



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
NICARAGUA,  
MANAGUA  
UNAN - MANAGUA

**RECINTO UNIVERSITARIO RUBEN DARIO  
FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERA.  
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA.  
INGENIERA GEOLÓGICA**

SEMINARIO DE GRADUACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO  
GEÓLOGO

**ACTUALIZACION DE CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DEL CUADRÁNGULO  
NW DE LA HOJA TOPOGRÁFICA DE EL TRÁNSITO ESCALA 1: 25 000**

ELABORADO POR:

**Br. Darwing Josué Reyes Morales**

**Br. Raciél José Paz López**

**Tutora: Msc. Gema Velásquez**

**Managua, julio, 2017**

## DEDICATORIA

*Este trabajo se lo dedicamos a **Dios**, quien nos dirigió por el buen camino, dándonos fortaleza para seguir adelante y no desampararnos en los problemas que se nos presentaron.*

*A nuestras familias, por el apoyo que nos ha brindado, ya que gracias a ellos somos personas con valores éticos y morales.*

*A nuestros padres, **Calixto Reyes y Ruth Morales e Isidro Paz y María José López**. Por sus consejos, su comprensión, el amor que nos brindan y el apoyo emocional y económico con los recursos necesarios para estudiar. Ellos nos han enseñado con su ejemplo a ser lo que somos como personas dotadas de valores, empeño, perseverancia, carácter e ímpetu para lograr nuestros objetivos en la vida.*

*A nuestros hermanos, **Gerson Guillermo Reyes Morales, Calixto José Reyes Morales, Holwing Román Reyes Morales, María Cristina Paz López, Concepción de María Paz López, Karla Mercedes Paz López**, por estar siempre presente en esta travesía hacia el futuro como profesional.*

*Departamento de **Raciel Paz López** quiero dedicarlo a mis hijas **Valentina Paz García y María Victoria Paz Gracia** que son mi gran tesoro que Dios me ha dado en la vida el motor de mi vida para salir adelante ellas que han estado conmigo en estos momentos de alegría y a mi esposa **Patricia Isabel García Jiménez** por ser parte fundamental en mi vida.*

*Departamento de **Darwing Reyes** a **Susan Marcela Díaz Cruz** quien es un ejemplo profesional, que ha luchado a mi lado para lograr metas y sueños. Agradezco tu apoyo incondicional, perseverancia y motivación.*

## AGRADECIMIENTO

*Agradecemos sobre todo primero a Dios.*

*A nuestras familias; nuestras **madres, padres, nuestros hermanos, hermanas y de más familiares** que nos ofrecieron su apoyo incondicional, comprensión durante el desarrollo de nuestra carrera y por habernos dado las herramientas para lograr las metas que nos hemos propuesto hasta el día de hoy.*

*Yo Darwing Reyes quiero agradecer personalmente a mi familia, a mis padres Ruth Morales y Calixto Reyes, por todo el esfuerzo y dedicación que han puesto desde lo profundo de su corazón para que sea un profesional, pero ante todo un hombre de bien. A Susan Marcela Díaz Cruz que me ha brindado su apoyo, consejos, ayudada constante en la culminación de mis estudios y por hacer de mi alguien mejor. Gracias. A Ninoska Cruz Rivera, por los consejos y gran apoyo. Gracias a cada uno que han aportado cosas valiosas en mi vida.*

*A nuestra tutora y profesora **Gema Velásquez**, por su enseñanza, orientación y dedicación a los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Geológica, su gran apoyo a lo largo de desarrollo de la carrera de Ingeniería geológica, formando profesionales en la materia. Con todo nuestro respeto y admiración.*

*Al profesor **Francisco Espinoza**, que con sus consejos nos ayudó a enriquecernos en este trabajo. Agradecemos todo su apoyo y la confianza que depósito en nosotros desde siempre.*

*A una persona especial al Ing. **Gustavo Altamirano Torres (q.e.p.d)** y la Consultora GATSA por la enseñanza, el tiempo que estuvo con nosotros en el ámbito profesional y personal.*

*Al Instituto de Geología y Geofísica (IGG-CIGEO/ UNAN-Managua) por brindarme los equipos y materiales necesarios para la realización de las secciones delgadas para este trabajo.*

*Un gran agradecimiento al profesor Lic. Ramón Cáceres que, con sus consejos y enseñanzas, ha aportado su grano de arena para formarnos como profesionales y ese lazo de amistad tan grande. Al profesor Mario Chávez (q.e.p.d), profesor Eddy Herrera, a la profesora Mayela por el tiempo dedicado en la lectura de las secciones delgadas y al amigo y compañero Luis Ponce por su acompañamiento en este trabajo y aprendizaje.*

*A todos nuestros profesores de toda la carrera de Ingeniería Geológica, por brindar su aporte y conocimientos durante nuestra formación profesional.*

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	7
<b>CAPÍTULO I</b> .....	8
<b>1.1 Introducción</b> .....	8
<b>1.2 Objetivos</b> .....	9
1.2.1 Objetivo general .....	9
1.2.2 Objetivos específicos .....	9
<b>1.3 Planteamiento del problema</b> .....	10
<b>1.4 Justificación</b> .....	10
<b>1.5 Localización</b> .....	11
1.5.1 Vías de Acceso .....	11
<b>1.6 Característica fisiográfica del municipio de Nagarote</b> .....	13
<b>1.7 Antecedentes</b> .....	14
<b>1.8 Diseño metodológico</b> .....	17
1.8.1 Tipo de estudio .....	18
1.8.2 Área de estudio .....	18
1.8.3 Población y Muestra .....	18
1.8.4 Métodos e instrumentos .....	19
1.8.5 Procesamiento .....	20
1.8.6 Interpretación Petrográfica .....	20
1.8.7 Análisis estructural .....	21
1.8.8 Elaboración de mapas e interpretación geológica .....	22
1.8.9 Elaboración de curvas y Columna estratigráfica .....	23
1.8.10 Informe Final .....	23
<b>CAPITULO II</b> .....	24
<b>2.1. Tectónica y geología regional de Centro América y Nicaragua</b> .....	24
<b>2.2 Geología regional de Nicaragua</b> .....	27
<b>2.3 Geomorfología regional</b> .....	34
<b>CAPITULO III</b> .....	37
<b>a. Geología local</b> .....	37
3.1.1 Unidades litológicas .....	37

3.1.2 Fósiles .....	54
3.1.3 Geomorfología local .....	56
3.1.4 Geología estructural .....	60
3.3.1.4 Fallas Geológicas.....	65
<b>Conclusiones y Recomendaciones</b> .....	71
<b>Conclusiones</b> .....	71
<b>Recomendaciones</b> .....	72
<b>Bibliografía</b> .....	73
<b>Anexos</b> .....	76
Tabla N°1. Afloramientos observados en campo.	
Tabla N°2. Fracturas representativas observadas en el área de estudio.	
Tabla N°3. Datos para elaboración de roseta de fractura NE	
Tabla N°3. Datos para elaboración de roseta de fractura NW	
Tabla N°3. Datos para elaboración de roseta de fractura NE – NW	

Mapa de Muestreo

### Lista de Figuras

1. Mapa de Ubicación	12
2. Marco Geotectónico de América Central	26
3. Sección Geotransversal SW-NE de las Placas Tectónicas	27
4. Mapa Geológico de la Cuenca Sandino	29
5. Mapa Fisiográfico de Las Provincias de Nicaragua	36
6. Columna Geológica	52
7. Mapa Geoestructural del Área Estudiada	53
8. Mapa Geomorfológico	59
9. Rosetas de Fractura	69
10. Perfil geoestructural NE – SW del área de estudio	70

### **Lista de Imágenes**

1.	Instrumentos de campo	19
2.	Diagrama d roseta de fractura	21
3.	Procesamiento de datos y mapas	22
4.	Procesamiento de los datos	23

### **Lista de Fotografías**

1.	Uso de equipos	19
2.	Elaboraciones de secciones delgadas	20
3.	Suelo aluvial	38
4.	Aluviales	39
5.	Arenisca negra y Dique Negro	39
6.	Suelo Coluvial	40
7.	Unidad areniscas	42
8.	Arenisca en sección delgada	42
9.	Unidad de Lutitas	43
10.	Lutita en sección delgada	44
11.	Alteración por cloritización	44
12.	Afloramiento de areniscas y lutitas	45
13.	Unidad de limolitas intercaladas con areniscas	45
14.	Limolita en sección delgada	46
15.	Unidad de conglomerado	47
16.	Conglomerados Tmf y rodados Tmt	48
17.	Unidad de ignimbritas	49
18.	Ignimbrita en sección delgada	49
19.	Panorámica del intrusivo Dique Negro	50
20.	Intrusivo en sección delgada	51
21.	Muestra de mano del Intrusivo	51
22.	Fósiles de Turritelas en la formación El Fraile	54
23.	Madera fósil	55
24.	Unidad de colinas	57
25.	Unidad de mesetas	58
26.	Dique sedimentario plegado	62
27.	Dique sedimentario	62
28.	Fracturas conjugadas	63
29.	Fracturas	64
30.	Fracturas en afloramiento	64
31.	Rollos de flujos	65
32.	Falla normal en El Velero	66
33.	Falla normal y conjugada en Playa Hermosa	67

## RESUMEN

El presente estudio trata sobre la (caracterización) actualización cartográfica y geológica del cuadrángulo NW de la hoja topográfica de El Tránsito 2852-II. El sitio se ubica en el departamento de León, municipio de Nagarote, en un área de 35 Km<sup>2</sup>, en la parte Norte de la Provincia geológica de la costa del Pacífico, conformada por rocas sedimentarias y volcánicas.

El procedimiento que se llevó a cabo para esta investigación consistió en el levantamiento de campo a detalle de la estratigrafía, por medio de la toma de muestras para el análisis petrográfico a través de secciones delgadas. El levantamiento estructural se realizó mediante mediciones de rumbos y buzamientos de las capas y estratos presentes en el área de estudio.

El trabajo geológico de campo permitió identificar dos tipos de formaciones geológicas, de edad Terciarias, las cuales son: **Formación El Fraile** conformada por depósitos de intercalaciones de areniscas, lutitas, limolitas y conglomerados de origen sedimentario, en esta formación se encontraron fósiles para correlacionar su edad. **La Formación Tamarindo**; formada por un estrato de ignimbrita andesítica de origen volcánico. También se encontraron dos depósitos recientes del Cuaternario; suelo de depósito aluvial y suelo de depósito cólvial.

Geomorfológicamente, el área de estudio se subdividió en 3 unidades: unidad aluvial, unidad de mesetas y unidad de colinas, estas unidades fueron definidas según las representaciones topográficas, patrones de estructuras y drenajes que generan morfologías diferentes en los tipos de rocas.

En el análisis del levantamiento estructural, identificamos fallas, pliegues, diques sedimentarios, fracturas. El área de estudio se encuentra afectada por dos fases de deformación que definen el panorama estructural; estas corresponden a dos patrones de fallamiento NW-SE y NE-SW asociados a la zona de subducción de la placa Coco y Caribe. En conclusión, el análisis de las mediciones directas e indirectas nos permitió integrar los elementos geomorfológicos y estructurales en un mapa geológico del área de estudio, a escala 1: 25 000.

## CAPÍTULO I

### 1.1 Introducción

Nicaragua, desde el punto de vistas geológico se encuentra en una zona tectónica volcánica activa, sobre el basamento de la placa Caribe, quien forma un límite convergente con la placa Cocos, formando así lo se conoce como Fosa Mesoamericana, lo que permite un proceso geológico que conduce a la generación de sismos en abundancia y vulcanismo importante. Es a raíz de esto que en América Central hay tantos temblores y volcanes.

El presente estudio se enmarca en el territorio nicaragüense, en el departamento de León al Noroeste del municipio de Nagarote, cuenta con un área total de 35 km<sup>2</sup>. El objetivo fundamental es la actualización de la cartográfica del cuadrángulo Noroeste de la hoja topográfica de El Tránsito, para lo cual identificaremos inicialmente las unidades litológicas presentes en el sitio para realizar un análisis petrográfico en secciones delgadas, para verificar los tipos de rocas existente en el lugar. Además, determinaremos las fases de deformación que se encuentran en el sitio, así como los microfósiles para integrar estos hallazgos a través de un mapa geológico.

El estudio se basa en diversos trabajos realizados en mapas geológicos a escala regional 1:50 000, donde sólo se aprecian rasgos muy generales y aislados de las estructuras geológicas, del sitio de interés. Sin embargo, nuestro trabajo pretende una mejor apreciación de dichas estructuras, por la cual se trabajó con un mapa a escala 1: 25 000, para proporcionar una mejor interpretación estructural de la cinemática que afecta esta región.

En el estudio se procedió a realizar un muestro sistemático de las rocas, las cuales fueron analizadas con el método de secciones delgadas y levantamiento estructural, mediante mediciones de rumbo y buzamiento, lo que contempla principalmente la identificación y descripción de unidades litológicas y estructurales, así como fases de deformación.

## **1.2 Objetivos**

Aquí destacaremos los objetivos generales y específicos que pretendemos alcanzar con el desarrollo del tema de investigación.

### **1.2.1 Objetivo general**

Actualizar la cartografía geológica del cuadrángulo Noroeste de la hoja topográfica de El Tránsito. A escala 1: 25 000.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Identificar las unidades litológicas que se encuentran en el cuadrángulo Noroeste de la hoja topográfica de El Tránsito.
- Analizar la petrografía en secciones delgadas para las unidades litológicas presentes en el área de estudio.
- Realizar inventario de los macrofósiles que están en la región de interés.
- Analizar las estructuras geológicas para determinar las fases de deformación que están localizados en el sitio de estudio.
- Elaborar un mapa geoestructural del área de estudio a escala 1: 25 000

### **1.3 Planteamiento del problema**

La cartografía geológica de la Cuenca Sandino se ha realizado a escala regional, lo cual ha permitido tener una visión regional del área de estudio, pero dificulta la identificación de algunas estructuras geológicas que sólo pueden ser apreciadas mediante una escala detallada. Tampoco existen estudios estructurales a detalle, que permitan caracterizar las deformaciones en el sitio.

Este trabajo de investigación permite realizar el estudio geológico a escala 1:25,000, la cual logra una mejor visión del sitio, describe las estructuras geológicas, que no se encuentran plasmadas en los mapas geológicos vigentes.

### **1.4 Justificación**

El territorio de Nicaragua se encuentra dividido por cinco provincias geológicas las cuales han sido cartografiadas de manera general, para diferenciar su geología histórica, geomorfología, geología tectónica, estratigrafía, litología y geología económica. Nuestro trabajo se centra en el estudio en las caracterizaciones geológicas de la parte Noroeste de la hoja topográfica de El Tránsito, ubicada en el municipio de Nagarote.

Nos interesó el tema en cuestión porque la información existente de los estudios regionales de esta hoja topográfica data desde el año 1941 al 2007. En estos estudios no se aprecian las estructuras geológicas, tales como: fallas, plegamiento, fracturas, diques, etc.

Con el presente trabajo se obtendrá un mayor conocimiento geo-estructural de esta área, con mejor precisión según la recopilación de información levantada en el campo, la cual se encuentra plasmada en los estratos geológicos que evidencian los cambios tectónicos a los que se encuentra sometida esta región.

El resultado de este trabajo de investigación permitirá conocer más a detalle las condiciones geológicas de esta porción del municipio y tener una mejor interpretación de la geología, la cual se debe tener en cuenta para futuros planes de ordenamiento territorial, construcciones privadas, turísticas o institucionales.

## 1.5 Localización

El área de estudio se localiza a unos 70 km al Noroeste de la ciudad de Managua, en el departamento de León, municipio de Nagarote. Específicamente se ubica al Sur del Puerto Sandino y al Norte del populoso balneario de El Tránsito. La tabla que a continuación se presenta, muestra las coordenadas de los vértices que delimitan esta región.

**Tabla 1. Coordenadas de Vértices del Terreno**

Extremo	Coordenadas	
	Coordenadas N	Coordenadas E
NW	1343000	527000
NE	1343000	534000
SE	1337000	534000
SW	1337000	527000

### 1.5.1 Vías de Acceso

Las principales vías de acceso son: Viajando 52 km por la carretera viaja a León (NIC 12) hasta llegar al km 60, ahí se gira a la izquierda (Oeste) 7.8 km hasta el empalme de Puerto Sandino (NIC 52), después se gira a la izquierda (Sur) 7.5 km hasta llegar al pueblo La Gloria (carretera 52B), luego 1.5 km al Oeste hasta llegar a El Velero (**Figura 1**).



## **1.6 Característica fisiográfica del municipio de Nagarote**

Por su ubicación geográfica la municipalidad de Nagarote limita al norte con el municipio de La Paz Centro (municipio) y el lago de Managua; al Sur con Villa Carlos Fonseca Amador (municipio de Managua y vecino de Villa el Carmen); al Este con el municipio de Mateare del departamento de Managua y al Oeste con el océano Pacífico y León (municipio de Nagarote).

En términos geológicos, el municipio de Nagarote es un pueblo asentado en una llanura costera que limita al Oeste con el océano Pacífico y al Este con el Lago Xolotlán, se encuentra emplazado en el límite Oeste de la cordillera de los Maribios, al Noreste se ubican los volcanes Momotombo y Momotombito, al Sureste se ubica el escarpe de la falla Mateare y se encuentra emplazado en depósitos volcánicos recientes y formaciones geológicas de edad Terciarias.

### Topografía

Nagarote se ubica en el departamento de León a una altura de 77.69 metros sobre el nivel del mar. La temperatura es caliente y oscila en un promedio anual de 37.2 grados centígrados, en relación con su superficie total es de 598.38 Km<sup>2</sup> (Nagarote, 2009).

### Población

Se puede mencionar que la población de la ciudad de Nagarote asciende a cuarenta mil habitantes aproximadamente (40,000 hab). El municipio abarca 3 playas abiertas al público, las cuales son: El Tránsito, Playa de Miramar y playa Azul de Puerto Sandino (Nagarote, 2009).

## 1.7 Antecedentes

Existen muchos estudios geológicos realizados en la Región del Pacífico de Nicaragua. A continuación, describiremos algunos que se relacionan con nuestro tema de estudio y que nos han brindado insumo para la elaboración de este informe.

**Wilson T, C., (1941).** En el tema de estudio *Reconocimiento Geológico de la Zona Sur de León*, describe que la roca que conforma la estructura Dique Negro es una roca compuesta principalmente de plagioclasas cálcicas y piroxenos. Además, define la roca como Gabro.

**Willson, C y Faginger, A. (1942).** *Summary report, geology of the Pacific coast area.* Es el primer estudio realizado sobre las formaciones geológicas. Su conclusión describe los nombres de las formaciones geológicas de la región.

**Servicio Geológico Nacional., (1957).** Boletín No1. El Dr. Zoppis de Sena, elaboró un informe acerca de la arenisca ferrífera de la formación El Fraile en Puerto Somoza, hoy en día Puerto Sandino. En las playas de este puerto se encuentran estratos de areniscas silíceas que contienen gránulos de magnetita. La descomposición de estas areniscas efectuada por las aguas del mar dio lugar a la formación de arenas magnetíferas. A lo largo de la playa hasta Masachapa se encuentran bolsas de arenas enriquecidas con hierro. En esta zona se generó el primer mapa geológico del área de Puerto Somoza.

**Servicio Geológico Nacional., (1958).** El estudio, *Geología de la Costa del Pacífico de Nicaragua*, estuvo a cargo de los geólogos Zoppis, B. y Guidice, D., ellos describen dos formaciones geológicas del pacífico de Nicaragua, las cuales son: areniscas de la formación El Fraile y las tobas de la formación El Tamarindo.

Este estudio confirma la edad de la formación El Fraile y formación El Tamarindo y ubican estratigráficamente a las formaciones en el Mioceno bajo la formación El Salto y sobre la formación Masachapa.

El tema de investigación ***Geología de la Costa del Pacífico de Nicaragua***, describe las rocas ígneas a lo largo del pacífico y ubica en la formación El Fraile el dique basáltico a lo largo de la playa el Tamarindo llamado Dique Negro, la roca que lo compone presenta una textura porfídica hipocristalina, con fenocristales listiformes bien desarrollados de plagioclasa labradorítica y describen fluidos lávicos de Apompua dentro de la formación El Tamarindo.

**Kuang, J., (1971). *Estudio Geológico del Pacífico de Nicaragua, división de la geología***, realiza una de las primeras investigaciones sobre el Estudio Geológico del Pacífico de Nicaragua, que tuvo como propósito proporcionar información básica de los estudios geológicos, hidrogeológicos, de exploración minera, petrolera y geotécnica. En esta investigación se definen las formaciones del Pacífico de Nicaragua y las estructuras tectónicas semiregionales.

**Hodgson, G., (1971). *Geología y Anotaciones Mineralógicas de la Planicie Noroeste y de la Precordillera Occidental***. En la conclusión de este informe se describen las rocas de las formaciones geológicas que predominan en esta área de Nicaragua.

**Catastro e Inventario de Recursos Naturales., (1972)**. En este documento se encuentra publicado el mapa geológico de El Tránsito, hoja topográfica 2852-2 a escala 1: 50,000. Aquí se definen las unidades litológicas aflorantes en el área, cuyas edades Terciario y Cuaternario, según dataciones radiométricas.

**Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales, (1988)** realizó un mapa topográfico de El Tránsito, Hoja 2852–II, a escala 1: 50 000. La hoja refleja las curvas de nivel y vías de acceso al área de estudio.

**VNIIZARUBEZHGEOLOGIA e INMINE., (1990)**. El Mapa Cosmogeológico de la República de Nicaragua, a escala 1:500 000, es el resultado de los trabajos de síntesis científica de la primera etapa del programa como compilación de los mapas mineros, geológicos de Nicaragua.

**Altamirano G., (1996).** *Estudio Geológico para Instalación de Planta Eléctrica de Puerto Sandino AMFEL-LAMSA Nicaragua.* En esta investigación el consultor encontró depósitos de la formación El Fraile y Suelos Cuaternarios.

**Darce, M y Duarte, M., (2002).** *Geología de La Cuenca Sandino En Costa Adentro, Nicaragua, Centro América.* En su documento describe las rocas sedimentarias que constituyen las formaciones geológicas del pacífico de Nicaragua.

**JICA e INETER., (2006).** Elaboraron una actualización del Mapa Topográfico de El Tránsito, Hoja 2852–II, a escala 1: 50 000, la cual refleja las curvas de nivel y vías de acceso al área de estudio.

**INE y NORAD., (2007).** *Mapa Geológico de la Cuenca Sandino, Pacifico de Nicaragua, a escala 1:175 000.* Este mapa se elaboró con el fin de evaluar el potencial de hidrocarburos en la Cuenca Sandino.

**Darce M., (2010).** *Geología de la Cuenca Sandino en Costa adentro, Nicaragua, Centroamérica.* El estudio estuvo a cargo de la Dirección de Desarrollo Petrolero del Ministerio de Energía y Minas (MEM). En el documento encontramos una breve síntesis de cuatro de los aspectos geológicos de las formaciones sedimentarias de las facies pelágicas turbidíticas de la parte sureste en costas dentro de la cuenca Sandino del océano Pacífico de Nicaragua, donde se describen las formaciones de rocas sedimentarias.

El levantamiento plasmado en el mapa geológico ubica los límites de la formación El Fraile y la formación Tamarindo, estas formaciones de origen sedimentario y volcánico son de edades Terciarias, ubicadas en el Mioceno.

**Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales., (INETER). (2008).** Ha efectuado estudios geológicos para la Nueva Refinería El Supremo Sueño de Bolívar para Albanisa, en Miramar, proyecto Venezolano Nicaragüense cuyo informe no fue posible consultar.

**Altamirano, G., (2015). *Estudio de zonificación geológica por fallamiento superficial en terreno de proyecto hotel El Velero de Costa Cálida S.A.*** El consultor en su columna geológica describe una secuencia de estratos sedimentarios pertenecientes a la formación El Fraile. Se identificó una falla geológica de tipo normal, de rumbo N51°W, el ángulo de inclinación del plano de falla es de 70°SW con 80 cm de desplazamiento.

**Altamirano, G., (2015). *Estudio de zonificación geológica por falla superficial en terreno para el proyecto planta fotovoltaica 12 mwp ROMANISA.*** En este estudio se elaboró un levantamiento de las rocas sedimentarias de la costa, estas rocas pertenecen a la formación El Fraile.

**Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), (2015).** Efectuó un estudio de riesgo por Tsunami para las edificaciones que albergan a trabajadores y turistas del Centro Turístico El Velero debido al proyecto de construcción.

## **1.8 Diseño metodológico**

La metodología utilizada en este trabajo de seminario se dividió en tres etapas, las cuales son: etapa de gabinete, etapa de campo y etapa de procesamiento e interpretación de los datos obtenidos en campo. A continuación, detallamos cada una de ellas.

### **Etapas de gabinete**

Esta consistirá en la recopilación de información existente en documentos, artículos científicos, informes, tesis u otros trabajos, mapas impresos e imágenes que abarcan el área de estudio (fotografías aéreas, imágenes de radar e imágenes satelitales).

También se realizarán visitas al Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER), Centro de Documentación (CEDOC-IGG/CIGEO-UNAN-Managua), Ministerio de Energía y Minas (MEM) y Sistema Nacional de Prevención a Desastre (SINAPRED).

## **Etapa de campo**

En esta etapa se verificarán los contactos de las formaciones geológicas, así como un levantamiento de las diferentes unidades litológicas que la constituyen. Posteriormente, esta información se reflejará en un mapa de geo-estructural a escala 1: 25 000

## **Etapa de procesamiento e interpretación de los datos**

Esta etapa consistirá en el análisis petrográfico de las muestras seleccionadas en el sitio, para definir el tipo de roca y el análisis estructural será en base a medición directa de rumbo y buzamiento de las estructuras ubicadas en el área de estudio.

### **1.8.1 Tipo de estudio**

Este estudio según su enfoque es de tipo cualitativo, se sigue un proceso claramente definido sobre el objeto de estudio en su medio natural, se examina lo que sucede en el sitio y se desarrollan conclusiones según observaciones y análisis. El investigador se centra en estos hallazgos para describir a detalle las situaciones encontradas en el área de estudio. Según el nivel de profundidad es descriptiva, porque brinda explicaciones detalladas de los eventos geológicos en el lugar de estudio.

### **1.8.2 Área de estudio**

El área de estudio es el cuadrángulo Noroeste de la hoja topográfica del Tránsito, la cual se encuentra entre las coordenadas descritas en la tabla 1 de este informe. Abarca un área total de 35 km<sup>2</sup>.

### **1.8.3 Población y Muestra**

La población de esta investigación es el municipio de Nagarote, ubicado en el occidente de Nicaragua. El lugar específico se encuentra entre Playa Hermosa y El Velero. Tomamos 35 km<sup>2</sup> comprendido entre las coordenadas expuestas en la tabla No 1. La muestra son rocas seleccionadas en el área de estudio.

### 1.8.4 Métodos e instrumentos

El método aplicado en el estudio se basa en la observación directa, mediante la cual se hizo la recopilación de información en el campo, la aplicación de software fue útil para la elaboración de mapas, la utilización del laboratorio petrográfico nos permitió el análisis de rocas y los instrumentos utilizados en el campo se muestran en los siguientes gráficos.

**(Imagen 1 y foto 1).**



**Imagen 1. Instrumentos de campo usados en la ejecución del levantamiento**



**Foto 1. Utilización de los equipos para la toma de datos en el campo (Libreta, GPS, Brújula etc).**

### **1.8.5 Procesamiento**

Este acápite muestra el procesamiento e interpretación de los datos. Una vez obtenida la información procedimos a describir los hallazgos encontrados en el sitio de estudio.

### **Levantamiento de campo**

El levantamiento de campo se realizó desde junio del 2016 hasta abril del 2017. Durante este tiempo se recopilaron más de 30 puntos de información a los cuales se les hizo el proceso de muestreos. Luego se escogieron 5 muestras con menos alteración, después se elaboraron en secciones delgada para analizarlas en el laboratorio del Centro de Investigaciones Geo-Científicas (CIGEO).

Esta etapa se llevó a cabo a través del análisis de fotografía aérea, dispuesta sobre el mapa de base lo cual sirvió como guía para buscar los mejores afloramientos que expusieran indicadores cinemáticos para el levantamiento de las estructuras, las cuales, fueron localizadas en los lechos de las quebradas; de igual manera dichos afloramiento sirvieron para identificar las diferentes unidades litológicas y definir el límite de las formaciones geológicas encontradas.

Se realizaron mediciones directas de rumbo, buzamiento y longitud de las diferentes estructuras encontradas mayormente en la costa del pacifico donde se evidencia los diferentes tipos de estructuras geológicas en el área de estudio.

### **1.8.6 Interpretación Petrográfica**

El análisis petrográfico y su interpretación nos permitió determinar el tipo de roca que caracteriza a la zona y aportar información para la realización del mapa geológico del área. **En la foto 2** se puede apreciar el momento de trabajo en el laboratorio en la elaboración de las secciones delgadas para su posterior analisis..

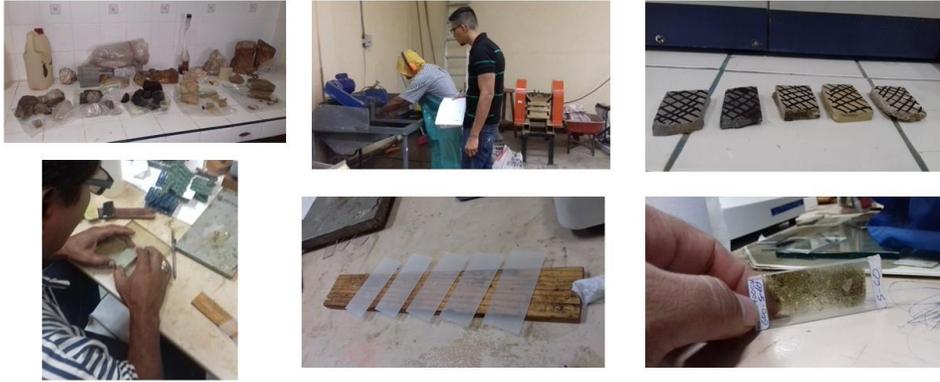


Foto 2. Procedimiento para la elaboración de las secciones delgadas del área de estudio

### 1.8.7 Análisis estructural

El Método utilizado en el análisis estructural es roseta de fractura. Para realizar este procedimiento se hizo énfasis en campo a la mayor cantidad de datos recolectados para el procesamiento con el software Stereonet 9.9.5 (Imagen 2).

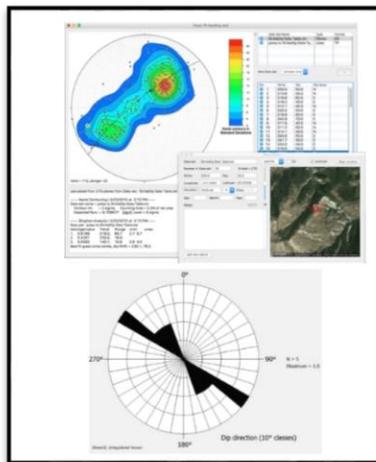


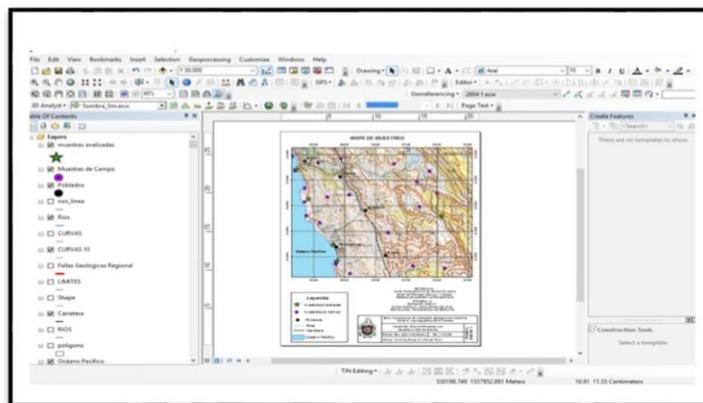
Imagen 2. Diagrama de roseta de fractura elaborado con el software Stereonet v 9.9.5.

Los datos de rumbo y buzamientos obtenido en campo fueron integrados en una tabla de datos, esto genera una roseta de fractura la cual facilita la visualización de la dirección de los esfuerzos principales máximo ( $\delta_1$ ) y mínimo ( $\delta_3$ ); esto permitió determinar las fases de deformación en el sitio (Capítulo III-Resultados).

Para realizar los análisis e interpretación morfoestructural se tomó como base la hoja topográfica El Tránsito 2852-II, editadas por el instituto de estudios territoriales (INETER, 1972), actualizada por el JICA e INETER (2004). Para la realización de los mapas de modelos que son de utilidad para la caracterización de los patrones de lineamientos estructurales, mapas de curvas, interpretación de los patrones de drenaje y mapas de sombras.

### 1.8.8 Elaboración de mapas e interpretación geológica

Para la elaboración de los mapas de esta investigación se hizo uso del software ArcGIS 10.3 (**Imagen 3**). Los datos levantados en campo (Coordenadas UTM, Litología, Rumbo y Buzamientos de las diferentes Estructuras) se dispusieron en una hoja de cálculo en Excel 2010, luego exportamos los datos al software con la aplicación ArcMap 10.3. Los datos fueron administrados e interpretados con el conjunto de herramientas de conversión ArcToolbox y el ArcCatalog, logrando la obtención de archivos geográficos y una mejor visualización en los mapas.



**Imagen 3.**

**Procesamientos de los datos en campo y preparación de mapas en el software ArcGIS 10.4**

### 1.8.9 Elaboración de curvas y Columna estratigráfica

Se utilizó el programa AutoCAD 2016, para realizar las curvas de nivel conforme al mapa topográfico y la elaboración de la columna estratigráfica, esta herramienta de edición crea gráficos complejos con medidas exactas. Permite organizar los objetivos por medio de capas o estratos, ordenando el dibujo en partes independientes con diferente color y grafismo. (Imagen 4)

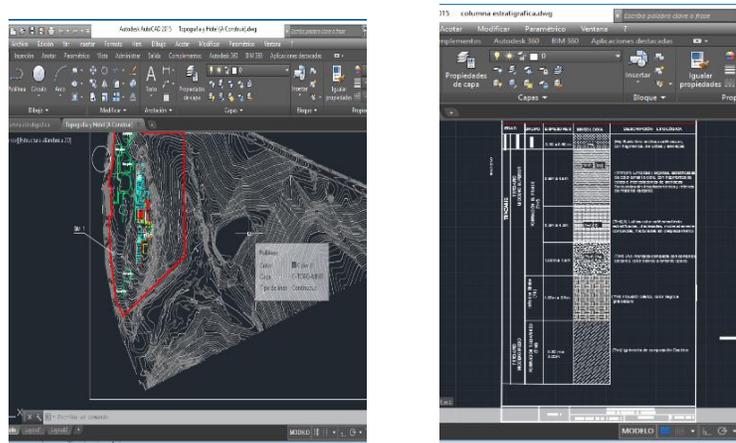


Imagen 4. Curvas de nivel realizadas con AutoCAD 2017 y Columna estratigráfica

### 1.1.9 Análisis Geomorfológico

La clasificación geomorfológica se realizó a partir de su origen geológico y las características morfométricas tomándose como base los patrones de drenajes, alturas y pendientes según la generación del mapa altimétrico, conocido también como mapa de hipsometría. Para la elaboración de este mapa se utilizaron las alturas máximas y mínimas de pendientes (Figura 8).

### 1.8.10 Informe Final

Una vez terminado y finalizado los análisis, se integraron los resultados en el Sistema de Información Geográfico (SIG) ArcGis 10.3, el cual se llevó a cabo para la digitalización de las estructuras y litologías comprobadas en campo. La elaboración y la redacción del informe final se realizó después de corregir y haber interpretado y analizado todos los datos e información obtenida en campo. La interpretación geológica de los datos que se obtuvieron dio como resultado la generación de los mapas geológicos y estructurales.

## CAPITULO II

### 2.1. Tectónica y geología regional de Centro América y Nicaragua

Se define al istmo Centroamericano como la plataforma continental que se extiende desde el istmo de Tehuantepec en México, hacia el Este y Sur-Este, hasta las tierras bajas de Atrato en Colombia. Se encuentra localizada en el frente de un borde convergente destructivo, formado por la subducción de la placa del Coco bajo la placa Caribe. En su extremo norte se ubica la placa de norte américa, separada de la placa Caribe por el sistema de falla Polochic-Motagua y separado al sur con la placa de Nazca por el sistema de fractura de Panamá (Dengo, 1985) **(Ver figura 2)**.

El istmo Centroamericano ocupa la parte occidental de la placa Caribe, la parte Norte de Centroamérica fue un margen continental compresivo activo y la parte Sur un sistema de arcos de islas volcánicas que fueron formando basamento de roca sólida hasta unirse con Sudamérica en el periodo del Terciario.

Desde el punto de vista geológico estructural, presenta dos partes, una Septentrional y una Meridional (Dengo, 1968). América central se divide en tres grandes bloques y un micro bloque. Esta división se basa en la composición del basamento y rasgos morfológicos, así como tectónicos de cada uno de ellos (Dengo.1973). La región septentrional se divide en los bloques Maya y Chortis, cuyo límite es el sistema de fallas Polochic-Motagua y la meridional que comprende el bloque Chorotega.

Los estudios geológicos y sísmicos indican que la placa Caribe tiene un movimiento relativo hacia el Este de las Américas y que es controlado por el fallamiento lateral izquierdo en su frontera Norte continental. La litósfera oceánica de las placas de Norte América y Sudamérica se consume a lo largo del eje Este de la placa Caribe en la zona de subducción de las Antillas Menores y también se consume litósfera oceánica de la placa Cocos a lo largo del eje Oeste en la zona de subducción de América Central.

### **Bloque Maya**

El bloque Maya se encuentra ubicado al Norte de América Central en lo que conocemos como la península de Yucatán, parte de Guatemala, Belice y México al Oeste del istmo de Tehuantepec, (Donnelly, G.S. Horne 1990). En la parte Sur de este bloque afloran rocas ígneas y metamórficas del Paleozoico temprano, incursionados por plutones pérmicos Triásicos de arco.

### **Bloque Chortis**

El bloque Chortis incluye todo el Salvador, Honduras, el Sur de Guatemala, la parte oceánica al Noreste de Nicaragua y la parte Norte de Nicaragua, en esta última no se encuentra muy bien definido ya que no hay discontinuidad que lo separe del banco de Nicaragua.

Este bloque consiste en un basamento rocoso metamórfico de edad paleozoica – precámbrica. La estratigrafía cenozoica es dominada por rocas volcánicas, donde la formación Matagalpa y Morazán compuestas por lavas andesíticas tobas y brechas son del Oligoceno y Eoceno probablemente. También representado por el complejo metamórfico de Nueva Segovia. Estas rocas fueron agrupadas en la formación Palacagüina y Esquistos de Nueva Segovia (Zoppis 1957). Tectónicamente ha sido muy activo desde el Cretácico Temprano y puede dividirse en 5 diferentes regiones morfológicas: Sierras del Norte, Región montañosa central, basamento del Este, mesetas del Sur y cadena volcánica del Pacífico (Donnelly et al., 1933).

### **Bloque Chorotega**

El bloque Chorotega está formado por la parte sur de Nicaragua, Costa Rica y Panamá, es un basamento de secuencia ofiolítica de origen oceánico, el cual se extiende hasta el Norte de Sur América. Se ha postulado que el escarpe de Hess, marca el límite entre el Bloque Chortis y el Bloque Chorotega (Dengo, 1962).

Este bloque está formado por un basamento del cretáceo con espesores de sedimentos marinos y volcánicos depositados durante el terciario. Esta región fue denominada "corteza tectónica" (McDonald 1972) por ocupar una posición entre una corteza de origen oceánico y una de origen continental.

Desde el punto de vista geotectónico, el elemento estructural más relevante de Centroamérica es la depresión nicaragüense, de rumbo Noroeste-Sureste. Según McBirney and Williams 1965, la depresión de Nicaragua comenzó su formación a finales del Cenozoico a partir de esfuerzos de tensión local producidos por la compresión regional creada entre las placas Cocos y placa Caribe.

En cambio, la formación de la Cadena Volcánica Cuaternaria da comienzo a finales del Plioceno, extendiéndose desde Guatemala hasta Costa Rica a lo largo del eje de la depresión nicaragüense, en dirección Noroeste-Sureste (McBirney, A & Williams, H., 1965).

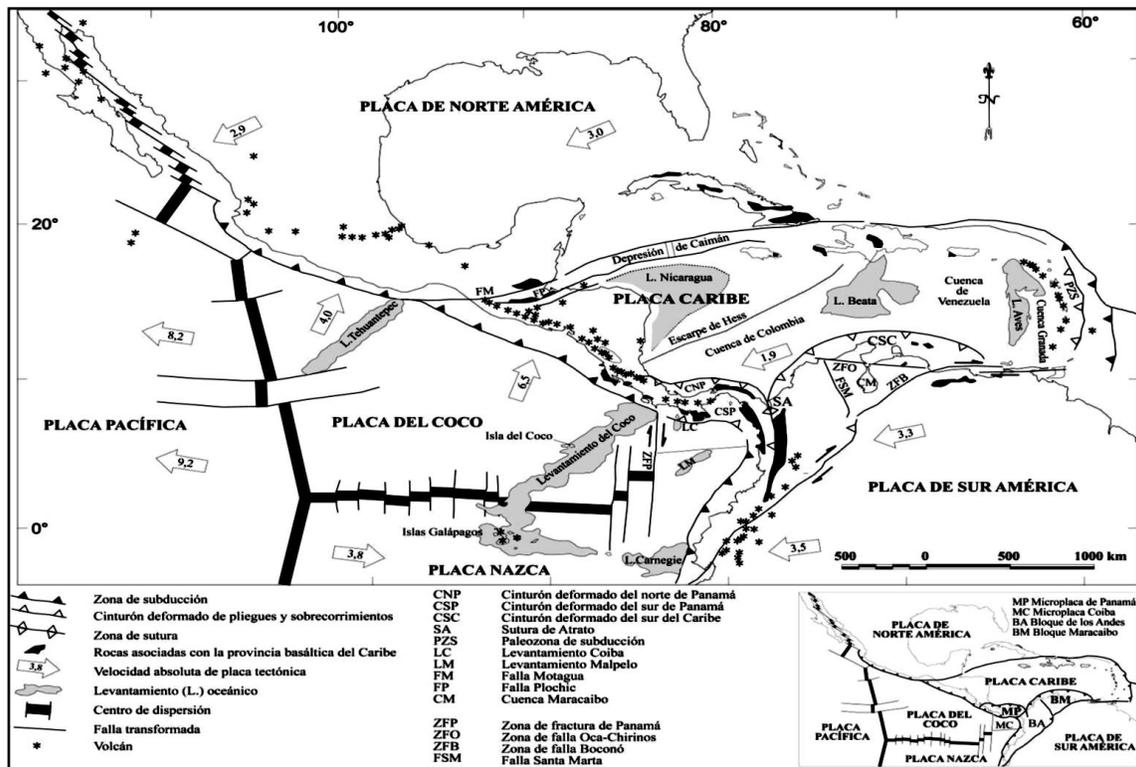
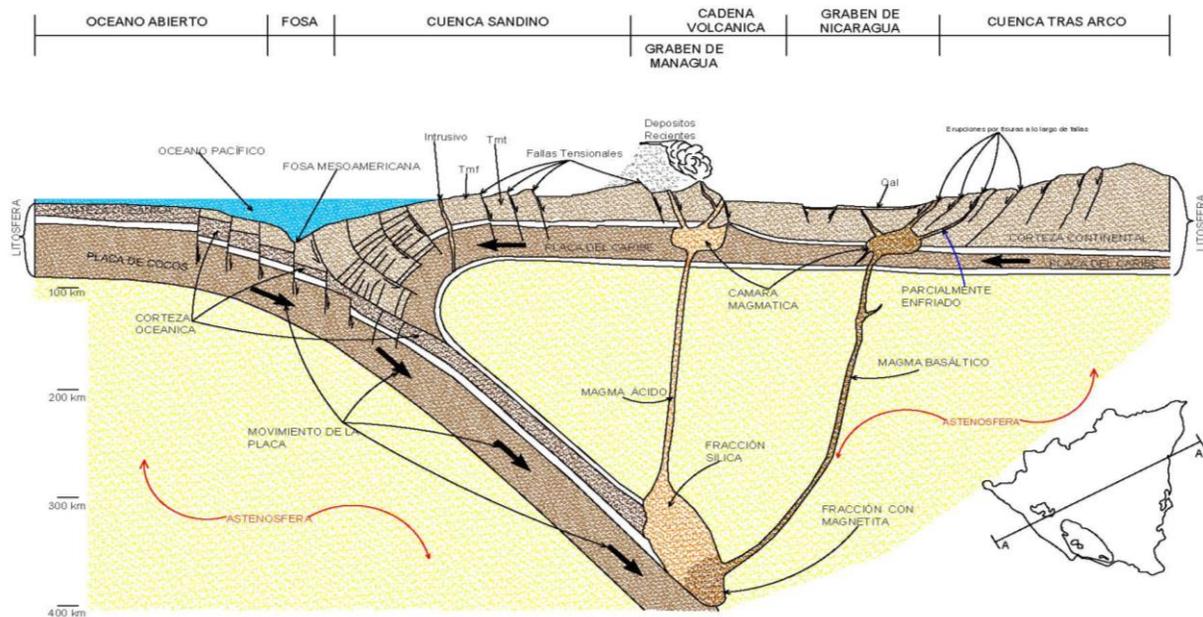


Figura 2. Marco geotectónico de América Central. Basado en Case et al, (1994), Donnelly (1994), Mann et al., (1990) y Meschede & Frisch (1998).

## 2.2 Geología regional de Nicaragua

La geología regional de Nicaragua presenta edades del Mesozoico Inferior al Cenozoico. Dentro de estas eras ocurrieron muchos eventos de origen geológicos como el establecimiento de la subducción de la placa de Cocos debajo de la placa Caribe. Estos eventos marcaron la formación de potentes capas de rocas volcánicas, metamórficas y sedimentarias distribuidas en todo el territorio con secuencias estratigráficas de diferentes épocas y edades.

Nicaragua se localiza en un ambiente tectónico de convergencia, donde la placa Cocos subduce bajo la placa Caribe, formando la Fosa Mesoamericana. La dirección de subducción de la placa de Cocos por debajo de la placa Caribe es ligeramente oblicua y subduce con una, inclinación de  $80^\circ$  con dirección Noreste en la cual se generan grandes terremotos (INETER, 2000) **(Ver Figura 3)**.



**Figura 3. Sección Geotransversal SW – NE de las Placas Tectónicas de Nicaragua. Fuente: Woodward - Lundgren & Associates, (1975); Condie, (1982); Darce, M. (1985); Modificado por Reyes, D., 2016.**

Según la clasificación realizada por Hodgson. G., (1972), Nicaragua se divide en 5 provincias geológicas. De esta división nuestra área de estudio se localiza en la Provincia Geológica de las planicies de La Costa del Pacífico, la cual se detalla a continuación:

### **2.2.1 Provincia geológica de la planicie de la costa del Pacífico**

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de esta provincia, la que se localiza en la posición Norte que coincide en gran parte con una cuenca de sedimentación, reconocida hoy día como Cuenca Sandino, localizada en el ante arco del Pacífico, ubicada entre la depresión de Nicaragua (donde se localiza el arco volcánico activo) y la Fosa Mesoamericana (área de la plataforma del Pacífico). Esta cuenca pertenece a la provincia de las Planicies de la Costas del Pacífico la cual limita con La Provincia de la Depresión de Nicaragua al Este.

La cuenca esta rellena por depósitos sedimentarios, constituyendo una secuencia de espesores mayor de 10 km, incluyendo depósitos pelágicos y depósitos turbidíticos, depositados durante el Cretácico Superior–Paleoceno (miembro Sapoa, Formación Rivas y Brito) y sedimentos someros depositados durante el Terciario–Neógeno (Formación Masachapa, el Fraile y el Salto) (Kuang, S.J. 1971 y Natarov A.G, Mijailov I.A et al 1990). **(Tabla 2).**

La posición relativa de las formaciones que conforman esta provincia se resume en la tabla crono-estratigráfica de abajo (adaptada de Hodgson 1971 y de Weinberg 1990) y luego se resume la formación El Fraile y la formación Tamarindo, a la cual pertenece nuestro sitio de estudio. A continuación, se describen las formaciones geológicas que conforman el área de estudio, las cuales son descritas por Darce, M., (2002) en el mapa geológico de La Cuenca Sandino, Pacífico de Nicaragua **(Figura 4).**



EDAD [m.a]	FORMACION	ESPESOR [m]	TIPO DE ROCA
Holoceno Pleistoceno 1	Grupo Las Sierras	680	Tobas Líticas aglomerática y Pumícea materiales piroclásticos sedimentos litorales. Muy Permeable
Plioceno 2-5	Formación El Salto	100	Areniscas con intercalaciones de margas, coquina, coquina y conglomerado. Permeabilidad buena impermeabilidad irregular
Mioceno 5 - 25	Formación Tamarindo	600	Ignimbrita toba y andesita Permeabilidad variable
	Formación El Fraile	2,700	arenisca, limolita arenisca tobácea Permeabilidad regular Impermeable
Oligoceno 25-38	Formación Masachapa	600	Lutitas tobáceas limolita, lutitas calcáreas areniscas Permeabilidad variable
Eoceno- Paleoceno 67	Formación Brito	2,570	Areniscas, gravaca conglomerado, lutita arenisca calcárea arenisca tobácea Permeabilidad regular Impermeable
	Capas de Sapoá	30	caliza Masiva, arenosa de matriz arcillosa Permeabilidad variable
Cretácico 140	Formación Rivas	2,850	Arenisca, arenisca tobácea limolita, lutita, margas conglomerados Permeabilidad regular Impermeable

**Tabla N 2. Tabla crono-estratigráfica Regional.**  
(Adaptada de Hodgson 1971 y de Weinberg 1990)

### **2.2.1.1 Formación El Fraile (Tmf)**

Aflora en a lo largo de una faja paralela a la costa de 90 Km. de largo y 18 Km. de ancho. Está constituida sedimentológicamente por una alta variabilidad de facies que definen un sistema sedimentario marino somero y transicional marino-continental, estas sucesiones de facies están representada por: a) Litologías finas, (Lutitas, arcillitas y areniscas finamente estratificadas), correspondientemente a un sistema de plataforma externa. Presentan una edad Mioceno Inferior/Mioceno Superior, las que se correlacionan con el techo de la formación Masachapa, la cual es el nivel más alto del miembro superior de esta formación (Wilson, 1942).

La sucesión sedimentaria suprayacente está representada por asociaciones de facies que acusan sistemas depositacionales de plataforma interna, tales como sistemas deltaicos, planicies costeras, barras arenosas y bahías. Las que se desarrollaron durante el período Mioceno - Plioceno basal.

La formación El Fraile tiene un espesor aproximado de 1600 metros de sedimentos y sus mejores afloramientos se encuentran en las localidades de La Boquita, Tupilapa, Huehuate, La Trinidad, Masachapa, Playa Hermosa y El Velero.

Los conglomerados de la bocana de Tupilapa son correlacionados con la discordancia a los 21 m.a. Estos representan un cambio abrupto en el tamaño del grano, gradando de areniscas de grano fino a conglomerados muy gruesos y de origen fandeltaicos. El límite secuencial antes mencionado y el límite secuencial de Huehuate (10.5 m.a.) comprenden los eventos principales de la formación EL Fraile. La litología de los principales paquetes sedimentarios correlacionables con la formación El Fraile son los siguientes:

Un paquete de 767 m. en la base representada por alternancias de arcillitas, limolitas calcáreas a veces tobáceas y tobas. Sobreyaciendo el paquete anterior, se describen 87 m. de un paquete arenoso, en la base está constituido por areniscas de grano fino hasta grueso con algunos lentes conglomeráticos compuestos por gránulos de sílice.

La sección superior de esta formación corresponde con 395 m, de arcillitas con delgadas intercalaciones de limolitas, areniscas y lutitas calcáreas. Con base a la fauna foraminífera (Pickett, K., 1974) se ubican las rocas de esta formación entre el límite del Mioceno Inferior - Mioceno Medio y el límite Mio/Plioceno. Esta sucesión de facies sedimentarias, del Mioceno Inferior, se correlaciona con el techo de la formación Masachapa, o sea los niveles más altos del miembro superior de esta formación (Wilson, T., 1942).

Esta formación de importancia restringida en la región de estudio aflora como una delgada franja en la carretera de Diriamba-la Boquita y Managua-El Tránsito, al Sureste y Noreste de Managua.

#### **2.2.1.2 Formación Tamarindo (Tmt)**

El nombre de la formación Tamarindo fue propuesto por Wilson. T., (1942) para una secuencia de rocas volcánicas y vulcano sedimentarias que afloran en la costa del Pacífico a lo largo de 120 km en forma de una faja de 17 km de ancho. Estos depósitos en su mayoría tienden a las áreas ocupadas por las rocas del grupo Coyol y posiblemente, están relacionados con estructuras volcánicas Miocénicas del tipo central. Cerca del 85% de las rocas de la formación Tamarindo son las ignimbritas. Se trata de una faja angosta que se extiende por unos 118.8 km en dirección NW-SE. Su límite Norte se localiza en la base del cerro Roldán y al Sur limita con el río Chinampa.

Está compuesto en su base por lavas andesíticas y aglomerados, superpuesto por una serie de ignimbritica, La composición es definida como ignimbritas, lavas y sedimentos volcánicos, (McBirney, 1965) Según Juan Kuang, (1971), subdivide la formación Tamarindo en tres unidades:

- **Inferior (aglomerados basales y lavas andesíticas):** las rocas típicas de esta unidad se ubican sobre la carretera vieja a León en el km 45.5, entre la quebrada El Jicote y El Rosario (Kuang, 1971) observó que encima de los aglomerados hay intercaladas lutitas de color pardo, semejantes a las de la formación Masachapa y sobre estas areniscas intercaladas con lutitas café oscuro y sobre estos flujos de andesitas relacionadas con los sedimentos de la formación El Fraile. El espesor de esta unidad es de 70 m en el Norte del cerro san Francisco, disminuyendo gradualmente hacia el Sur, hasta desaparecer en el río la Chinampa. La datación K-Ar dio 17.2  $\pm$  0.4 m.a comprendidas en el Mioceno medio.
- **Medio (tobas e ignimbritas):** La serie típica de esta unidad aflora en la carretera Vieja a León, entre el puente Izapa y el contacto con el Tamarindo inferior. Las rocas que afloran son: Dacitas e ignimbritas soldadas con un espesor probable de 186 m. Esta unidad hace una transición gradual de flujos de ceniza aerolítica a sedimentos marinos tobáceos a lo largo de la carretera Este de Puerto Sandino.
- **Superior (ignimbritas):** Kuang 1971, señala un espesor de 100 m para esta unidad y lo define como un análogo del subgrupo coyol Inferior por su edad y composición litofacial. Se ubica en el Mioceno inferior haciendo datación radiométrica a una muestra de dacita tobáceas y el tope de la formación Tamarindo está constituido principalmente de ignimbritas.

### **2.2.1.3 Intrusivo (Dique Negro)**

Se trata de una intrusión de composición basáltica que está incluida entre los arcillo esquistos de la formación El Fraile y que aparecen en la playa como en los primeros metros dentro del mar, formando un rompeolas natural. Por estas características y por su color ha sido llamado el Dique Negro, su espesor es cerca de 15 m y se extiende por casi 8 km muy regular, en dirección N70°W con un buzamiento aparente de 60° hacia el Noroeste, en la parte Sur de nuestra área de estudio se aprecia interestratificando a los sedimentos de la formación el Fraile. La roca que lo constituye es básica de color negro.

El afloramiento está caracterizado topográficamente, por una expresión de material expulsado por medio de una falla que tiene una dirección N70°W, (Zoppis de Sena y Zoppis, B. 1958) y un desplazamiento horizontal de casi 100 m. La roca que constituye este dique, observándola en muestra de mano, es de textura granular con pequeños cristales idiomorfos de feldespatos de color verde oscuro y alguna vez gris según la alteración, su composición es diabásica (Masrshall, 1990).

Análisis de secciones delgadas en el laboratorio, revelan que es una roca de estructura porfídica hipocristalina. Presenta fenocristales listiformes y bien desarrollados, son plagioclasas de tipo labradorita con frecuentes geminaciones del tipo Albita. La mayor parte del resto de los cristales es augita, los cristales de olivino son poco presentes, con varios granos oscuros de magnetita. Definen esta roca como un basalto normal olivino o un intermedio entre basalto y andesita. (Zoppis, S & Guidice, D, 1958)

La disgregación de esta roca por efectos de agentes meteóricos y marinos y la alteración por efecto de la gravedad, causan la formación de los depósitos de arenas negras (Magnetita) ubicadas en la playa de El Transito (Zoppis de Sena y Zoppis, B. 1958).

### 2.3 Geomorfología regional

Según Marshal, J., en el artículo *The Geomorfology and Physiographic Provinces of Central America*, Nicaragua se divide en 5 provincias geomorfológicas, esta división se basa en las características de expresiones geomorfológicas que presenta el país (Marshall, 2007). Las provincias fisiográficas son: **(Figura 5)**

1. Arco Frontal Sandino: Esta provincia geomorfología se extiende a lo largo de toda la costa nicaragüense, desde punta Cosigüina en el golfo de Fonseca, hasta punta Descartes en Costa Rica. Esta estrecha franja costera se encuentra al Oeste de la depresión nicaragüense y el frente volcánico, en ella se ubica El Velero y playa Hermosa. El autor la subdivide en:

- a) Costa Norte de Nicaragua.
- b) Costa Sur de Nicaragua.
- c) Escudo de Las Sierras.

El área de interés para nosotros se encuentra en esta provincia geomorfológica, en la subdivisión Costa Norte de Nicaragua. Se trata de ambientes de playas, colinas y mesetas volcánicas que forman una zona de transición entre las rocas sedimentarias Terciarias y las rocas volcánicas Cuaternarias del grupo Managua.

2. Frente Volcánico nicaragüense: Se trata de la exposición de una franja volcánica cuaternaria, paralela a la costa que se ha desarrollado en el margen oeste del piso de la depresión nicaragüense. Comienza con el volcán Cosigüina en el golfo de Fonseca, la cordillera de los Marabios que son una serie de volcanes compuestos espaciados constituidos por estrato volcanes.
3. Depresión nicaragüense: Es un canal de 50 km de ancho que se extiende a lo largo de 600 km de longitud, este rifting puede reflejar una disminución cenozoica tardía en la taza de convergencia entre las placas que subduce.
4. Tierras bajas de la costa de la Mosquitia: Consiste en una llanura aluvial de densa vegetación, de hasta 150 km de ancho a lo largo de la costa Caribe. Se formó durante el Cenozoico Tardío sobre depósitos deltaicos y depósitos provenientes de las Tierras Altas Interiores. La degradación de estos materiales deltaicos, produjeron un litoral de bajo relieve caracterizados por manglares pantanosos, lagunas de mareas anchas, islas de barreras alargadas y arrecifes de coral dispersos. Está formado por afloramientos de rocas volcánicas del Paleógeno al Cuaternario.

5. Tierras Altas de Chortis: Consiste en una zona ancha, diseccionada, que se entiende desde Guatemala, a través de Honduras, El Salvador y el Norte de Nicaragua. Se trata de terrenos de topografía montañosa, que alcanza elevaciones de hasta más de 1 km y se extiende hasta 400 km detrás del frente volcánico activo. Esta región está altamente diseccionada por redes de drenajes y la geomorfología se caracteriza por la presencia de crestas escarpadas y profundos valles intermedios.

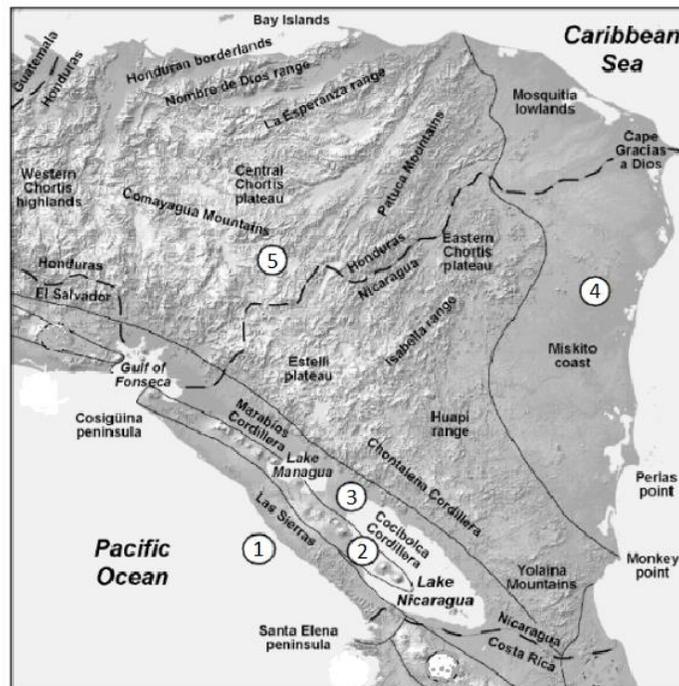


Figura 5. Mapa Fisiográfico de las provincias del Norte de América Central, mostrando parte de Honduras y el Salvador. Tomado de (Marshall, 2007)

## CAPITULO III

### Análisis de los resultados

#### a. Geología local

Geológicamente se verificó que el área de estudio está constituida por suelos Cuaternario y rocas Terciarias de origen detríticas de las formaciones El Fraile, depósitos de origen volcánico pertenecientes a la formación Tamarindo e Intrusivo descritas por Auer, W, (1942); Zoppis B y Guidice, D., (1958). A continuación, se describen las unidades litológicas de la zona, **(Figura 6 y 7)**.

#### 3.1.1 Unidades litológicas

Las unidades litológicas encontradas se subdividieron según las edades que la conforman de los periodos Cuaternario al Terciario y se describen a continuación en el orden correspondiente.

##### 3.1.1.1 Unidades Cuaternarias

Estas unidades de depósitos recientes están ubicadas en la parte Oeste, Centro y Norte del área de interés. Son depósitos detríticos que se forman por la meteorización de las rocas que constituyen el basamento y posteriormente se sedimentan dando origen a suelos de diferentes composiciones texturales, los cuales subdividimos en Aluvial y Coluvial. A continuación, describimos cada uno de ellos:

##### a. Aluvial (Qal)

Esta unidad se localiza en la parte Oeste y Norte del área estudiada. Está conformada por suelos del periodo Cuaternario que se forman por la intensa meteorización de las rocas volcánicas y sedimentarias, que mediante procesos de transporte por agentes exógenos se depositan en zonas alejadas a su sitio de origen y se encuentran suprayaciendo las rocas Terciarias de la región.

Los sedimentos son transportados por las aguas y por acción del viento, hasta depositarse en las zonas bajas. Estos depósitos se encuentran a lo largo de la zona costera al Oeste y en la porción Norte donde los ríos principales y zonas de escorrentías meteorizan las rocas consolidadas en temporadas de precipitaciones. Los detritos que las constituyen son de composiciones limo arenas, de color café oscuro y en superficie se observa la presencia de materia vegetal. **(Foto 3).**



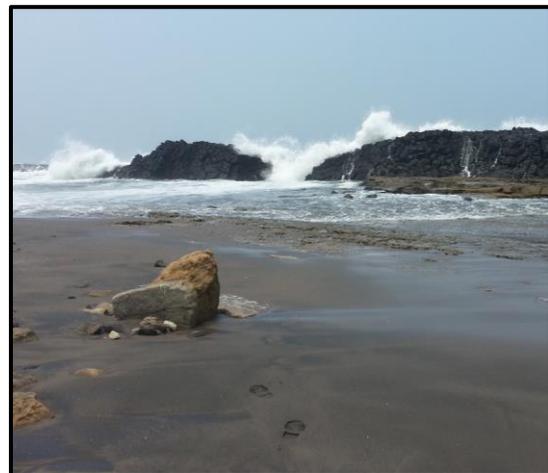
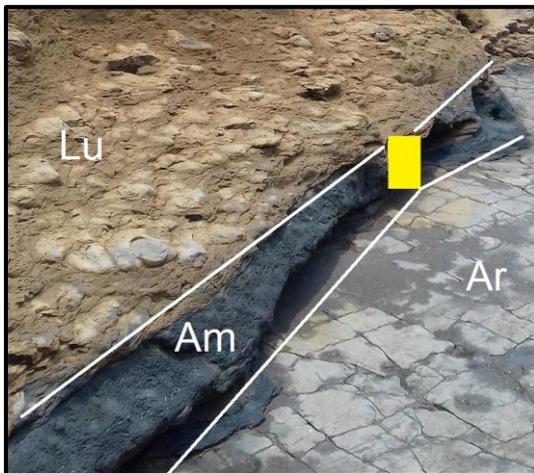
**Foto 3. En la foto puede observarse el Suelo aluvial en la parte superior, bajo este se encuentra una capa de rocas solidas no meteorizadas. Se observó el afloramiento en las coordenadas 527799 E-1341051 N.**

En las depresiones topográficas se encuentran esteros naturales, que son zonas que sirven de descarga de las aguas de lluvia que corren en dirección al mar, En este proceso se forman zonas de acumulación de sedimentos constituidos principalmente por arenas, clastos redondeados y sedimentos finos, **(Foto 4).**



**Foto 4.** En las coordenadas 527848 E-1340729 N, se puede observar la zona aluvial, donde se acumulan los sedimentos transportados de las partes altas.

En la zona costera en las coordenadas 527980 E, 1340066 N, **(Foto 5)** constatamos depósitos de arenas Magnetíferas, de color negro a gris oscuro que se encuentran con abundante contenido de magnetita la que le da esta coloración, es un depósito superficial de unos cuantos centímetros. Estas arenas están formadas por la descomposición de estratos de areniscas y de la roca intrusiva que por acción del constante oleaje del mar chocan con los estratos sedimentarios de estas rocas y forman estos depósitos en las playas. Esto es mencionado en el estudio de Zoppis, S, (1957).



**Foto 5.** Horizonte de arenisca negra (representada en color amarillo) en foto de la derecha. Dique Negro foto de la izquierda. La intensa meteorización sufrida por el oleaje

### **b. Coluvial (Qc)**

Los depósitos de esta unidad se encuentran en la porción central Norte del área de estudio, está constituida por suelos que tienen su origen de la meteorización in situ de las rocas que no son transportados y se acumulan en la misma zona (**Foto 6**). Estos suelos son de litología homogénea, conformados por partículas finas, englobados en una matriz generalmente arcillo arenosa que se encuentra en esta parte de colinas de pendientes suaves.

Son suelos formados por la alteración y desintegración in situ de las rocas de la formación El Fraile, por la humedad durante los periodos de precipitación. En este tipo de suelos se generan movimientos de tipo: desprendimientos, vuelcos, deslizamientos, flujos y movimientos complejos (Varnes, DJ., 1978).

Las características que presentan los suelos de esta unidad son:

- Constituidos por una matriz arcillosa con clastos angulosos de arenas.
- Se encuentran mal clasificados
- No estratificados
- Permeables



**Foto 6. Suelos coluviales, expuestos en las coordenadas 530758 E, 1341692 N. Nótense las grietas de desecación producto de la contracción de las partículas de arcillas constituyen este suelo.**

### 3.1.1.2 Unidades Terciarias

La provincia geológica de la Costa del Pacífico de Nicaragua se encuentra conformada principalmente por abundantes rocas sedimentarias. En este estudio describiremos solamente dos formaciones geológicas pertenecientes al área de interés.

#### a. Formación El Fraile (Tmf)

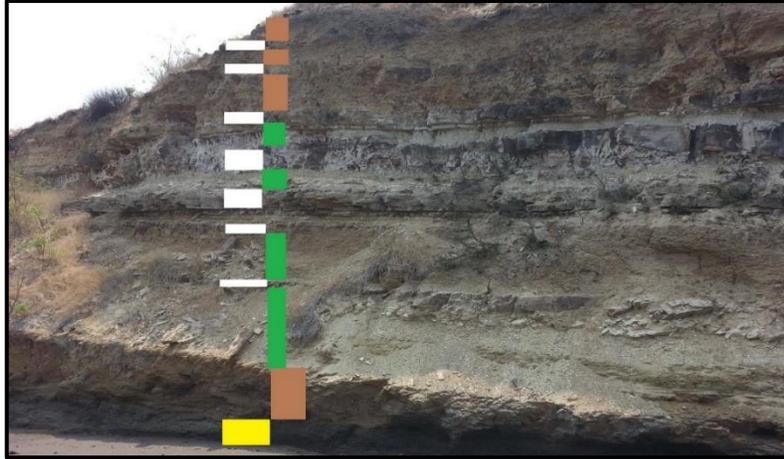
La formación El Fraile se encuentra en una franja que se extiende a lo largo de la costa por 7 km de longitud y se orienta al Noroeste, su ancho máximo se localiza en la porción central del terreno por 4 km de longitud y su ancho mínimo es de 1.5 km en la parte Norte, esta franja de rocas sedimentarias presenta un relieve de alturas máximas de 80 m.s.n.m.

En los afloramientos visitados se observó una secuencia compuesta principalmente por tres tipos de intercalaciones de rocas sedimentarias, las cuales son: areniscas, lutitas y limolitas. A continuación, describiremos cada una de ellas:

#### **Areniscas**

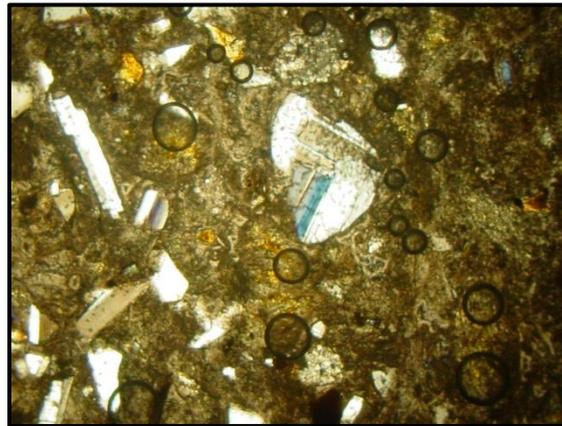
Esta unidad está conformada por diferentes sucesiones de depósitos de areniscas que se encuentran intercaladas con lutitas y limolitas. Las diferentes sucesiones están constituidas por partículas de arenas de tamaños finos a intermedios, consolidadas. Los tamaños de los clastos que las constituyen varían entre 0.25 mm a 0.125 mm.

En la parte Sur de Playa Hermosa pudimos observar una intercalación de areniscas de color gris oscuro, de grano fino a medio, con fragmentos subredondeados. El cemento es un agregado de cenizas volcánicas argilizadas, **(Foto 7)**. En el afloramiento ubicado al Noroeste a 1400 m de Playa Hermosa observamos esta misma secuencia de estratos con un buzamiento de 18° al Noroeste.



**Foto 7. En la foto se observan en color blanco, la intercalación de la unidad areniscas, en las coordenadas 532189 E-1331984 N.**

El estudio petrográfico refleja que las areniscas varían su composición mineralógica, presenta fragmentos de minerales con fiames y el contenido de cuarzo aproximado es de un 45 %, la textura de estas rocas es porfídica. Son rocas de litología fina dispuestas espacialmente con estratificación normal, que corresponde a un sistema de plataforma externa, **(Foto 8)**.



**Foto 8. La imagen muestra roca sedimentaria, arenisca. Los minerales se observan alterados, con cuarzós. Las coordenadas 527545 E, 1341774 N.**

## Lutitas

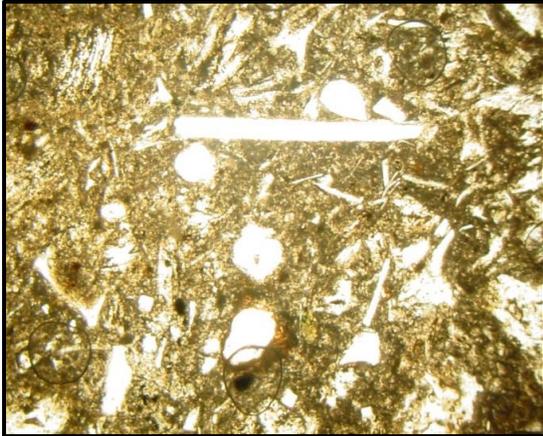
Las Lutitas son rocas con una secuencia de depósitos marinos someros, de un sistema deposicional de plataforma externa, de estratificación normal. La secuencia de estas rocas se encuentra intercalada con horizontes de areniscas y limolitas. **(Foto 9).**

Se describen como rocas sedimentarias detríticas constituida por partículas principalmente de limos con tamaños que varían desde 0.008 mm las partículas finas hasta 0.062 mm las partículas más gruesas, también contienen arcillas de partículas más finas. A través de este estudio, se pudo verificar que el levantamiento realizado en la costa El Velero a lo largo de toda la secuencia de la formación El Fraile, se correlaciona con los tipos de estratos de rocas sedimentarias, realizado por Altamirano, G, (2015).



**Foto 9. Vista de los estratos buzando 18° Noroeste, en el sector de Playa Hermosa, en las coordenadas 530817 E-1340456 N. Estos estratos se observan igual que en la foto 5 en color café las lutitas expuestas en la parte superior de la foto.**

Es importante señalar que en esta formación se observaron rocas y suelos con alteración clorítica. Esta alteración corresponde al reemplazamiento de minerales ferromagnesianos contenidos en las rocas por clorita. Puede darse por la alteración de silicatos maficos, con la introducción de agua **(Fotos 10).**



**Foto 10. Alteración clorítica se encuentra en los bordes de los minerales, la textura observada es porfídica, la roca corresponde a una Lutita, con plagioclasas. Las Coordenadas la muestra son: 528322 E-1339018 N.**



**Foto 11. Alteración clorítica en rocas y suelos en la formación El Fraile, en las coordenadas 531441 E-1339668 N.**

Estas rocas tienen presentes una alteración clorítica, la cual es observada en muestras tomadas en la costa en la porción Oeste del terreno al igual que en suelos y rocas de la parte central del área de estudio, presentan una coloración verduzca, (**Foto 11**).

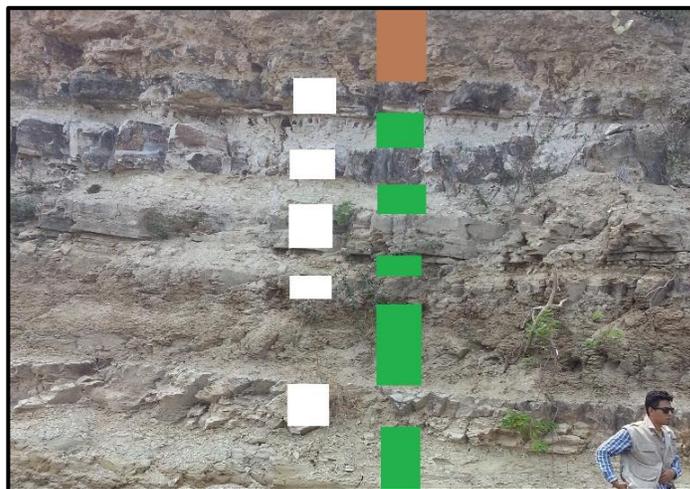
### **Limolitas**

En el lugar encontramos limolitas que es una roca constituida por sedimentos de tamaños correspondientes a limos semi compactada. En las fotos **7, 9 y 12** se pueden observar la secuencia de limolitas, reflejadas en color verde. Estas rocas presentan una estratificación laminar y corresponden a un sistema de deposición de sedimentos marinos someros. Son de un color generalmente verduusco amarillento



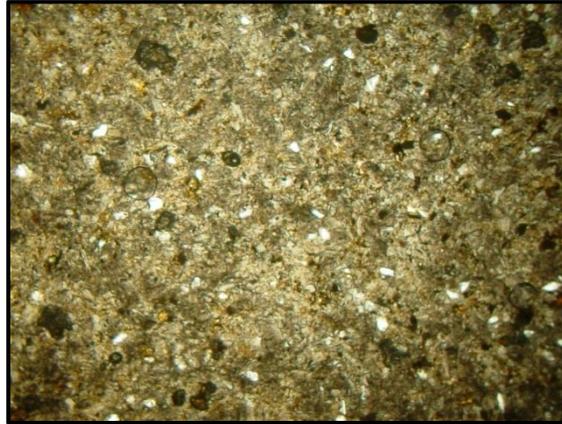
**Foto 12. Areniscas masivas y muy compactas de la Formación El Fraile intercaladas con lutitas finas. En las coordenadas 5313582 E-1340000 N. Esta zona se encuentra próxima a la transición de las rocas sedimentarias de la formación el Fraile y las Rocas Volcánicas de la formación Tamarindo.**

La sucesión de estos sedimentos intercalados generalmente por areniscas, la **foto 13** muestra una secuencia de limolitas en la porción Suroeste del área estudiada. Esta secuencia está conformada por depósitos de espesores variables de entre 50 cm a 30 cm de espesor y se encuentra a 80 m.s.n.m.



**Foto 13. En color verde se nota la secuencia de estratos de limolita, esta secuencia se encuentra intercalada con sucesiones de areniscas principalmente en color Blanco y en la parte superior lutitas de color café, en las coordenadas 528322 E-1339018N.**

La sección delgada realizada a la muestra de roca tomada en el afloramiento muestra una roca de grano fino, con abundante contenido de cuarzo y fiamas, los diámetros de las partículas de sedimento que componen la roca se encuentran entre los 0.062 mm y 0.0039 mm. **(Foto 14).**



**Foto 14.** En la imagen se muestra una sección delgada, de roca de grano fino, con alto contenido de cuarzo y fiamas.

## **Conglomerados**

En la zona de la meseta Filete Las Agujas entre las rocas sedimentarias de la formación El Fraile y las rocas de la formación El Tamarindo se observó rocas sedimentarias de conglomerados de 2.5 m de diámetros, con una matriz de arenisca bien cementada, con clastos de Ignimbritas de la formación Tamarindo, **(Foto 15).**

En la parte central de esta área en la quebrada Mesa Grande, se observaron sedimentos con inclusiones de rocas volcánicas, aquí se encuentra la zona de transición de las rocas sedimentarias conformadas por conglomerados a las rocas volcánicas constituida principalmente ignimbritas.



**Foto 15. Conglomerados de areniscas con clastos angulosos de ignimbritas y calcitas. Las coordenadas del sitio son: 531629 E-1340129 N.**

En la foto se observa un rodado de 2.5 m de largo y 1.5 m de alto, de pequeños fragmentos redondeados de calcita y clastos angulosos de ignimbritas dentro de la matriz de arenisca el conglomerado se encuentra bien cementado. La zona donde afloran estas rocas se encuentra en la ladera de una zona de fallamiento, producido por los esfuerzos tectónicos generados en la zona. Posiblemente los movimientos tectónicos de los bloques generaron la formación de estas rocas.

#### **b. Formación Tamarindo (Tmt)**

En el área investigada encontramos rocas que afloran el miembro medio de esta formación, el cual está conformado por rocas tobaceas e ignimbritas según Kuan, J. (1971). Se localizó en la quebrada Mesa Grande una zona de contacto entre ambas formaciones, en la pared Oeste del sitio se observaron rocas conglomeraticas y rodados ignimbriticos. Este contacto no puede verse superficialmente y es muy probable que se encuentre en profundidad erosionado por el paso de las aguas en este sitio, las cuales circulan por zonas de debilidad estructural, **(Foto 16)**.



**Foto 16.** En la pared izquierda del afloramiento se puede apreciar el cambio de litología, conglomerados sedimentarios de la formación El Fraile. A la derecha se observa rodados de ignimbritas andesíticas de la formación Tamarindo.

Al sur del afloramiento anteriormente descrito, se observa la misma secuencia de rocas volcánicas, definidas como ignimbritas en las coordenadas 532956 E, 1339005 N. Además, se observa una gran cantidad de bloques ignimbríticos que nos indican que la zona está dominada por rocas volcánicas.

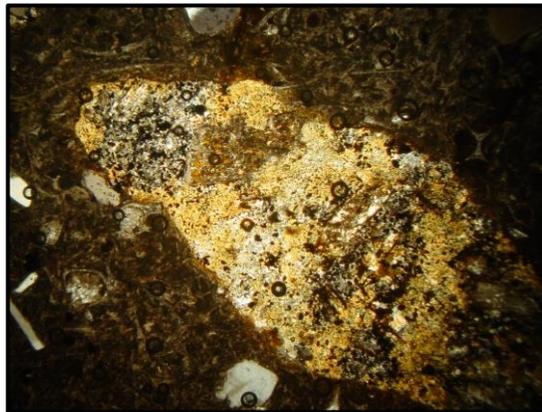
La pared Oeste de la quebrada tiene un afloramiento de grandes bloques de ignimbritas de composición andesíticas de color crema claro a rosado, en las muestras se observaron cristales de plagioclasas alargados. Esta zona es un valle, con escarpes pronunciados a ambos flancos y con litologías totalmente diferentes, esto nos indica que en profundidad debe existir el contacto entre ambas formaciones, el cual no es apreciable en superficie por la cantidad de material que ha sido transportada y depositada por las aguas de escorrentías. **(Foto 17)**

La quebrada que marca el contacto entre ambas formaciones se ubica en una zona de fallamiento, es decir el contacto entre ambas formaciones está definido por falla, las que se aprecian en la interpretación de imágenes satelitales e imágenes de sombra para definir las estructuras del sitio.



**Foto 17.** En la pared Oeste del afloramiento de la quebrada se observan ignimbritas andesitas poco trabajadas por el agua, como bloques angulosos. En el basamento se observan bloques muy consolidados de esta roca.

La siguiente lámina muestra la sección delgada de una roca ignimbritas. Mediante el análisis en el microscopio pudimos observar fragmentos de cuarzos angulosos a subangulosos de otro tipo de roca, los cuales están bien alterados, pequeño porcentaje de plagioclasas y feldespato de color gris, la matriz se encuentra formada mayormente por vidrio, **(Foto 18)**.



**Foto 18.** Fue tomada en las coordenadas 533775 E-1342310 N, muestra la alteración de fragmentos de cuarzo angulosos a subangulosos, con otros tipos de fragmentos de rocas.

### c. Unidad Intrusiva (Ti) “Dique Negro”

A lo largo de las formaciones sedimentarias de la Costa del Pacifico, se ven cuerpos intrusivos que afloran y se encuentran en contacto con las rocas de estas formaciones, son cuerpos intrusivos de composición intermedia a básica principalmente, tal es el caso de la formación El Fraile que se encuentra en contacto por un cuerpo intrusivo denominado Dique Negro.

Esta estructura intrusiva se ubica en la porción Suroeste del área de estudio, se trata de una fractura regional causada por movimientos tectónicos, por la que emergieron flujos de magmas de gabro de tipo basáltico hacia la superficie por medio de fracturas regionales cortando los sedimentos de la formación El Fraile. **(Foto 19).**



**Foto 19. Panorama del Intrusivo Dique Negro. La orientación medida en el campo fue de N25°W.**

Calculamos su ancho en 15 m aproximadamente y su extensión en el área de estudio es de unos 1.35 km., su orientación en nuestra ares es N25°W medida en campo y corroborada con imágenes satelitales, el buzamiento se midió en el campo de 70° al Noroeste.

La roca que constituye este dique en la descripción petrográfica es de textura granular con pequeños cristales idiomorfos de feldespatos de color verde oscuro, plagioclasas macladas, presenta clorita por minerales ferromagnesianos, es de textura glomoporfidica con fenocristales listiformes y bien desarrollados. Se definió la roca como un gabro diabásico. En la **Foto 20** se muestra la sección delgada tomada de esta roca.



**Foto 20.** La muestra presenta plagioclasas macladas, piroxeno en dos direcciones, olivino con fracturas conoidal, los bordes están corroídos por minerales ferromagnesianos, tiene una estructura glomoporfidico (como se observan los cristales agrupados). Se trata de un gabro diabásico. La muestra se tomó en las coordenadas: 528718 E-1337733

En la muestra de mano (**Foto 21**) se pueden observar los cristales de feldespatos alargados de 1cm de largo aproximadamente, la composición de esta roca es básica, de origen intrusivo y con mucho contenido de minerales ferromagnesianos.



**Foto 21.** Muestra de mano, nótese los cristales bien desarrollados.





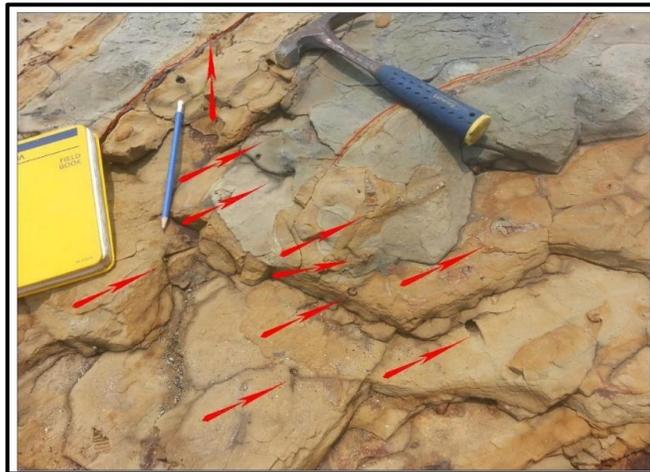
### 3.1.2 Fósiles

En la formación El Fraile, pudimos identificar dos tipos de fósiles, los cuales son definimos a continuación.

#### 3.1.2.1 Turritella

En los sedimentos de areniscas se observaron fósiles de Turritelas, son de edad Terciaria, comprendidas en el Mioceno Medio, estos moluscos miden 5.4 cm de largo, presenta una concha turritulada con vueltas abombadas y separadas por suturas profundas. En la foto 22, las flechas rojas muestran fósiles sedimentados en las areniscas de la formación El Fraile.

Las características de las Turritellas son: Concha cónica, estrecha y alta, puntiaguda, que puede llegar a 6 cm de longitud. Tiene unas 20 vueltas de espira, cada una con 3-6 crestas o costillas. La boca es pequeña, redondeada, y carece de ombligo. El opérculo es cóncavo, y en sus márgenes tiene numerosos pelillos. Color pardo rojizo, amarillento o blanquecino, con el pie y los sifones de extremo blanquecino.



**Foto 22.** En los estratos de arenisca de la formación El Fraile, se evidencia la presencia de fósiles de Turritella del periodo Terciario, época Mioceno inferior. Este fósil mide aproximadamente 5.4 cm de largo.

**Su Hábitat:** Enterrada parcialmente en arena o fango, a veces presente entre algas filtrando. Hasta los 200 m de profundidad. A veces es posible observar gran número de individuos juntos. El carácter de la formación el Fraile, define un ambiente de mar Nerítico – Playero con gran aporte de material piroclásticos.

### 3.1.2.2 Madera Fósil

En la exploración del terreno se logró recopilar gran cantidad de muestras de restos de madera fósil petrificada, que se encuentran principalmente en la región donde afloran las rocas de la formación El Fraile, **(Foto 23)**.

La fosilización de la madera es un conjunto de procesos por los que todo el material orgánico ha sido reemplazado con minerales (la mayoría de las veces variedades de la sílice). El proceso de petrificación sucede bajo tierra, cuando la madera queda enterrada bajo sedimentos, conservándose gracias a la ausencia de oxígeno. El agua rica en minerales que se filtra por los sedimentos deposita minerales en las células de la planta, de forma que cuando la lignina y la celulosa se descomponen, se forma un molde de roca en su lugar.



**Foto 23. Madera Fósil de la formación El Fraile, en las coordenadas 531600E, 1340541N**

### 3.1.3 Geomorfología local

La geomorfología del área de estudio se encuentra conformada por un relieve costero constituidos por farallones de rocas sedimentarias de 10 m de altura en la costa hasta mesetas de decenas de metros de altura. Además, se encuentra zonas de depósitos recientes, causados por la meteorización de las rocas. La porción media es una zona de transición entre las colinas de poca pendiente de la formación El Fraile y las mesetas elevadas de mayor altura, esto denota claramente una disgregación geológica según la morfología y los tipos de rasgos topográficos que generan ambos depósitos. **(Figura 8).**

La geomorfología se subdividió en tres unidades, según las características del terreno. Está definido por una zona de transición entre las rocas sedimentarias que forman un relieve poco elevado, hasta limitar con las zonas de escarpes pronunciados. Las unidades encontradas son:

#### 3.1.3.1 Unidad Aluvial (U1)

Esta unidad está representada por:

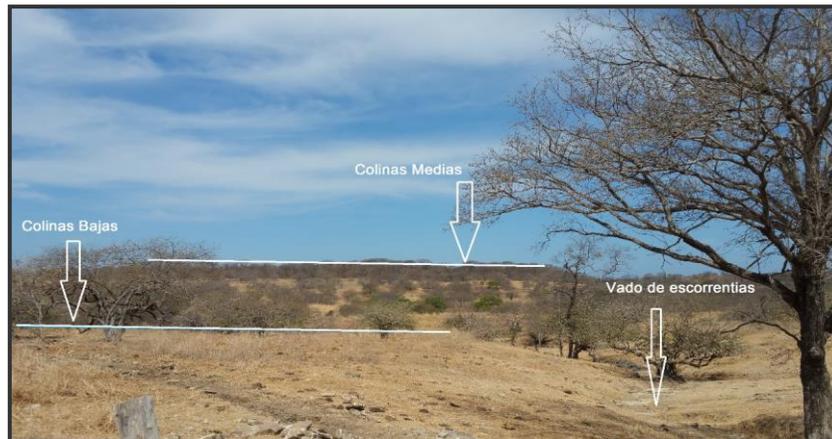
- Playas rellenas de sedimentos arenáceos, generalmente son arenas magnetíferas de color negro. Se encuentra en las zonas de las costas y se extienden en depresiones topográficas en dirección costa adentro, estas son esteros por donde corren las aguas del mar en mareas altas y donde circulan las aguas de escorrentías que provienen de las partes más altas que generan suelos superficiales.
- Zonas de baja topografía que no superan los 30 m de altura, estas zonas sirven de áreas donde se depositan sedimentos recientes provenientes de las zonas de escorrentías que acarrear las aguas a zonas bajas, la vegetación es de climas secos y áridos, está conformada por arbustos de poca altura hasta escasos árboles de unos 8 m de altura.

### 3.1.3.2 Unidad de Colinas (U2)

Estas se encuentran dominada por colinas de suaves pendientes, sin caídas bruscas en la topografía y de alturas comprendidas entre los 20 m.s.n.m y los 60 m.s.n.m en ciertas zonas donde las rocas sedimentarias alcanzan mayores espesores. La vegetación que predomina es en su mayoría son árboles de poca altura y poco consumo de agua, abundan los arbustos secos y los cactus de climas áridos, **(Foto 24)**.

Es una unidad está conformada por:

- Suelos superficiales, de origen residual, secos con arcillas y arenas, se observan pequeñas depresiones que alojan vados y ríos secos áridos por donde circulan las aguas de lluvias, provenientes de las zonas altas al Este de esta zona y que son transportadas por gravedad hacia las costas.
- Rocas de origen sedimentario de la formación El Fraile, con afloramientos característicos en los cortes de las colinas, donde se pueden apreciar las intercalaciones de sedimentos Terciarios. Esta unidad presenta un relieve escalonado con patrones de drenaje rectangular, formando ángulos rectos entre el río principal y sus tributarios, que se encuentra orientado al Noroeste y Noreste.



**Foto 24. Vista de la morfología (U2), unidad de colinas de la formación El Fraile, esta es una zona de topografía poco elevada.**

### 3.1.3.3 Unidad de Mesetas (U3)

Esta unidad se encuentra representada por mesetas de elevaciones comprendidas entre los 60 m.s.n.m y los 140 m.s.n.m. La génesis de esta unidad es producto de erupciones volcánicas en el periodo Terciario, se encuentra representada por rocas ignimbritas dacíticas pertenecientes a la formación El Tamarindo.

La topografía de las mesetas está dominada por crestas escarpadas pronunciadas y planicies en sus cumbres, **(Foto 25)**. Se encuentra segmentada por fallas transcurrentes. Por ella circulaban ríos que se observaron secos, probablemente en la época de invierno llenan sus cauces y dejan circular el agua en dirección hacia el mar. En esta zona la vegetación es más densa, los arboles toma mayores alturas y son más frondosos.

Es una unidad representativa que refleja la deposición de materiales volcánicos muy compactos, los cuales tuvieron su origen en el Terciario, en el periodo Mioceno medio e inferior. Se encuentran hoy en día muy consolidados.



**Fotografía 25. Vista del relieve e mesetas, conformado por rocas de la formación Tamarindo Inferior.**



### 3.1.4 Geología estructural

Cruden (1988) y Weinberg (1992), han dividido la evolución tectónica de Nicaragua Occidental en tres fases principales de deformación, las zonas adyacentes a la zona de la Costa Pacífica, la Depresión de Nicaragua y la parte Central del país. Plantean que la primera fase de deformación afectó las rocas de Nicaragua Occidental formando los grandes anticlinales de San Cayetano y Rivas, con orientación NW-SE en las rocas sedimentarias de la planicie Costera del Pacifico.

En la primera fase de deformación, la cual es nuestra zona de estudio, se encuentran rocas sedimentarias de la formación el Fraile y la formación Tamarindo, las cuales están afectada por un evento tectónico que están ocurriendo desde la edad Terciaria hasta la edad Cuaternaria.

#### Tipos de deformaciones de las rocas

**Deformación elástica:** el material se deforma, pero cuando cesa el esfuerzo, la deformación desaparece (por ejemplo, una goma elástica). Es, por tanto, una deformación reversible.

**Deformación plástica:** la deformación se mantiene, aunque el esfuerzo desaparezca (como ocurre con la plastilina). La deformación es irreversible.

**Deformación frágil:** el material se fractura como respuesta al esfuerzo (sería el caso de un vidrio roto). Al igual que la anterior, también es irreversible.

- Indicadores Cinemáticos

Las deformaciones en las rocas frágiles generan ciertos indicadores cinemáticos para definir la existencia de fallamiento, estos indicadores son:

- Estrías
- Sigmoides
- Estructuras R´

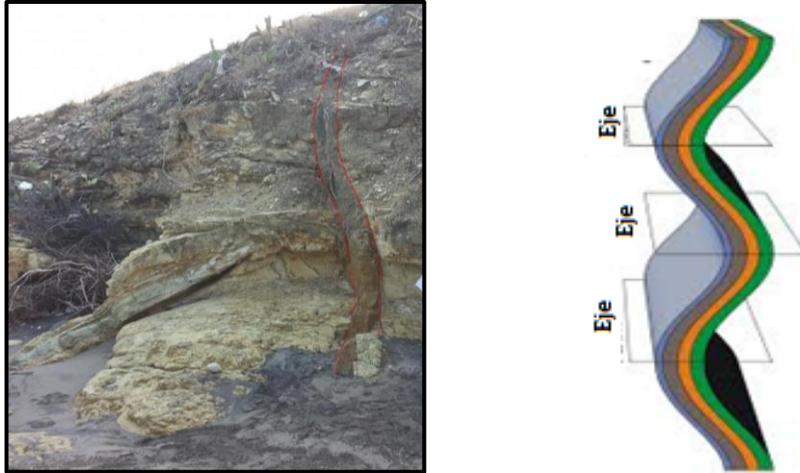
- Estructuras P´
- Sistemas conjugados
- Zonas de cizallas

#### **3.1.4.1 Estructuras locales**

En el levantamiento de campo encontramos plegamientos y diques sedimentarios, fracturas verticales y subverticales que tienen un patrón preferencial NW-SE, NE-SW y también se presentan fracturas poco comunes E-W, las cuales son de edades Terciarias, que no presentan desplazamientos en las capas de los estratos. Además, encontramos estructuras de rollos de flujos y fallas geológicas, posiblemente no activas. Se hizo interpretación estructural con base a la interpretación de fotografías aéreas y uso de la información geológica estructural existente, obteniendo los siguientes resultados.

##### **3.1.4.1.1 Plegamientos y Diques Sedimentarios**

En la zona de El Velero-Playa Hermosa se observó la presencia de pequeños plegamientos de dimensiones de 5 metros de amplitud del pliegue, este tipo de estructuras son comunes en esta zona debido a la plasticidad de los componentes, siendo en su mayoría material sedimentario. Estas estructuras, son diques sedimentarios, que se forman cuando se generan los sismos y estos generan aberturas en las rocas, sin generar desplazamientos y son rellenados por la arena con agua que asciende hacia la superficie, cementándose naturalmente. El plegamiento que presenta es generado por los esfuerzos tectónicos sobre las rocas. **(Foto 26)**



**Foto 26. Dique Sedimentario Plegado en las coordenadas 527545 E, 1341775 N**

Estructuralmente esta deformación corresponde a una deformación dúctil, en la que las deformaciones generadas en las rocas provienen de arriba hacia abajo ( $\Sigma 1$ ), esto genera un esfuerzo resultante ( $\Sigma 3$ ) en sentido horizontal (Izquierda y derecha) dejando como resultado la abertura entre las rocas, como se aprecia las **(Foto 26 y 27)**.



**Foto 27. Dique sedimentario en las coordenadas 527538 E-1341747 N. la abertura es de 30 cm de ancho, se encuentra rellena con arenas y cementada.**

### 3.1.4.1.2 Fracturas

Se observaron diferentes tipos de fracturas con orientación NE, NW y E-W. Las fracturas principales se encuentran con abertura desde 2 cm hasta 30 cm y algunas fracturas rellenadas por matriz arenosa de grano fino de color amarillento a rojizo. Estas no evidencian desplazamientos de las capas horizontales. Esta estructura generada como resultado de los esfuerzos de compresión se encuentran a lo largo de la costa en las paredes y el piso de la formación El Fraile, no evidencian desplazamiento **(Foto 28)**.



**Foto 28. Fracturas de tipo conjugadas, en la costa orientadas al NW-SE y NE-SW.**

Se observo en un afloramiento de la formación el Fraile una fractura subvertical orientada N50°W, con abertura de 3 cm a 5 cm, rellenadas con material calcita y arenas, no evidencia desplazamientos en las capas horizontales, coordenadas 1341562N-527410E **(Foto 29)**.

A lo largo de la costa en las coordenadas 1341681N-527537E encontramos fracturas en el piso orientadas E-W, posiblemente de edad Terciaria, las aberturas son desde 2 cm hasta 8 cm de ancho, se encuentran rellenadas de areniscas de grano fino. Las fracturas siguen con un rumbo hacia el océano. **(Foto 30)**



**Foto 29. Fractura subvertical, en la formación El Fraile.**



**Foto 30. Fractura en el piso con orientación E-W.**

Tanto en los afloramientos como en el piso de la costa hemos encontrado otras fracturas, que por ser muchas, las hemos definido, con sus coordenadas y sus orientaciones en anexo, tabla 2.

#### **3.1.4.1.3 Rollos de Flujo**

A lo largo de la costa se observan capas de areniscas contorsionadas, como si fueran deformados tectónicamente mientras que los lechos de arriba y debajo de este no se encuentran perturbados, generalmente estas deformaciones descansan sobre un lecho de lodo que suministro una superficie de deslizamiento, las que provocan que estos lechos deformados muestren pliegues asimétricos y pequeñas fracturas

Se puede observar (**Foto 31**) en el afloramiento de intercalaciones de areniscas, limolitas y lutitas, una estructura sedimentaria definida como “Rollos de Flujo”. Esta estructura de areniscas en forma de pliegue se forma cuando pequeños movimientos locales desplomaron los estratos mientras estos se depositaban sobre lodos que formaron un lubricante que a su vez fue exprimido. Dumbar, (1969). Esta estructura podría estar asociada a un slump, es una deformación por deslizamiento y probablemente una meteorización esferoidal del estrato de arenisca.



**Foto 31. Se puede observar una estructura de Rollos de Flujo formados en las rocas sedimentarias de la formación El Fraile, fractura orientada N52°W, en la parte derecha de la foto.**

#### **3.1.4.1.4 Fallas Geológicas**

Para el análisis de las fallas geológicas hicimos una interpretación estructural basada en la interpretación de fotografías aéreas, análisis de mapas de sombras, levantamiento de campo y uso de la información geológica estructural existente. Los rasgos estructurales predominantes identificados corresponden principalmente a las fallas orientadas por dos sistemas de fallas NW-SE y NE-SW. **(Figura 7).**

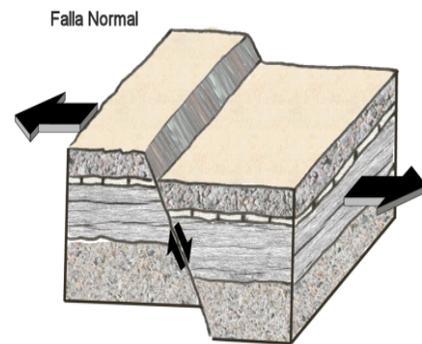
##### **Sistema Noroeste (NW)**

Este sistema de fallas se orienta paralelo a la fosa Mesoamericana, originado por la subducción entre la placa de Cocos y la placa del Caribe. Es un sistema que afecta en su totalidad el área estudiada, está dominado por fallas normales y fallas transcurrentes (desplazamiento horizontal).

En el levantamiento de campo se encontró que la estructura más relevante en este sistema es un intrusivo de composición básica (Dique Negro). Geológicamente es un filón subvertical que corta las rocas de la formación el Fraile, orientado entre N°35W a N42°W, aflora en la porción Suroeste del terreno aproximadamente por 1.4 km en el sector de

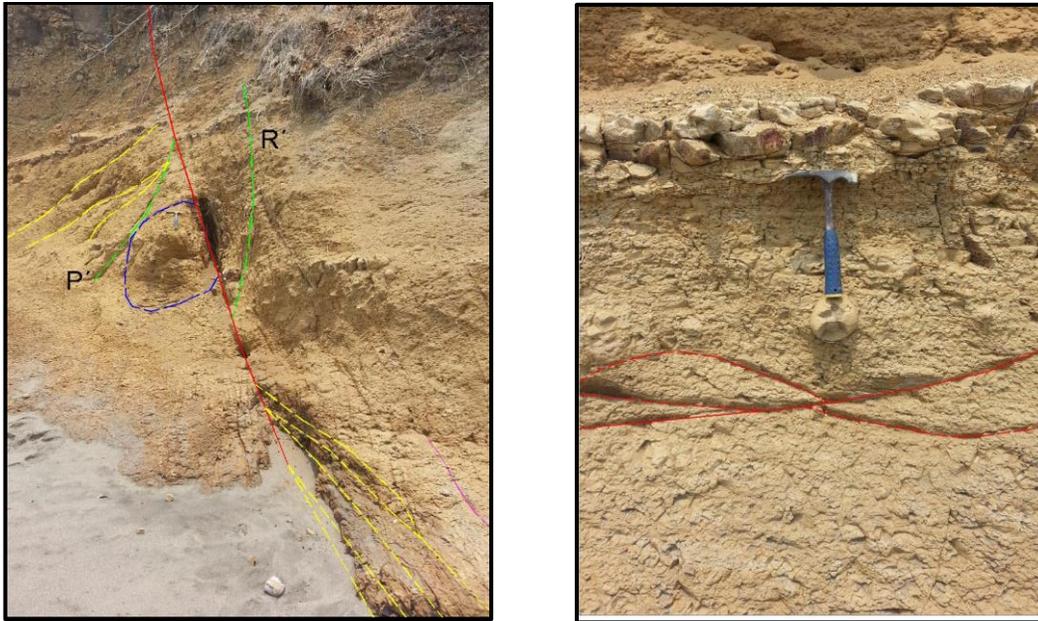
Playa Hermosa, probablemente se extienda hacia el Norte en profundidad, la cual no es apreciable en superficie.

En el área de El Velero se describió un afloramiento con la presencia de una falla listrica de Rumbo N35°W, el ángulo de inclinación del plano de falla es 70°SW y tiene 1.8 m de salto de falla. Esta falla desplaza los estratos de areniscas, lutitas y limolitas. Como indicadores cinemáticos tenemos estructuras R' (color amarillo), estructuras P' (color amarillo), estructuras en domino (bloques rotados en dirección a los estratos que caen) que a su vez forman estructuras R' y un sin número de fracturas de rumbos entre N10°W N40°W, (**Foto 32**).



**Foto 32.** En las coordenadas 527558 E, 1341816 N, al Noroeste del área estudiada, se observa una falla normal, estructuras en dominó en una zona de cizalla.

En el sector de Playa Hermosa se describió un afloramiento en las coordenadas 528385 E, 1339018 N. Se observa una falla normal de rumbo N15°W, con una inclinación de 80°SE. Esta estructura presenta una serie de estructuras R y P como indicadores cinemáticos. En la foto 33, la parte izquierda se observa la falla principal y en la derecha se muestran sigmoides producto de una falla listricas principal.



**Foto 33. En el Norte de Playa Hermosa se observó una falla con 70 cm de desplazamiento en la foto de la izquierda. Se pueden apreciar las estructuras R´ y P´ (color verde), terminaciones en cola de caballo (color amarillo) y sigmoides (color azul). En la foto de la derecha se ven fallas listricas conjugadas formando sigmoides entre ambas.**

En base a interpretaciones de imágenes de sombras e imágenes satelitales se definió un sistema de fallas orientadas N20°W hasta N35°W, se encuentra en la porción central del terreno, en los sectores de cerro las Mesitas, el Fraile, la Gloria y el Estero San José.

Este sistema de fallas normales, de caída lateral derecha se muestra en perfil en la formación el Fraile como un sistema de escalones, no está afectando a la formación el Tamarindo. Este sistema de fallas está controlado estructuralmente por la influencia la zona de subducción entre la placa de Cocos y la placa Caribe, es un sistema paralelo a la Fosa Mesoamérica.

Dentro de este sistema de fallas Noroeste se encuentran una serie de fallas transcurrentes que cruzan por los sectores del Chilamate, Mesa Grande y Loma el Fraile, estas tienen un rumbo preferencial entre N30°W hasta N55°W, se trata de una serie de fallas de movimiento lateral derecho (Dextrales). El movimiento provoca una rotación en

sentido horario a los bloques formados entre las fallas, principalmente se encuentra afectando a la formación el Tamarindo.

Para este sistema Noroeste (NW) se elaboró una roseta de fracturas, en la que el esfuerzo principal se definió en N30°W (330°NW) en esta dirección se localizan los esfuerzos de compresión ( $\sigma_1$ ) y los esfuerzos de extensión ( $\sigma_3$ ) a N60°W, lo que coincide con la zona orientación de la Fosa Mesoamericana, **(Figura 9-a)**.

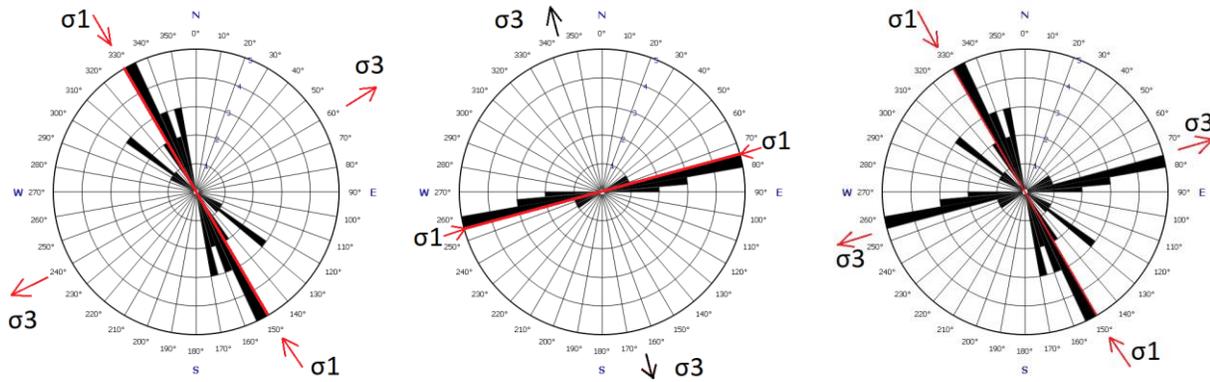
### **Sistema Noreste (NE)**

En la porción Norte del terreno, en el Velero, La Gloria y el Fraile se ubican una serie de fallas orientadas entre N80°E a N85°E, son una serie de fallas transcurrentes de desplazamiento lateral izquierdo (Sinestrales) formando una estructura escalonada, que desplazan las capas de rocas sedimentarias hacia la costa, son segmentos de fallas de 500 m de longitud hasta 1500 m aproximadamente.

En la parte Norte de playa Hermosa en dirección al Este hasta El Filete las Agujas, se localizan una serie de segmentos de fallas escalonadas de movimiento lateral izquierdo (sinestrales) con longitudes de 1 km hasta 1.8 km de longitud. En el sector de Filete las Agujas un segmento de esta falla se encuentra afectando a la formación Tamarindo, en este sitio corta una estructura más antigua de orientación NW.

En la porción Sur del área de interés en el sector de Playa Hermosa y el Retiro ubicamos trazos de fallas transcurrentes muy bien marcados en la topografía, son de movimientos lateral derecho (Dextral), estas fallas se orientan desde N65°E hasta N70°E.

Para este sistema Noroeste (NE) se elaboró una roseta de fractura, en la que el esfuerzo principal se definió en N65°E (65°NE) en esta dirección se localizan los esfuerzos de compresión ( $\sigma_1$ ) y los esfuerzos de extensión ( $\sigma_3$ ) a N65°E, se encuentran asociadas a la segmentación de las placas de Cocos bajo la placa Caribe, **(Figura 9-b)**.



**FIGURA. 9 (a). Roseta de Fractura Para El sistema NE,9. (b) roseta de fractura para el sistema NW y roseta de fractura de esfuerzos máximos alcanzados en la región.**

A este sistema corresponden fallas de desplazamiento lateral izquierdo, orientadas entre N85°E y N70°E, es un sistema de falla más joven que las orientadas al Noroeste, pues las desplaza seccionándolas en bloques, se encuentra asociado a la segmentación de la falla de cocos afectando principalmente a las rocas de la formación el Fraile. Los esfuerzos de compresión (Sigma 1) obtenidos en las rosetas de fractura para este sistema de fallas son N85°E (85°NE) y los esfuerzos de extensión (Sigma 3) se obtuvieron N15°W (355°NW), **(Figura 9-b).**

Los esfuerzos máximos de compresión (sigma 1) para la región de estudio son N30°W (330°NW) y los esfuerzos de extensión (sigma 3) son generados hacia N75°E, este sistema de fallamiento se encuentra dominado por la subducción de la placa de cocos con la placa Caribe, debido a esto tenemos fallas paralelas a la Fosa Mesoamericana y las fallas perpendiculares orientadas al NE se encuentran asociadas a la segmentación de las placas de Cocos bajo la placa Caribe.

El perfil geo-estructural se elaboró cortando transversalmente el área estudiada, tiene una longitud de 6.5 km de ancho y corta perpendicularmente las fallas y formaciones geológicas. Este perfil muestra en corte la topografía y refleja la orientación de desplazamiento de las fallas, en forma de bloques escalonados para la formación El Fraile. **(Figura 10)**



## Conclusiones y Recomendaciones

### Conclusiones

- El cuadrángulo Noroeste de la hoja topográfica de El Tránsito se encuentra constituida por materiales vulcano-sedimentario de edad Cuaternaria y Terciaria donde la actividad de la formación el Fraile y la formación Tamarindo, son afectadas geo-estructuralmente por fallas regionales y locales.
- En la formación sedimentaria El Fraile los Fósiles que afloran esta región son principalmente Turritelas pertenecientes al periodo Mioceno medio, encontrados en capas de areniscas y una abundante cantidad de Madera Fósil ambas observadas en la formación El Fraile.
- En base a análisis petrográfico de secciones delgadas se definió que la formación El Fraile está conformada por intercalaciones de: areniscas, limolitas, lutitas y conglomerados. La formación El Tamarindo presente en nuestra área de estudio se encuentra conformada por una roca Ignimbrita andesítica y la roca que compone el intrusivo “Dique Negro” es un gabro diabásico.
- El afloramiento típico de la zona de contacto de la formación el Fraile con la formación Tamarindo se ubicó en las coordenadas 531706 E, 1339981 N, aquí se observó un cambio litológico de conglomerados de areniscas en la pared Oeste y ignimbritas andesíticas en la pared Este de la quebrada Mesa Grande.
- El fallamiento supuesto se definió tomando en cuenta las reglas de las v, usando las curvas de nivel del mapa topográfico, también se elaboraron mapas de sombras e interpretación de imágenes satelitales para definir los patrones de drenajes el cual es rectangular y está definido por un control estructural.

- Estructuralmente se determinaron dos sistemas de fallamiento: El primero y más antiguo orientado al Noroeste (NW) paralelo a la zona de Subducción. El segundo y más reciente orientado al Noreste (NE) el cual esta asociado directamente a la segmentación de la placa de Cocos

## **Recomendaciones**

Según los resultados obtenidos de este estudio de actualización geológico se dan las siguientes recomendaciones:

- Continuar investigando la cartografía geológica a escala detalle (1: 10,000), para obtener la continuidad de las estructuras en la Costa del Pacifico en las partes restantes de esta hoja topográfica. Es importante que involucre los elementos geológicos que no contempla esta investigación.
- Realizar estudios geo-estructural de las formaciones El Fraile y Tamarindo, para definir a nivel regional la tectónica a la que están siendo sometidas estas formaciones geológicas.
- Realizar estudios multidisciplinarios para determinar el comportamiento y propiedades dinámica, y pseudo-estática (sistema de fuerzas actuantes) en materiales del subsuelo y su vinculación con la inestabilidad del terreno.
- Elaborar un estudio geológico económico para conocer el potencial de explotación de los recursos que se encuentran en esta área, tales como la calidad de las ignimbritas como agregados para construcciones ingenieriles, el potencial comercial de la madera fósil que se ubica en la formación el Fraile.

## Bibliografía

- Amoco Int, Oil Co., (1975). Source rock evaluation Curvina 2 well, off shore Nicaragua.
- Altamirano, G., (2015). Estudio de zonificación geológica por fallamiento superficial en terreno de proyecto hotel El Velero de Costa Cálida S.A.
- Altamirano, G., (2015). Estudio de zonificación geológica por falla superficial en terreno para el proyecto planta fotovoltaica 12 mwp. ROMANISA.
- Altamirano G., (1996) Estudio Geológico para Instalación de Planta Eléctrica de Puerto Sandino AMFEL-LAMSA Nicaragua.
- Catastro e Inventario de Recursos Naturales., (1972). Mapa geológico de El Tránsito.
- Bundschuh, J., & Alvarado, G. E. (2007). Central América: Geology, Resources and Hazards
- Darce, M. (1993). Recursos minerales de Nicaragua.
- Darce, M y Duarte, M., (2002). Geología de La Cuenca Sandino en Costa Adentro, Nicaragua, Centro América.
- Denyer, P., (). Geología y geotectónica de América Central y el Caribe.
- Dengo, G., (1968). Mapa geológico de Costa Rica, escala 1:7 000 000. Ministerio de Industria y Comercio.
- Dengo, G. (1983). Mid – América: Tectonic settings for the Pacific margin from Southern
- Donnelly, T. (1969). Problems of tectonic relations between Central America and the caribbean .
- Donnelly. G, The Geology of North America.
- Dunbar, R. (1969). Principios de Estratigrafía.
- Bundschuh, J & Alvarado, E. Central América: geology, resources, hazards. Vol 1. London. Taylor & Francis.

Elming S.A. (1986). Investigación paleomagnética y investigación y determinaciones de edades K-Ar en rocas volcánicas de Nicaragua.

E, R. A. (1989). Manual del coleccionista de fósiles. Barcelona: Ediciones Omega S.A.

Frenzl. (1989). Unidades geomorfológicas de Nicaragua.

Hodgson Valrey, G. (1984). Resumen de la Historia en el Perfil Geotransversal Nicaraguense - Estado del Conocimiento 1984.

Hodgson, G. (1985). Compilación de las anotaciones mineras y petroleras de la Costa del Pacífico y área central de Nicaragua.

Kuang, J. (1971). Estudio geológico del pacífico de Nicaragua.

Lilljequist R, Hodgson, G. (1983). Desplazamiento de las actividades volcánicas en Nicaragua y su relación entre paleo arcos antiguos y depósitos minerales.

Lilljequist R, Anderson Ch, Astrand P. (1984). Structural interpretation of landsat images over Tertiary volcanics in Nicaragua, Central America.

Mackenzie, W, Guilford, C y Adams, A. Atlas de rocas sedimentarias.

Mackenzie, W y Guilford, C. Atlas de petrografía, Minerales formadores de rocas.

Marshall, J., (2007). The Geomorphology and Physiographic Provinces of Central America. London.

Meschede, M & Frisch, W., (1998). The evolution of the Caribbean plate and its relation to global plate motion vectors: Geometric constraints for an inter American origin.

Nagarote., (26 de 05 de 2009). Nagarote blogspot . Obtenido de Nagarote y su historia: <http://nagarote.blogspot.com/>

Navarro, S., (2008). Escala de tiempo geológico para la geología de Nicaragua.

Paz Rivera, N., (1964). Reconocimiento geológico de la costa del pacífico de Nicaragua. Servicio geológico Nacional, informe N° 8.

Servicio Geológico Nacional., (1958). Geología de la Costa del Pacífico de Nicaragua. Zoppis, B y Guidice, D.

Servicio Geológico Nacional., (1957). Boletín No1.

SE-SINAPRED-DRM., (2005). Reporte sobre las Amenazas, Vulnerabilidad y Riesgos ante Inundaciones, Deslizamientos, Actividad Volcánica y Sismos, del Municipio de Nagarote.

USGS., (2006). FGDC Digital cartographic standard for geologic map symbolization.

VNIIZARUBEZHGEOLOGIA e INMINE., (1990). Mapa Cosmogeológico de la Republica de Nicaragua.

Varnes, D., (1958). Landslides, types and processes special report 29.

Varnes, D., (1978). Slope movement, types and processes special report 176.

Wilson, T., (1941). Reconocimiento Geológico de la Zona sur de León

Wilson, T y Fegginfer, A., (1942). Sumary report, geology of the Pacific coast area.

Zoppis, B y Guidice, D., (1957). Arenisca ferrífera de la Formación El Fraile, Puerto Somoza.

Zoppis, B y Guidice, D., (1958). Geología de costa del pacífico de Nicaragua.

## Anexos

**Tabla N°1. Afloramientos observados en campo. (Ver figura 1)**

No de muestra	Coordenadas Norte	Coordenadas Este	Puntos de observación
1	1341836	528891	Camino hacia la Comunidad El Velero, Formación el Fraile (Tmf)
2	1341640	528145	Comunidad El Velero, Formación el Fraile (Tmf)
3	1341910	527330	Comunidad El Velero, Formación el Fraile (Tmf)
4	1341948	527309	Comunidad El Velero, Formación el Fraile (Tmf)
5	1341346	527395	Comunidad El Velero, Formación el Fraile (Tmf)
6	1340691	527706	Comunidad El Velero, Formación el Fraile (Tmf)
7	1340156	527739	Comunidad El Velero, Formación el Fraile (Tmf)
8	1340112	527726	Comunidad El Velero, Formación el Fraile (Tmf)
9	1339583	527779	Comunidad El Velero, Formación el Fraile (Tmf)
10	1339318	528189	Comunidad El Velero, Formación el Fraile (Tmf)
11	1337733	528718	Playa Hermosa, Intrusivo Básico (Tib)
12	1337343	529168	Playa Hermosa, Intrusivo Básico (Tib)
13	1338911	530418	Comunidad el Retiro, Formación el Fraile (Tmf)
14	1340399	529181	Comunidad la Chanchila, Formación el Fraile (Tmf)
15	1340342	528449	Comunidad la Gloria Formación el Fraile (Tmf)
16	1341646	530614	Comunidad la Gloria Formación el Fraile (Tmf), Cuaternario coluvial
17	1341342	531765	Comunidad la Gloria Formación el Fraile (Tmf), Cuaternario coluvial
18	133966	531441	Comunidad la Gloria Formación el Fraile (Tmf)
19	1340499	532010	Comarca los Placeres, Formación Tamarindo (Tmt)
20	1340278	533529	Comarca los Placeres, Formación Tamarindo (Tmt)
21	1134231	533775	Comarca los Placeres, Formación Tamarindo (Tmt)

**Tabla N° 2. Fracturas representativas observadas en la costa del pacífico referente al área de estudio. (Ver figura 7).**

Fracturas	Coordenadas		Rumbo	Observaciones
	No	Norte		
FN1	1341622	527435	N20°E	se observó fractura abierta de 2 a 5 cm
FN2	1341601	527405	N15°E	se observa una fractura rellena de 2 a 4 cm
FN3	1341562	527410	N20°E	se observó fractura cerrada matriz arenosa
FN4	1341633	527414	N15°E	se observó fractura cerrada matriz arenosa
FN5	1341811	527378	N20°E	se observó fractura cerrada matriz arenosa
FN6	1341813	527382	N25°E	se observó fractura cerrada matriz arenosa
FN7	1341674	527401	N15°E	se observó fractura abierta de 2 a 5 cm
FN8	1341763	527529	N32°E	se observó fractura abierta de 3 a 5 cm
FN9	1341749	527538	N15°E	se observó fractura rellenada de 2 a 5 cm
FN10	1341707	527537	N20°E	se observó fractura sin desplazamiento
FN11	1341705	527544	N30°W	se observó fractura rellena matriz arenosa
FN12	1341681	527537	EW	se observó fractura abierta de 3 a 10 cm
FN13	1341801	527533	EW	se observó fractura abierta de 2 a 10 cm
FN14	1341705	527378	N82°W	se observó fractura abierta de 2 a 6 cm
FN15	1341700	527394	N82°W	se observó fractura abierta de 2 a 5 cm
FN16	1341665	527412	N75°W	se observó fractura abierta de 5 a 10 cm

**Tabla N°3. Datos para la elaboración de Diagrama de Roseta para las fallas con Rumbo Noreste (NE)**

No de datos	Azimut	Descripción
1	85	Fallas Noreste-Suroeste
2	80	Fallas Noreste-Suroeste
3	82	Fallas Noreste-Suroeste
4	88	Fallas Noreste-Suroeste
5	78	Fallas Noreste-Suroeste
6	72	Fallas Noreste-Suroeste
7	75	Fallas Noreste-Suroeste
8	55	Fallas Noreste-Suroeste
9	65	Fallas Noreste-Suroeste
10	60	Fallas Noreste-Suroeste
11	75	Fallas Noreste-Suroeste
12	78	Fallas Noreste-Suroeste
13	270	Fallas Noreste-Suroeste
14	270	Fallas Noreste-Suroeste

**Tabla 4. Datos para la elaboración de Diagrama de Rosetas para las fallas con Rumbo  
Noroeste (NW)**

No de datos	Azimut	Descripción
1	340	Fallas Noroeste-Sureste
2	345	Fallas Noroeste-Sureste
3	325	Fallas Noroeste-Sureste
4	302	Fallas Noroeste-Sureste
5	348	Fallas Noroeste-Sureste
6	340	Fallas Noroeste-Sureste
7	335	Fallas Noroeste-Sureste
8	332	Fallas Noroeste-Sureste
9	335	Fallas Noroeste-Sureste
10	337	Fallas Noroeste-Sureste
11	334	Fallas Noroeste-Sureste
12	330	Fallas Noroeste-Sureste
13	332	Fallas Noroeste-Sureste
14	305	Fallas Noroeste-Sureste
15	330	Fallas Noroeste-Sureste
16	310	Fallas Noroeste-Sureste
17	330	Fallas Noroeste-Sureste
18	295	Fallas Noroeste-Sureste
19	309	Fallas Noroeste-Sureste
20	325	Fallas Noroeste-Sureste
21	315	Fallas Noroeste-Sureste
22	328	Fallas Noroeste-Sureste

**Tabla 5. Datos para la elaboración de Diagrama de Rosetas para todas las fallas NW y NE**

No de Datos	Azimut	Descripción
1	85	Fallas Noreste-Suroeste
2	80	Fallas Noreste-Suroeste
3	82	Fallas Noreste-Suroeste
4	88	Fallas Noreste-Suroeste
5	78	Fallas Noreste-Suroeste
6	72	Fallas Noreste-Suroeste
7	75	Fallas Noreste-Suroeste
8	55	Fallas Noreste-Suroeste
9	65	Fallas Noreste-Suroeste
10	60	Fallas Noreste-Suroeste
11	75	Fallas Noreste-Suroeste
12	78	Fallas Noreste-Suroeste
13	270	Fallas Noreste-Suroeste
14	270	Fallas Noreste-Suroeste
15	345	Fallas Noroeste-Sureste
16	340	Fallas Noroeste-Sureste
17	345	Fallas Noroeste-Sureste
18	325	Fallas Noroeste-Sureste
19	302	Fallas Noroeste-Sureste
20	348	Fallas Noroeste-Sureste
21	340	Fallas Noroeste-Sureste
22	335	Fallas Noroeste-Sureste
23	332	Fallas Noroeste-Sureste
24	335	Fallas Noroeste-Sureste
25	337	Fallas Noroeste-Sureste
26	334	Fallas Noroeste-Sureste
27	330	Fallas Noroeste-Sureste
28	332	Fallas Noroeste-Sureste
29	305	Fallas Noroeste-Sureste
30	330	Fallas Noroeste-Sureste
31	310	Fallas Noroeste-Sureste
32	330	Fallas Noroeste-Sureste
33	295	Fallas Noroeste-Sureste
34	309	Fallas Noroeste-Sureste
35	325	Fallas Noroeste-Sureste
36	315	Fallas Noroeste-Sureste
37	328	Fallas Noroeste-Sureste

<b>Código de Campo: ACW1 Descripción Petrográfica</b>		
<b>Textura</b>	<b>Clástica</b>	
	<b>% Fenocristales</b> <b>42%</b>	<b>% Matriz</b> <b>45%</b>
<b>Descripción Modal</b>	<p><b>Tamaño de grano: Arcilla</b></p> <p><b>Clastos; clastos de cuarzo</b></p> <p><b>Grado de redondez; Sub-redondeados</b></p> <p><b>Clasificación de los clastos; bien clasificado</b></p> <p><b>Madures; Sub-maduro</b></p> <p><b>Cuarzo; muy estable, con fracturamiento, está distribuido pocas partes en cantidades menores</b></p> <p><b>Feldespatos: se aprecian bastante estables fragmento de roca; se logra apreciar en la matriz de la roca</b></p>	<b>Matriz soportada</b>
<b>Elementos trazas</b>	<b>% Feldespato</b>	<b>% Cuarzo</b>
	<b>15%</b>	<b>37%</b>
	<b>% Fragmento de roca (Limo-Arcilla)</b>	<b>% Calcita</b>
	<b>45%</b>	<b>3%</b>
<b>Nombre por análisis</b>	<b>Arenisca de grano fino a medio</b>	

<b>Código de Campo: ACW2 Descripción Petrográfica</b>		
<b>Textura</b>	<b>Clástica</b>	
	<b>% Fenocristales</b> <b>25%</b>	<b>% Matriz</b> <b>75%</b>
<b>Descripción</b>	<p><b>Tamaño de grano: arena</b></p> <p><b>Grado de redondez; sub-angulares a sub-redondeados</b></p> <p><b>Clasificación de los clastos; bien clasificado</b></p> <p><b>Cuarzo; está distribuido en toda la muestra, muy estable ligeramente interrumpido por pequeñas fracturas</b></p> <p><b>Feldespatos; se aprecian bastante estables en pocas cantidades</b></p> <p><b>Calcita; se aprecia en poca cantidad</b></p> <p><b>fragmento de roca; se logra apreciar en la matriz de la roca</b></p>	<b>Matriz de limo</b>
<b>Elementos trazas</b>	<b>% Feldespato</b>	<b>% Cuarzo</b>
	<b>5%</b>	<b>15%</b>
	<b>% Fragmento de roca (Limo-Arcilla)</b>	<b>% Calcita</b>
	<b>75%</b>	<b>5%</b>
<b>Nombre por análisis</b>	<b>Lutita arenácea</b>	

<b>Código de Campo: ACW3 Descripción Petrográfica</b>		
<b>Textura</b>	<b>Porfiritica hipocristalino</b>	
	<b>% Fenocristales</b> <b>77%</b>	<b>% Matriz</b> <b>13%</b>
<b>Descripción</b>	<p><b>Plagioclasa:</b> se encuentra distribuida en toda la muestra, con maclas de albita polisintéticas.</p> <p><b>Piroxeno;</b> maclado en dos direcciones, del sistema monoclinico, agregados columnares.</p> <p><b>Olivino:</b> con fractura concoidal, monoclinico, relieve muy alto, con fisuras de óxido de hierro que se van descomponiendo es un agregado</p> <p><b>Clorita:</b> en los bordes por minerales ferromagnesianos.</p> <p><b>Minerales opacos:</b> del sistema cubico indicadores de magnetita, también con presencia de óxido de manganeso no hay presencia de óxido de hierro</p>	
<b>Elementos trazas</b>	<b>% Plagioclasas</b>	<b>% Olivino</b>
	<b>75%</b>	<b>2%</b>
	<b>% Piroxeno</b>	<b>% Magnetita</b>
	<b>10%</b>	<b>13%</b>
<b>Nombre por análisis</b>	<b>Gabro diabasico</b>	

<b>Código de campo: ACW4 Descripción Petrográfica</b>		
<b>Textura</b>	<b>Clástica</b>	
	<b>% Fenocristales</b> 15%	<b>% Matriz</b> 85%
<b>Descripción</b>	<b>Tamaño de grano: Limo</b>	<b>Arcilla</b>
	<b>Cuarzo; se encuentra en toda la muestra, los clastos varían de sub-angulosos a sub-redondeados</b>	
	<b>Clasificación de los clastos; bien clasificados</b>	
	<b>Fragmento de roca; en la matriz de la roca</b>	
	<b>Clorita; se encuentra en los bordes por presencia de minerales ferromagnesianos</b>	
<b>Elementos trazas</b>	<b>% Feldespato</b>	<b>% Cuarzo</b>
	5%	8%
	<b>% Fragmento de roca (Limo-Arcilla)</b>	<b>% Calcita</b>
	85%	2%
<b>Nombre por análisis</b>	<b>Limolita</b>	

<b>Código de Campo: ACW5 Descripción Petrográfica</b>		
<b>Textura</b>	<b>Porfiritica hipocritalino</b>	
	<b>% Fenocristales</b> 85%	<b>% Matriz</b> 15%
<b>Descripción Modal</b>	<p><b>Clastos; clastos de cuarzo y de otro tipo de fragmentos de roca</b></p> <p><b>Grado de redondez; angulosos a sub-angulosos</b></p> <p><b>Debido al grado de alteración los clastos se encuentran bien alterados, esto hace que no se defina su composición debido a la alteración, soportado por matriz.</b></p> <p><b>Plagioclasa; en un pequeño porcentaje.</b></p> <p><b>Feldespatos; difícil de visualizar debido al grado de alteración de la muestra.</b></p>	<p><b>Matriz soportada, se encuentra formada mayormente por vidrio.</b></p>
<b>Elementos trazas</b>	<b>% Feldespato</b>	<b>% Cuarzo</b>
	30%	40%
	<b>% Plagioclasa</b>	<b>% Biotita</b>
	25%	5%
<b>Nombre por análisis</b>	<b>Ignimbrita andesitica</b>	