728 | Suelo |
| 72 | 23/6/2019 | 9 | 769522 | 1243689 | Suelo aluvial, suelo rojizo |
| 73 | 23/6/2019 | 10 | 769814 | 1243646 | Suelo |
| 74 | 23/6/2019 | 11 | 769915 | 1243550 | Suelo |
| 75 | 23/6/2019 | 12 | 770371 | 1243413 | Suelo limo arcilloso |

| | | | | | |
|------------|-----------|----|--------|---------|--|
| 76 | 23/6/2019 | 13 | 770614 | 1243447 | Suelo limo arcilloso |
| 77 | 23/6/2019 | 14 | 771296 | 1243332 | Suelo limo arcilloso |
| 78 | 23/6/2019 | 15 | 771536 | 1243490 | Suelo |
| 79 | 23/6/2019 | 16 | 771810 | 1243478 | Suelo |
| 80 | 23/6/2019 | 17 | 772112 | 1243176 | Suelo limo arcilloso rojizo |
| 81 | 23/6/2019 | 18 | 772396 | 1243059 | Suelo limo arcilloso rojizo |
| 82 | 23/6/2019 | 19 | 772583 | 1242972 | suelo |
| 83 | 23/6/2019 | 20 | 772945 | 1242956 | Suelo arcilloso |
| 84 | 23/6/2019 | 21 | 773016 | 1242956 | Basalto |
| 85 | 23/6/2019 | 22 | 768077 | 1243979 | Basalto |
| 86 | 23/6/2019 | 23 | 768408 | 1244345 | Suelo limo arcilloso y Bolones basálticos |
| 87 | 23/6/2019 | 24 | 768468 | 1244505 | Suelo limo arcilloso |
| 88 | 23/6/2019 | 25 | 768545 | 1244575 | Suelo limo arcilloso rojizo |
| 89 | 23/6/2019 | 26 | 768893 | 1244706 | Suelo Claro |
| 90 | 23/6/2019 | 27 | 769137 | 1244710 | Suelo Rojizo |
| 91 | 23/6/2019 | 28 | 769368 | 1244640 | Suelo Rojizo y fragmentos de basalto |
| 92 | 23/6/2019 | 29 | 769471 | 1244601 | Basalto (Regolito) |
| 93 | 23/6/2019 | 30 | 769914 | 1244511 | Basalto) |
| 94 | 23/6/2019 | 31 | 770118 | 1244501 | Suelo Rojizo (regolitos) |
| 95 | 23/6/2019 | 32 | 770563 | 1244460 | Suelo |
| 96 | 23/6/2019 | 36 | 771223 | 1244660 | Suelo arcilloso |
| 97 | 23/6/2019 | 37 | 771240 | 1244803 | Suelo. |
| 98 | 23/6/2019 | 38 | 771516 | 1245000 | Suelo Limo arcilloso. |
| 99 | 23/6/2019 | 39 | 771923 | 1245081 | Suelo limo arcilloso |
| 100 | 23/6/2019 | 40 | 772236 | 1245226 | Basalto |
| 101 | 23/6/2019 | 41 | 772545 | 1245270 | Aglomerado, basálticos. |
| 102 | 23/6/2019 | 42 | 772755 | 1245299 | Suelo. |
| 103 | 24/6/2019 | 1 | 768517 | 1244638 | Suelo |
| 104 | 24/6/2019 | 2 | 768714 | 1244884 | Suelo |
| 105 | 24/6/2019 | 3 | 769036 | 1245297 | Suelo |
| 106 | 24/6/2019 | 4 | 769159 | 1245433 | Suelo arcilloso. |
| 107 | 24/6/2019 | 5 | 769364 | 1245646 | Andesita |
| 108 | 24/6/2019 | 6 | 769479 | 1245768 | Andesita Brechada |
| 109 | 24/6/2019 | 7 | 769750 | 1246008 | Suelo |
| 110 | 24/6/2019 | 8 | 769743 | 1246321 | Suelo |
| 111 | 24/6/2019 | 9 | 769859 | 1246670 | Suelo vegetal |
| 112 | 24/6/2019 | 10 | 770019 | 1246761 | Suelo vegetal |
| 113 | 24/6/2019 | 11 | 770170 | 1246892 | Suelo |

| | | | | | |
|------------|-----------|----|--------|---------|--|
| 114 | 24/6/2019 | 12 | 770293 | 1247333 | Suelo |
| 115 | 24/6/2019 | 13 | 770586 | 1247655 | Suelo |
| 116 | 24/6/2019 | 14 | 770785 | 1247847 | Suelo oscuro |
| 117 | 24/6/2019 | 15 | 770951 | 1247964 | Lineamiento fotogeológico principal comprobado |
| 118 | 24/6/2019 | 16 | 771290 | 1248125 | ; Suelo |
| 119 | 24/6/2019 | 17 | 771340 | 1248131 | Suelo. |
| 120 | 24/6/2019 | 18 | 771754 | 1248178 | Suelo vegetal |
| 121 | 24/6/2019 | 19 | 771879 | 1248210 | Suelo |
| 122 | 24/6/2019 | 20 | 772345 | 1248351 | Suelo con buen drenaje |
| 123 | 24/6/2019 | 21 | 772541 | 1248457 | bloques Andesíticos |
| 124 | 24/6/2019 | 22 | 772619 | 1248319 | bolones de andesita |
| 125 | 24/6/2019 | 23 | 772763 | 1248785 | Suelo |
| 126 | 24/6/2019 | 24 | 772911 | 1248806 | suelo (regolitos) |
| 127 | 26/6/2019 | 1 | 765996 | 1242860 | Suelo y rodados basálticos |
| 128 | 26/6/2019 | 2 | 765805 | 1242712 | Suelo |
| 129 | 26/6/2019 | 3 | 765498 | 1242643 | Basalto y suelo. |
| 130 | 26/6/2019 | 4 | 765394 | 1242415 | Bloques de basalto |
| 131 | 26/6/2019 | 5 | 765166 | 1242005 | Suelo limo arcilloso |
| 132 | 26/6/2019 | 6 | 764923 | 1241773 | Suelo; Y rodados de basalto. |
| 133 | 26/6/2019 | 7 | 764767 | 1241451 | Suelo oscuro tipo toba |
| 134 | 26/6/2019 | 8 | 764668 | 1241287 | Bloques Andesita – basalto |
| 135 | 26/6/2019 | 9 | 764578 | 1241096 | Suelo. |
| 136 | 26/6/2019 | 10 | 764463 | 1240852 | Bloques angulosos de Basalto |
| 137 | 26/6/2019 | 11 | 764441 | 1240343 | Suelo vegetal |
| 138 | 26/6/2019 | 12 | 764390 | 1240210 | Suelo |
| 139 | 26/6/2019 | 13 | 764201 | 1239921 | Suelo y Rastras artesanales |
| 140 | 26/6/2019 | 14 | 764116 | 1239810 | Suelo |
| 141 | 26/6/2019 | 15 | 764037 | 1239632 | Suelo; bolones basálticos |
| 142 | 26/6/2019 | 16 | 764100 | 1239483 | Suelo; bolones basálticos |
| 143 | 26/6/2019 | 17 | 764270 | 1239207 | Basalto |
| 144 | 26/6/2019 | 18 | 764581 | 1238940 | Suelo limoso café oscuro |
| 145 | 26/6/2019 | 19 | 764822 | 1238663 | Suelo |
| 146 | 26/6/2019 | 20 | 764897 | 1238568 | Suelo |
| 147 | 26/6/2019 | 21 | 765075 | 1238430 | Suelo café oscuro |
| 148 | 26/6/2019 | 22 | 765174 | 1238387 | Rio; Suelo café oscuro |
| 149 | 26/6/2019 | 23 | 765465 | 1238290 | Saprolito |

| | | | | | |
|------------|-----------|----|--------|---------|---|
| 150 | 26/6/2019 | 24 | 765566 | 1238347 | Suelo y Flujo Basáltico |
| 150 | 26/6/2019 | 25 | 765845 | 1238271 | Suelo oscuro limo arenoso |
| 152 | 26/6/2019 | 26 | 766172 | 1238054 | Suelo |
| 153 | 26/6/2019 | 27 | 766314 | 1237764 | Suelo oscuro |
| 154 | 26/6/2019 | 28 | 766366 | 1237615 | Suelo limo arenoso. |
| 155 | 26/6/2019 | 29 | 766713 | 1237221 | Suelo oscuro limo arenoso |
| 156 | 26/6/2019 | 30 | 767088 | 1236974 | Suelo y bolones de basalto |
| 157 | 26/6/2019 | 31 | 767072 | 1236734 | Suelo y bolones de basalto |
| 158 | 26/6/2019 | 32 | 767024 | 1236373 | Suelo y bolones de basalto |
| 159 | 26/6/2019 | 33 | 766963 | 1236233 | Suelo oscuro limo |
| 160 | 26/6/2019 | 34 | 766886 | 1236001 | Suelo arcilloso rojizo y bolones de basalto |
| 161 | 26/6/2019 | 35 | 766830 | 1235863 | Basalto |
| 162 | 26/6/2019 | 36 | 766758 | 1235621 | Suelo |
| 163 | 27/6/2019 | 1 | 763822 | 1239755 | Suelo) |
| 164 | 27/6/2019 | 2 | 763496 | 1239679 | Suelo y rodados de andesita |
| 165 | 27/6/2019 | 3 | 763433 | 1239369 | Suelo y rodados de andesita |
| 166 | 27/6/2019 | 4 | 763302 | 1239269 | Suelo |
| 167 | 27/6/2019 | 5 | 763178 | 1239257 | Suelo |
| 168 | 27/6/2019 | 6 | 763016 | 1239101 | Suelo |
| 169 | 27/6/2019 | 7 | 762732 | 1239054 | Suelo. |
| 170 | 27/6/2019 | 9 | 762303 | 1239150 | Suelo |
| 171 | 27/6/2019 | 10 | 762153 | 1239134 | Suelo |
| 172 | 27/6/2019 | 11 | 762072 | 1239140 | Andesita |
| 173 | 27/6/2019 | 12 | 762036 | 1239047 | Andesita |
| 174 | 27/6/2019 | 13 | 761881 | 1238985 | Andesita |
| 175 | 27/6/2019 | 14 | 761731 | 1238861 | Andesita |
| 176 | 27/6/2019 | 15 | 761630 | 1238700 | Roca muy descompuesta pasando a suelo (Saprolito) |
| 177 | 27/6/2019 | 16 | 761433 | 1238524 | Roca descompuesta pasando a suelo tobáceo (Saprolito) |
| 178 | 27/6/2019 | 17 | 761050 | 1238563 | Roca muy descompuesta pasando a suelo tobáceo (Saprolito) |
| 179 | 27/6/2019 | 18 | 760730 | 1238600 | Roca muy descompuesta (Saprolito) |

| | | | | | |
|------------|-----------|----|--------|---------|---|
| 180 | 27/6/2019 | 19 | 760584 | 1238609 | Suelo café oscuro |
| 181 | 27/6/2019 | 20 | 760455 | 1239212 | Suelo limo arcilloso café oscuro |
| 182 | 28/6/2019 | 1 | 760520 | 1238855 | Suelo limo arenoso café oscuro |
| 183 | 28/6/2019 | 2 | 760260 | 1239561 | Suelo limo arenoso café oscuro; tobáceo |
| 184 | 28/6/2019 | 3 | 760153 | 1239627 | Suelo. |
| 185 | 28/6/2019 | 4 | 760130 | 1239827 | Suelo; Bloques Basálticos-Andesíticos. |
| 186 | 28/6/2019 | 5 | 760137 | 1239827 | Suelo. Bloques Basálticos-Andesíticos |
| 187 | 28/6/2019 | 6 | 760140 | 1240124 | Andesita-Basalto. |
| 188 | 28/6/2019 | 7 | 760095 | 1240199 | Bolones de Andesita |
| 189 | 28/6/2019 | 8 | 760110 | 1240296 | Bolones de Andesita |
| 190 | 28/6/2019 | 9 | 760105 | 1240272 | Bolones de Andesita |
| 191 | 28/6/2019 | 10 | 760160 | 1240594 | Andesita. |
| 192 | 28/6/2019 | 11 | 760118 | 1240920 | Suelo |
| 193 | 28/6/2019 | 12 | 760160 | 1241273 | Suelo |
| 194 | 28/6/2019 | 13 | 760241 | 1241429 | Suelo |
| 195 | 28/6/2019 | 14 | 760395 | 1241703 | Suelo |
| 196 | 28/6/2019 | 15 | 760540 | 1242020 | Suelo |
| 197 | 28/6/2019 | 16 | 760750 | 1242598 | Suelo |
| 198 | 28/6/2019 | 17 | 760782 | 1243008 | Suelo |
| 199 | 28/6/2019 | 18 | 760784 | 1243173 | Suelo tobáceo. |
| 200 | 29/6/2019 | 1 | 766528 | 1244033 | Suelo café oscuro |
| 201 | 29/6/2019 | 2 | 766665 | 1244302 | Suelo café oscuro |
| 202 | 29/6/2019 | 3 | 766829 | 1244429 | Suelo limo arcilloso y rodados basálticos |
| 203 | 29/6/2019 | 4 | 766701 | 1244524 | Afloramiento de basalto |
| 204 | 29/6/2019 | 5 | 766634 | 1244722 | Suelo |
| 205 | 29/6/2019 | 6 | 766495 | 1244849 | Suelo y Flujo Basáltico |
| 206 | 30/6/2019 | 1 | 766526 | 1243794 | Suelo |
| 207 | 30/6/2019 | 2 | 766520 | 1245506 | Basalto |
| 208 | 30/6/2019 | 3 | 766477 | 1245502 | Suelo |
| 209 | 30/6/2019 | 4 | 766315 | 1245772 | Suelo |
| 210 | 30/6/2019 | 5 | 766189 | 1245991 | Suelo |
| 211 | 30/6/2019 | 6 | 766066 | 1245973 | Suelo |
| 212 | 30/6/2019 | 7 | 766160 | 1246100 | Suelo. |
| 213 | 30/6/2019 | 8 | 766193 | 1246410 | Suelo limo arenoso. Lineamiento |
| 214 | 30/6/2019 | 9 | 766090 | 1246826 | Suelo limo arcilloso |
| 215 | 30/6/2019 | 10 | 766098 | 1247150 | Suelo limo arcilloso |
| 216 | 30/6/2019 | 11 | 766150 | 1247273 | Suelo limo arcilloso |

| | | | | | |
|------------|-----------|----|--------|---------|-----------------------------|
| 217 | 30/6/2019 | 12 | 766350 | 1247566 | Basalto |
| 218 | 30/6/2019 | 13 | 766443 | 1247737 | Basalto |
| 219 | 30/6/2019 | 14 | 766578 | 1248075 | Suelo. |
| 220 | 30/6/2019 | 15 | 766560 | 1248424 | Basalto |
| 221 | 30/6/2019 | 16 | 766555 | 1248462 | Suelo. |
| 222 | 30/6/2019 | 17 | 766472 | 1248687 | Suelo |
| 223 | 30/6/2019 | 18 | 766572 | 1248858 | Basalto |
| 224 | 30/6/2019 | 19 | 766795 | 1249179 | Basalto. |
| 225 | 30/6/2019 | 20 | 767126 | 1249392 | Suelo café oscuro |
| 226 | 30/6/2019 | 21 | 767452 | 1249052 | Suelo; Río con meandros |
| 227 | 30/6/2019 | 22 | 767285 | 1249194 | Basalto. |
| 228 | 30/6/2019 | 23 | 767062 | 1249518 | Suelo oscuro |
| 229 | 30/6/2019 | 24 | 766832 | 1249905 | Suelo café claro |
| 230 | 30/6/2019 | 25 | 766966 | 1250215 | Andesita |
| 231 | 30/6/2019 | 26 | 767067 | 1250267 | Suelo álmo arenoso |
| 232 | 30/6/2019 | 27 | 767180 | 1250511 | Basalto |
| 233 | 30/6/2019 | 28 | 767371 | 1250652 | Basalto |
| 234 | 1/7/2019 | 1 | 765966 | 1243348 | Suelo café oscuro |
| 235 | 1/7/2019 | 2 | 765896 | 1243494 | Suelo café oscuro |
| 236 | 1/7/2019 | 3 | 765850 | 1243581 | Colada Basalto |
| 237 | 1/7/2019 | 4 | 765771 | 1243596 | Colada Basalto |
| 238 | 1/7/2019 | 5 | 765664 | 1243733 | Suelo. |
| 239 | 1/7/2019 | 6 | 765587 | 1243857 | Bolones de andesitas. |
| 240 | 1/7/2019 | 7 | 765530 | 1243808 | Bolones andesitas |
| 241 | 1/7/2019 | 8 | 765493 | 1243808 | Bloques de andesitas |
| 242 | 1/7/2019 | 9 | 765371 | 1243813 | Bloques de andesitas |
| 243 | 1/7/2019 | 10 | 765242 | 1243922 | Bloques de andesitas. |
| 244 | 1/7/2019 | 11 | 765134 | 1243919 | Bloques de andesita. |
| 245 | 1/7/2019 | 12 | 765068 | 1243917 | Suelo |
| 246 | 1/7/2019 | 13 | 765027 | 1243929 | Bloques de andesitas. |
| 247 | 1/7/2019 | 14 | 760339 | 1238547 | Bolones Basálticos |
| 248 | 1/7/2019 | 15 | 759926 | 1237951 | Suelo y rodado de andesita |
| 249 | 1/7/2019 | 16 | 760024 | 1238011 | Bolones Basálticos |
| 250 | 5/11/2019 | 1 | 745627 | 1253806 | Bolones de Andesita Basalto |
| 251 | 5/11/2019 | 2 | 746443 | 1252888 | Suelo |
| 252 | 5/11/2019 | 3 | 746160 | 1253151 | Roca Basalto andesita |
| 253 | 5/11/2019 | 4 | 745917 | 1252116 | Suelo y andesita |
| 254 | 5/11/2019 | 5 | 747511 | 1251962 | Suelo y pasto |
| 255 | 5/11/2019 | 6 | 747990 | 1251932 | Andesita basalto |
| 256 | 5/11/2019 | 7 | 748923 | 1252507 | Suelo (Saprolito) |

| | | | | | |
|------------|-----------|----|--------|---------|--|
| 257 | 5/11/2019 | 8 | 749745 | 1252888 | Suelo |
| 258 | 5/11/2019 | 9 | 749828 | 1252933 | Andesita Basálticos |
| 259 | 5/11/2019 | 10 | 750015 | 1252676 | andesita |
| 260 | 5/11/2019 | 11 | 750101 | 1252712 | andesita, basáltico |
| 261 | 5/11/2019 | 12 | 750602 | 1253210 | Andesita basalto |
| 262 | 5/11/2019 | 13 | 750254 | 1253138 | roca Andesita Basáltica |
| 263 | 5/11/2019 | 14 | 749374 | 1253050 | Se aprecia un lineamiento asociado a falla miento |
| 264 | 6/11/2019 | 1 | 748650 | 1250932 | Suelo |
| 265 | 6/11/2019 | 2 | 748134 | 1249743 | Suelo vegetal |
| 266 | 6/11/2019 | 3 | 748450 | 1249047 | Suelo, lineamiento |
| 267 | 6/11/2019 | 4 | 748653 | 1248743 | Suelo y flujo Basáltico Andesita |
| 268 | 6/11/2019 | 5 | 749052 | 1248610 | Suelo y flujo Basáltico Andesita |
| 269 | 6/11/2019 | 6 | 749989 | 1248891 | Suelo y Lineamiento |
| 270 | 6/11/2019 | 7 | 750767 | 1249131 | Bolones meteorizados de basalto andesíticos. |
| 271 | 6/11/2019 | 8 | 750855 | 1249470 | Flujo Basáltico |
| 272 | 6/11/2019 | 9 | 751152 | 1250230 | Suelo y lineamiento |
| 273 | 6/11/2019 | 10 | 751676 | 1250702 | Flujo Basáltico |
| 273 | 6/11/2019 | 10 | 751676 | 1250702 | Flujo Basáltico |
| 274 | 6/11/2019 | 11 | 752540 | 1252287 | flujo basáltico |
| 275 | 6/11/2019 | 12 | 752857 | 1252709 | flujos basálticos |
| 276 | 6/11/2019 | 13 | 753017 | 1252880 | Flujo Basáltico |
| 277 | 6/11/2019 | 14 | 753060 | 1252988 | Flujo basáltico |
| 278 | 6/11/2019 | 15 | 752569 | 1253110 | Flujo basáltico |
| 279 | 7/11/2019 | 16 | 749469 | 1247680 | Flujo Basáltico |
| 280 | 6/11/2019 | 17 | 749485 | 1246886 | Flujo Basáltico |
| 281 | 6/11/2019 | 18 | 750040 | 1245441 | Suelo y flujo Basáltico |
| 282 | 7/11/2019 | 1 | 750016 | 1240847 | Suelo |
| 283 | 7/11/2019 | 2 | 750125 | 1240367 | Flujo Basáltico |
| 284 | 7/11/2019 | 3 | 749200 | 1240300 | Suelo; lineamiento |
| 285 | 7/11/2019 | 4 | 748274 | 1240246 | Flujo basáltico |
| 286 | 7/11/2019 | 5 | 746966 | 1238812 | Suelo y lineamiento de falla |
| 287 | 7/11/2019 | 6 | 746932 | 1239290 | Bolones andesíticos, suelo limo arcilloso |
| 288 | 7/11/2019 | 7 | 747478 | 1237715 | Suelo limo arcilloso y Bolones basalto andesíticos |
| 289 | 7/11/2019 | 8 | 746471 | 1235937 | Suelo rojizo. |
| 290 | 7/11/2019 | 9 | 746832 | 1236142 | Suelo rojizo, tipo toba, Aglomerado de basalto |

| | | | | | |
|------------|------------|----|--------|---------|--|
| 291 | 7/11/2019 | 10 | 747813 | 1236085 | basalto |
| 292 | 7/11/2019 | 11 | 751993 | 1241632 | Suelo con maleza |
| 293 | 7/11/2019 | 12 | 752130 | 1241355 | Flujo basáltico |
| 294 | 7/11/2019 | 13 | 752825 | 1239863 | Flujo basáltico |
| 295 | 7/11/2019 | 14 | 753306 | 1238794 | Flujo basáltico y Bolones del mismo tipo. |
| 296 | 7/11/2019 | 15 | 753489 | 1238589 | Flujo basáltico y. |
| 297 | 7/11/2019 | 16 | 753717 | 1236274 | Suelo tobáceo |
| 298 | 7/11/2019 | 17 | 746529 | 1239714 | Roca andesita. |
| 299 | 7/11/2019 | 18 | 747129 | 1241219 | Suelo limo arcilloso café oscuro |
| 300 | 7/11/2019 | 19 | 746128 | 1242552 | Suelo limoso |
| 301 | 8/11/2019 | 1 | 753216 | 1239689 | Roca Basalto andesítica |
| 302 | 8/11/2019 | 2 | 754585 | 1239629 | Basalto – Andesíticos. |
| 303 | 8/11/2019 | 3 | 754810 | 1239602 | Afloramiento de Aglomerado o flujo basáltico |
| 304 | 8/11/2019 | 4 | 755152 | 1239743 | Flujo basáltico |
| 305 | 8/11/2019 | 5 | 755157 | 1239850 | Suelo vegetal y rodados de roca |
| 306 | 8/11/2019 | 6 | 753728 | 1236264 | Suelo rojizo |
| 307 | 8/11/2019 | 7 | 752736 | 1242296 | Suelo con bolones de basalto andesíticos |
| 308 | 8/11/2019 | 8 | 753633 | 1242005 | Suelo, aglomerado o flujo basáltico |
| 309 | 8/11/2019 | 9 | 714525 | 1241887 | Bloques Andesita – basalto |
| 310 | 8/11/2019 | 10 | 755097 | 1241723 | Bolones de Basalto andesita |
| 311 | 8/11/2019 | 11 | 756062 | 1241119 | Roca muy meteorizada pasando a suelo (regolitos) |
| 312 | 8/11/2019 | 12 | 756194 | 1241165 | Afloramiento de bloques basálticos. |
| 313 | 8/11/2019 | 13 | 756582 | 1241532 | Suelo limo arcilloso y Flujo basáltico |
| 314 | 8/11/2019 | 14 | 756895 | 1241851 | Suelo y bloques de roca muy meteorizados. |
| 315 | 9/11/2019 | 1 | 749371 | 1244541 | Roca andesita o basalto. |
| 316 | 9/11/2019 | 2 | 749023 | 1244513 | Suelo |
| 317 | 9/11/2019 | 3 | 748671 | 1244819 | Suelo |
| 318 | 9/11/2019 | 4 | 748118 | 1243838 | Suelo y rodados de andesita |
| 319 | 10/11/2019 | 1 | 772534 | 1248457 | Bolones andesíticos |

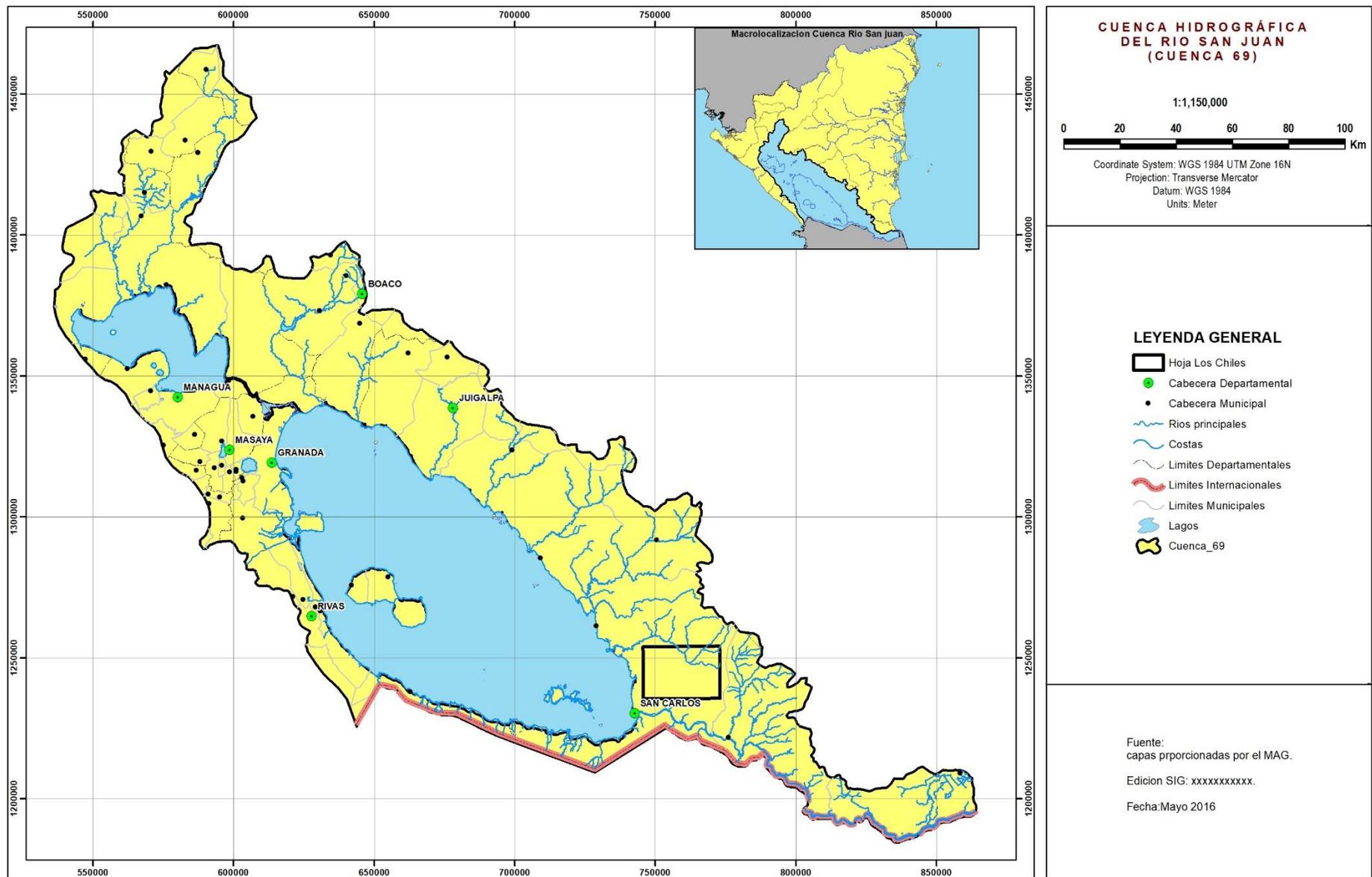
| | | | | | |
|------------|-----------------|------------------------------|--------|---------|---|
| 320 | 10/11/2019 | 2 | 772696 | 1248022 | Suelo y, flujo basáltico |
| 321 | 10/11/2019 | 3 | 772067 | 1246474 | Suelo limo arcilloso y ... |
| 322 | 2015/05/69/ELG | 1 | 776540 | 1221896 | Andesita-Basalto |
| 323 | 2016/07/116/NVR | 2 | 742745 | 1230800 | Suelo, Basalto masivo |
| 324 | 2016/07/107/GAT | 3 | 765989 | 1243060 | Capa de suelo arcilloso, |
| 325 | 2018/12/147/FEM | 4 | 742992 | 1230554 | Suelo |
| 326 | 2019/03/25/AMG | 5 | 752069 | 1242045 | Suelo; Flujo basáltico |
| 327 | 2019/04/28/MGR | 6 | 765278 | 1242489 | Suelo; Saprolito, suelo tipo toba. (Tmcd) |
| 328 | 2015/11/171/EAM | 7 | 763715 | 1240445 | Suelo; Andesita, color gris, Qz (Tmca) |
| 329 | 84 | Los Chiles – Cerro El Bejuco | 750854 | 1252242 | Lavas andesíticas – dacítica andesítica |
| 330 | 85 | Los Chiles – México | 753213 | 1251292 | Lavas andesíticas – dacítica andesítica |
| 331 | 86 | Los Chiles – La Cruz Verde | 753755 | 1249074 | Lavas andesíticas |
| 332 | 87 | Los Chiles – Ojo de agua | 748000 | 1247000 | Lavas andesíticas |

| PUNTO | ESTE | NORTE | RUMBO | AZIMUT |
|--------------|-------------|--------------|--------------|---------------|
| 1 | 771188 | 1240206 | N45E | 45 |
| 2 | 772795 | 1237591 | N80E | 80 |
| 3 | 772671 | 1239820 | N11W | 349 |
| 4 | 769915 | 1243550 | N43E | 43 |
| 5 | 771536 | 1243490 | N78W | 282 |
| 6 | 770563 | 1244460 | N35E | 35 |
| 7 | 747990 | 1251932 | S51W | 231 |
| 8 | 753017 | 1252881 | N15E | 15 |
| 9 | 746832 | 1236142 | N21E | 21 |
| 10 | 747813 | 1236085 | N38E | 38 |
| 11 | 753489 | 1238589 | N53W | 307 |
| 12 | 753216 | 1239689 | N33W | 327 |
| 13 | 753633 | 1242005 | N85E | 85 |
| 14 | 749371 | 1244541 | N39E | 39 |
| 15 | 766225 | 1242051 | N10W | 350 |
| 16 | 768587 | 1242413 | N40W | 320 |
| 17 | 768529 | 1242390 | N25E | 25 |
| 18 | 772277 | 1238848 | N40E | 40 |
| 19 | 772795 | 1237591 | N80E | 80 |
| 20 | 746832 | 1236142 | N17E | 17 |
| 21 | 760120 | 1252101 | N29E | 29 |
| 22 | 746601 | 1252978 | N43E | 43 |
| 23 | 748963 | 1253473 | N35E | 35 |
| 24 | 772277 | 1236445 | N60E | 60 |
| 25 | 772087 | 1236788 | N55W | 305 |
| 26 | 772315 | 1243378 | N40E | 40 |
| 27 | 771211 | 1253587 | N22W | 338 |
| 28 | 773039 | 1253343 | N42W | 318 |
| 29 | 771020 | 1241511 | N21W | 339 |
| 30 | 770563 | 1236826 | N20W | 340 |
| 31 | 750411 | 1243187 | N34E | 34 |
| 32 | 753870 | 1253511 | N68E | 68 |
| 33 | 773064 | 1253384 | N62E | 62 |
| 34 | 773106 | 1247978 | N65E | 65 |
| 35 | 750170 | 1253401 | N29W | 331 |
| 36 | 771332 | 1251839 | N22E | 22 |
| 37 | 747594 | 1243560 | N56E | 56 |
| 38 | 748143 | 1238196 | N58E | 58 |
| 39 | 750424 | 1239463 | N12E | 12 |
| 40 | 761321 | 1235619 | N30E | 30 |
| 41 | 754774 | 1245714 | N26E | 26 |

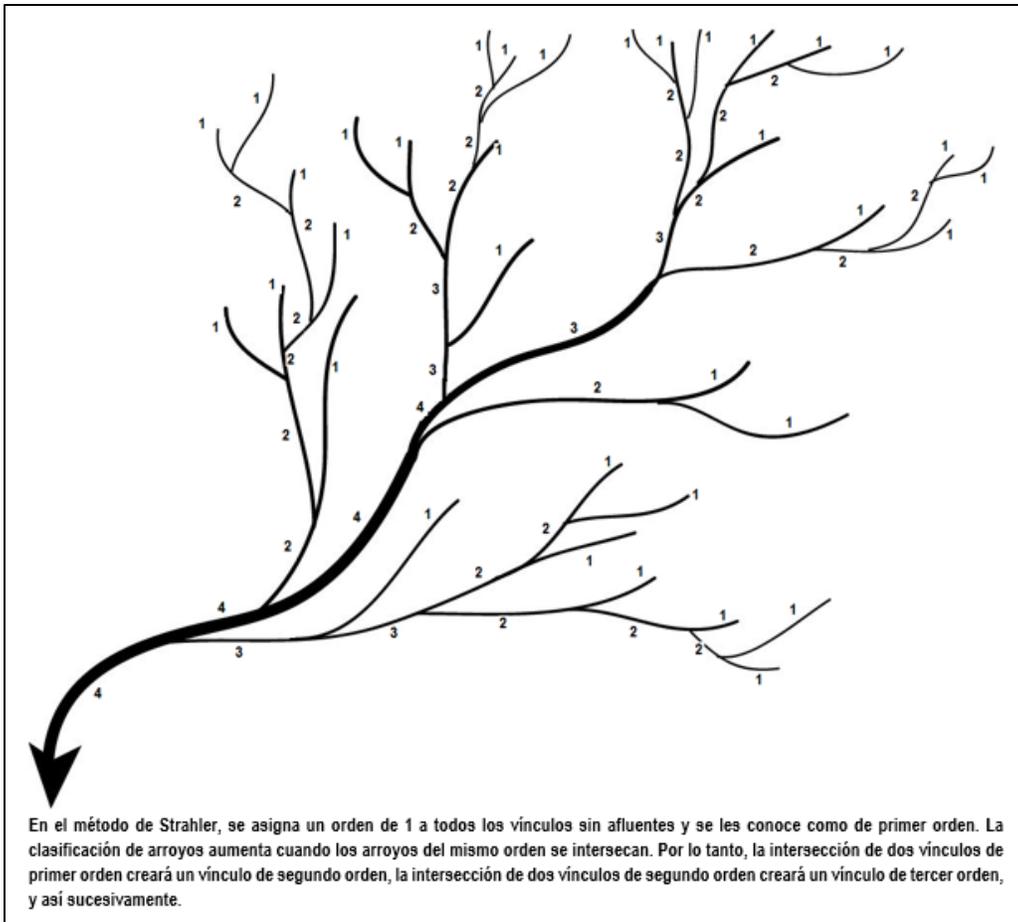
| | | | | |
|-----------|--------|---------|------|-----|
| 42 | 750297 | 1243180 | N18E | 18 |
| 43 | 768713 | 1236633 | N10W | 350 |
| 44 | 765334 | 1247192 | N80E | 80 |
| 45 | 755873 | 1247910 | N23E | 23 |
| 46 | 762715 | 1242268 | N89E | 89 |
| 47 | 765334 | 1244447 | N80E | 80 |
| 48 | 767784 | 1242419 | N15E | 15 |
| 49 | 764278 | 1254373 | N25E | 25 |
| 50 | 764025 | 1252895 | N30E | 30 |
| 51 | 765081 | 1252937 | N35E | 35 |
| 52 | 766052 | 1252979 | N27E | 27 |
| 53 | 767868 | 1253486 | N12E | 12 |
| 54 | 770149 | 1254077 | N20W | 340 |
| 55 | 763856 | 1248628 | N85E | 85 |
| 56 | 773570 | 1252683 | N15E | 15 |
| 57 | 770783 | 1249389 | N35E | 35 |
| 58 | 770318 | 1251416 | N22E | 22 |
| 59 | 768966 | 1247699 | N15W | 345 |
| 60 | 772895 | 1249980 | N78E | 78 |
| 61 | 769558 | 1247572 | N50E | 50 |
| 62 | 779769 | 1243644 | N70E | 70 |
| 63 | 774246 | 1250698 | N12E | 12 |
| 64 | 771754 | 1243644 | N15W | 345 |
| 65 | 772388 | 1241701 | N36E | 36 |
| 66 | 770909 | 1241490 | N18W | 342 |
| 67 | 775883 | 1239927 | N25E | 25 |
| 68 | 771913 | 1239716 | N87E | 87 |
| 69 | 775123 | 1239589 | N22E | 22 |
| 70 | 771036 | 1240265 | S10W | 190 |
| 71 | 772346 | 1239927 | N35E | 35 |
| 72 | 772852 | 1239420 | N42E | 42 |
| 73 | 768248 | 1236422 | S10W | 190 |
| 74 | 768037 | 1297097 | N7E | 7 |
| 75 | 768924 | 1236675 | N28E | 28 |
| 76 | 770487 | 1236928 | N15E | 15 |
| 77 | 770740 | 1236464 | S10E | 170 |
| 78 | 760814 | 1235281 | N26E | 26 |
| 79 | 771036 | 1240392 | N43E | 43 |
| 80 | 767150 | 1255049 | N50E | 50 |
| 81 | 771881 | 1248840 | N46E | 46 |
| 82 | 747087 | 1238491 | N70W | 290 |

| | | | | |
|------------|--------|---------|------|-----|
| 83 | 747298 | 1239378 | N25E | 25 |
| 84 | 761026 | 1232662 | N38E | 38 |
| 85 | 753338 | 1249727 | N64W | 296 |
| 86 | 754690 | 1247953 | N55W | 305 |
| 87 | 758618 | 1244785 | N40W | 320 |
| 88 | 749663 | 1244109 | N85E | 85 |
| 89 | 750213 | 1242673 | N28E | 28 |
| 90 | 749283 | 1242884 | N12E | 12 |
| 91 | 747045 | 1244616 | S15W | 195 |
| 92 | 747383 | 1245798 | N30E | 30 |
| 93 | 746833 | 1245629 | S38W | 218 |
| 94 | 747974 | 1246601 | N42E | 42 |
| 95 | 746833 | 1246094 | S75W | 255 |
| 96 | 646791 | 1247319 | N85E | 85 |
| 97 | 770276 | 1236506 | S35E | 145 |
| 98 | 772683 | 1249769 | S80W | 260 |
| 99 | 772683 | 1249769 | N70E | 70 |
| 100 | 761617 | 1235746 | N20E | 20 |

Anexo 18. Tabla de datos procesados para obtener el diagrama de diaclasa.



Anexo 19. Cuenca hidrográfica del Río San Juan (Cuenca 69).



Anexo 20. Método de Strahler (Tarboton, D. G., R. L. Bras, e I. Rodríguez-Iturbe. 1991).



Anexo 21. Mapa del drenaje total de la cuenca 69 ((INETER – DGRH, 2016)).

