



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

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

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

**“CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLOGICAS PARA EL
DISEÑO DE COSECHAS DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y
LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELÍ”.**

PRESENTADO POR:

BR. HEIMA E. CHAVARRÍA VÍLCHEZ.

BR. ANUAR JOSÉ MARTÍNEZ RIVERA.

TUTORA:

MSc. GEMA VELÁSQUEZ.

ASESOR:

ING. NOEL RODRIGUEZ.

MANAGUA, DICIEMBRE DE 2017

INDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.2 ANTECEDENTES.....	3
1.3 LOCALIZACIÓN	4
1.4 CLIMA.....	7
1.5 ACTIVIDADES ECONÓMICAS.....	7
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	9
1.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
2. METODOLOGÍA.....	11
2.1 ETAPA DE GABINETE	11
2.2 ETAPA DE CAMPO	11
2.3 MATERIALES.....	12
2.4 POBLACIÓN Y MUESTRA	13
2.5 ETAPA DE INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	14
3. MARCO TECTÓNICO Y GEOLÓGICO REGIONAL DE NICARAGUA	24
3.1 MARCO TECTÓNICO DE AMÉRICA CENTRAL	24
3.2 MARCO GEOLÓGICO DE NICARAGUA.....	25
4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	30
4.1 GEOLOGÍA LOCAL	30
4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LOS SITIOS	43
4.3 GEOTECNIA APLICADA	59
4.4 RESULTADO DEL CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE LOS EMBALSE	70
5. CONCLUSIONES.....	81
RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXOS	86

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización.....	6
Figura 2. Materiales usados para análisis de ensayo.....	16
Figura 3. Juego de tamices	16
Figura 4. Esquema Bishop	19
Figura 5. Análisis de taludes método Bishop.....	20
Figura 6. Esquema Programa ArcGIS.....	22
Figura 7. Esquema Programa GEO5 para análisis estabilidad de taludes.....	23
Figura 8. Marco Geológico América Central.....	25
Figura 9. Provincias Geológicas de Nicaragua.....	26
Figura 10. Esquema Tipos de esfuerzos tectónicos.....	45
Figura 11. Esquema indicadores cinemáticos de fallas y fracturas	46
Figura 12. Diagrama de roseta de fracturas NE-SW	54
Figura 13. Diagrama de roseta de fracturas NW-SE	58
Figura 14. Curva granulométrica calicata 1, muestra 1, La Grecia.....	60
Figura 15. Curva granulométrica calicata 1, muestra 1, Ocotillo	63
Figura 16. Curva granulométrica calicata 2, muestra 1, Ocotillo	65
Figura 17. Curva granulométrica calicata 2, muestra 2, Ocotillo	68
Figura 18. Superficie de deslizamiento, embalse La Grecia	72
Figura 19. Superficie de deslizamiento, embalse Ocotillo	77

INDICE DE FOTOS

Foto 1. Vista panorámica cosecha de agua Ocotillo	5
Foto 2. Vista panorámica cosecha de agua La Grecia.....	5
Foto 3. Excavación de calicata.....	12
Foto 4. Equipo geológico de campo	13
Foto 5. Toma de muestras de suelos en calicata	14
Foto 6. Afloramiento Andesítico de flujo La Grecia	32
Foto 7. Andesita de flujo textura afanítica, Ocotillo	33
Foto 8. Andesita porfirítica calicatas La Grecia y Ocotillo	34
Foto 9. Afloramiento Andesítico textura porfirítica, en Ocotillo	35
Foto 10. Representación macroscópica de Andesita porfirítica.....	36
Foto 11. Afloramiento Andesítico Tobáceo, La Grecia	37
Foto 12. Andesita tobácea lítica alterada	37
Foto 13. Afloramiento Dacita toba, La Grecia.....	38
Foto 14. Representación macro Dacita toba, La Grecia.....	39
Foto 15. Domo Riolítico aflorante, Ocotillo	40
Foto 16. Flujo Riolítico afanítico, Ocotillo	41
Foto 17. Vista en planta de llano Las Brisas, La Grecia	42
Foto 18. Suelo areno–arcilloso, Cuaternario aluvial, Ocotillo	42
Foto 19. Lineamiento de falla, La Mestiza, La Grecia	48
Foto 20. Zona de falla La Mestiza, La Grecia.....	48
Foto 21. Sistema conjugado de fracturas falla La Mestiza	49
Foto 22. Corte en falla quebrada El Cianuro, La Grecia.....	50
Foto 23. Falla horizontal Las Rosillas, Ocotillo.....	51
Foto 24. Indicadores cinemáticos de falla Las Rosillas	52
Foto 25. Corte aflorante movimiento normal de falla entre Ocotillo y Colocondo ..	53
Foto 26. Corte aflorante sistema de fracturas paralelas en Colocondo.....	53
Foto 27. Zona de falla y sistema de fracturamiento paralelo, Cerro La Pila	56
Foto 28. Corte aflorante fracturas paralelas, El Jicarito.....	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas cosecha de agua La Grecia	4
Tabla 2. Coordenadas cosecha de agua Ocotillo	4
Tabla 3. Ensayos de clasificación de suelo	14
Tabla 4. Componentes fraccionales, calicata #1, capa #1 La Grecia	60
Tabla 5. Distribución de tamaño de grano calicata #1, capa #1 La Grecia	61
Tabla 6. Resultados de coeficientes, límites de Attemberg y clasificación calicata #1, capa #1 La Grecia	61
Tabla 7. Componentes fraccionales, calicata #1, capa #1 Ocotillo	63
Tabla 8. Distribución de tamaño de grano calicata #1, capa #1 Ocotillo	64
Tabla 9. Resultados de coeficientes, límites de Attemberg y clasificación calicata #1, capa #1 Ocotillo	64
Tabla 10. Componentes fraccionales calicata #2, capa #1 Ocotillo	66
Tabla 11. Distribución del tamaño del grano calicata #2, capa #1 Ocotillo	66
Tabla 12. Resultados de coeficientes, límites de Attemberg y clasificación calicata #2, capa #1, Ocotillo	67
Tabla 13. Componentes fraccionales calicata #2, capa #2 Ocotillo	68
Tabla 14. Distribución del tamaño del grano calicata #2, capa #2 Ocotillo	69
Tabla 15. Resultados de coeficientes, límites de Attemberg y clasificación calicata #2, capa #2, Ocotillo	69
Tabla 16. Determinación del coeficiente de seguridad	71
Tabla 17. Estabilidad Global, coeficientes de seguridad mínimos	71
Tabla 18. Factor de seguridad de sitio, La Grecia	73
Tabla 19. Interface de estabilidad, La Grecia	73
Tabla 20. Parámetros de suelo y roca La Grecia	73
Tabla 21. Asignación de interface de suelo y roca, La Grecia	74
Tabla 22. Análisis de superficie de deslizamiento circular La Grecia	75
Tabla 23. Factor de seguridad de sitio, Ocotillo	78
Tabla 24. Interface de estabilidad, Ocotillo	78
Tabla 25. Parámetros de suelos Ocotillo	78
Tabla 26. Asignación de interface de suelo y roca, Ocotillo	79
Tabla 27. Análisis de superficie de deslizamiento circular	80

INDICE DE ANEXOS.

Mapa Geológico del área	87
Columna estratigráfica generalizada	88
Mapa de elevaciones del área	89
Mapa de puntos de muestreo del área	90

DEDICATORIA

Br. Heima Chavarría.

*A mi querida abuela **Filomena Beatriz Vélchez (QEPD)** tan fuerte como un roble fue alguna vez, por ser el mayor pilar en mi vida, y ser el mejor ejemplo de una mujer luchadora y trabajadora que pude tener, sobre todo por su amor.*

*A **mis Padres** por darme la vida e impulsarme a ser mejor cada día. A mi hermana Karla A. y a mis hermanos Alex y Gustavo. A mi prima Laura K. y demás familiares, por ser parte importante de mi vida.*

Br. Anuar Martínez.

*Dedico este Trabajo principalmente **a Dios**, por haberme dado la vida y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional.*

*A **mis Padres** por darme una carrera para mi futuro y creer en mí, siempre dándome su apoyo, consejos, comprensión, amor, su paciencia y sobre todo ayuda en los momentos difíciles.*

A toda mi familia en general porque me han brindado su apoyo y por compartir conmigo buenos y malos momentos, poder contar con ellos es lo más valioso que Dios me ha dado.

AGRADECIMIENTOS

Br. Heima Chavarría.

Agradezco a Dios por el don de la vida y el permitirme llegar a este momento importante. A mis padres: Luisa Vílchez y Pedro Chavarría por enseñarme el valor de la vida, a luchar y trabajar para conseguir este logro así como por los valores que me han transmitido. A mis hermanos y demás familiares.

A mi compañero de Seminario Br. Anuar Martínez por su compañerismo y amistad en el recorrido de nuestra carrera, por complementar y trabajar de la mano en esta investigación.

A la MSc. Gema Velásquez por su tutoría y apoyo fundamental en la elaboración del presente documento. A mí querido amigo Ing. Cesar Aguilera por su asesoría y apoyo, pero sobre todo por su amistad incondicional.

A los ingenieros Noel Rodríguez V. y Noel Rodríguez Z. por su apoyo incondicional, por sus asesorías, consejos y amistad.

A mi alma mater UNAN – Managua por abrirme las puertas y hacerme parte de ella, a mis Profesores en especial al profesor Edmundo Aguirre, Nelson Buitrago, Antonio Alvares (QEPD) y Mario Chávez (QEPD) por su dedicación al transmitirme sus conocimientos científicos, así como sus consejos y apoyo.

Br. Anuar Martínez.

Le agradezco a Dios por bendecirme, acompañarme y haberme guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad, por brindarme una vida llena de aprendizaje y sobre todo felicidad.

Le doy gracias a mis Padres, José Miguel Martínez y Gladys Rivera por darme la vida, apoyarme en todo momento, por los valores que me han incluido y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación y sobre todo por su ejemplo de vida a seguir.

A Gonzalo Lacayo y Griselda Varela, por todo su apoyo, ayuda y comprensión a lo largo de toda mi carrera y la vida que pase junto a ellos.

A mi Hermana Gladys Karellys Martínez Rivera y demás Familiares por ser el soporte y parte muy importante en mi vida y representar la unidad familiar, por sus consejos, su ayuda y su apoyo incondicional.

A Eleana Sánchez y amistades por estar siempre a mi lado apoyando, brindándome consejos y su comprensión en todo momento.

A mi compañera de Seminario Br. Heima Chavarría por su amistad, apoyo y compañerismo en toda nuestra carrera y sobre todo en este trabajo.

A la MSc. Gema Velásquez y al Ing. Noel Rodríguez por su apoyo, y el compartir sus consejos y su amistad en todo momento.

Doy gracias a la UNAN – Managua y mis Profesores por la confianza y dedicación de tiempo, por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

RESUMEN

La caracterización geológica para el diseño de cosechas de agua en las comunidades La Grecia y Ocotillo y sus alrededores, considera la localización de sitios críticos de problemáticas de abastecimiento de agua.

La investigación comprende un desarrollo progresivo de diferentes fases que inicia desde la etapa de gabinete, con la recopilación bibliográfica y revisión de la cartografía, hasta el procesamiento de datos geológicos-geotécnicos obtenidos en campo con un reconocimiento geológico y estructural de las áreas de estas comunidades y alrededores, así como muestreos, elaboración de mapas, correlaciones, ensayo de laboratorio de muestras de suelo de los sitios de capas de suelo de 3 sondeos manuales (calicatas) ubicados en los sitios de investigación, usando ensayos de análisis granulométricos de suelos ASTM D-422, clasificación SUCS/AASHTO ASTM D-2487 ó AASHTO M.145, con estos parámetros de suelo obtenidos se procedió a ejecutar el cálculo de la estabilidad de los embalses que se pretenden diseñar en dichas comunidades; además, de los análisis de los resultados que permitan integrar todas las variables en un modelo geológico-geotécnico final.

Las áreas de estudio muestran una geología de cuatro unidades litológicas que corresponden a las siguientes unidades: Unidad riolita (Tmci), Unidad andesita (Tmca), Unidad dacita (Tmcd), Unidad cuaternario (Qal). Se identificaron dos sistemas de deformaciones principales, de orientación NE-SW y NW-SE constituidos por fallas de carácter local de las cuales según sus indicadores cinemáticos su mecanismo de movimiento y deformación es de tipo normal. Los resultados obtenidos de ensayos de análisis granulométricos de suelos (ASTM D-422) y de clasificación SUCS/AASHTO ASTM D-2487 ó AASHTO M.145 nos indicaron que los suelos encontrados en la comunidad La Grecia corresponden a suelos de granos con mayor porcentajes de grano grueso tipo arena y en menor cantidad correspondiente a arcilla. Los suelos encontrados en la comunidad Ocotillo corresponden a suelos de granos con mayores porcentajes de grano fino y menor porcentaje de gravas finas.

Para nuestro país, aún no se ha publicado un código geotécnico, debido es esto, el análisis de la estabilidad de los embalses por medio de cálculos de métodos de equilibrios límites, en las comunidades se estableció un factor de seguridad de 1.5, tomando como base la guía de cimentaciones en obras de carreteras del Ministerio de Fomento de España (2009), siendo como resultados factores de seguridad calculados, mayores a 1.5 para los sitios La Grecia y Ocotillo; se consideran valores aceptables para el diseño de las obras ingenieriles en dichos sitios.

1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación caracteriza los aspectos geológico-geotécnicos para la problemática de agua en las comunidades La Grecia y Ocotillo del municipio de San Juan de Limay, que se encuentra dentro de la Provincia Central de Nicaragua, llamada Tierras altas del interior la cual se caracteriza por rocas volcánicas Terciarias.

La caracterización geológicas locales han sido de importancia para evaluar las condiciones previas de los suelos y las rocas a nivel local con el fin de conocer los parámetros geotécnicos del suelo encontrado en los sitios de interés y realizar el cálculo de estabilidad de los embalses (Cosecha de agua) que se pretenden diseñar en los sitios La Grecia y Ocotillo. Estos cálculos se realizan a través de métodos de equilibrios límites que determinan el factor de seguridad de dicha obra ingenieril.

Como resultado de las investigaciones de campo se confeccionó un mapa geológico a escala 1: 50000 basado en el mapa geológico realizado por Hodgson G. y William R (1971), y se plantea la información obtenida de las diferentes unidades geológicas de las cuales se destacan unidades del Grupo Coyol inferior, estructuras de fallas y fracturas que pertenecen a las fases de deformación o fases de fallamiento presentes en los sitios de estudio, con direcciones preferenciales NE-SW (Primera fase de deformación), esta primera fase de deformación podría afectar el área de ocotillo; y NW-SE (Segunda fase de deformación), esta segunda fase podría afectar el área de La Grecia.

Los resultados en laboratorio de clasificación de suelo en las comunidades, corresponden a suelos de textura areno-arcillosa de peso específico de 1.6 KN/m^3 para la comunidad La Grecia y para la comunidad Ocotillo, suelos de textura areno-limosa con grava de peso específico de 7.5 KN/m^3 .

1.1 OBJETIVOS

Objetivo General

- Caracterizar las condiciones geológicas para el diseño de cosechas de agua en las comunidades Ocotillo y la Grecia, municipio de San Juan de Limay.

Objetivos Específicos

- Clasificar los suelos desde el punto de vista geotécnico utilizando ensayos de análisis granulométricos de suelos ASTM D-422, clasificación SUCS/AASHTO ASTM D-2487 ó AASHTO M.145.
- Estimar la estabilidad del embalse por medio de métodos de equilibrios límites.
- Evaluar las condiciones geológicas estructurales de los sitios.

1.2 ANTECEDENTES

McBirney y Williams. 1965. Realizaron un trabajo geológico regional de la estratigrafía, tectónica y vulcanismo, con descripción geológica y de yacimientos de prospectos mineros reconocidos en la región y su relación con las rocas volcánicas del Terciario, pertenecientes a la Provincia Central y Provincia de las Tierras Altas del Norte.

Hodgson G. 1971. Elaboró un documento sobre la geología y anotaciones estructurales y mineralógicas de la Planicie Noroeste y la pre-cordillera Occidental, incluyendo las áreas de la hojas topográficas de Cinco Pinos (2855 IV), San Juan de Limay (2855-I), Somotillo (2855-III), Achuapa (2855-II), Puerto Morazán (2754-I) Villa Nueva (2854- IV) El Sauce (2854- I) San Nicolás (2954-IV), Larreynaga (2854-II), y Santa Rosa del Peñón (2954-III).

Schliz M. 2009. Realizo un análisis geoestructural en las áreas ocupadas por las hojas topográficas de Cinco Pinos y San Juan de Limay. Propone cinco fases de deformación, la primera fase de fallamiento con patrón NW-SE, la segunda fase se reflejan con un intenso vulcanismo de escudo estratiforme emplazado a través de fracturamiento existente NW-SE. La tercera fase con fallamiento de dirección E-W, la cuarta fase de fallamiento con un patrón de dirección NE-SW y la quinta fase de fallamiento con dirección N-S.

1.3 LOCALIZACIÓN

Los sitios de cosecha de agua La Grecia y Ocotillo (Ver foto 1 y 2), están ubicados en el municipio de San Juan de Limay, departamento de Estelí (hoja topográfica 2855-I) (Ver figura 1). El Municipio de San Juan de Limay tiene una extensión territorial de 470 km², está ubicado al norte de Managua, capital de la República y a 45 km, de la cabecera Departamental, Estelí. La cabecera Municipal se encuentra a 281 metros sobre el nivel del mar (Ver mapa de elevaciones en anexos).

Límites Municipales:

Norte: Municipio de Pueblo Nuevo

Este: Municipio de Estelí

Sur: Municipio de Achuapa

Oeste: Municipios de San Francisco del Norte y Cusmapa

Tabla 1. Coordenadas La Grecia

Coordenadas	La Grecia
UTM X (Este)	UTM Y (Norte)
546338	1456686

Tabla 2. Coordenadas Ocotillo

Coordenadas	Ocotillo
UTM X (Este)	UTM Y (Norte)
552353	1463520

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**



Foto 1. Vista panorámica del sitio Cosecha de agua Ocotillo.



Foto 2. Vista panorámica del sitio Cosecha de agua La Grecia.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELÍ.

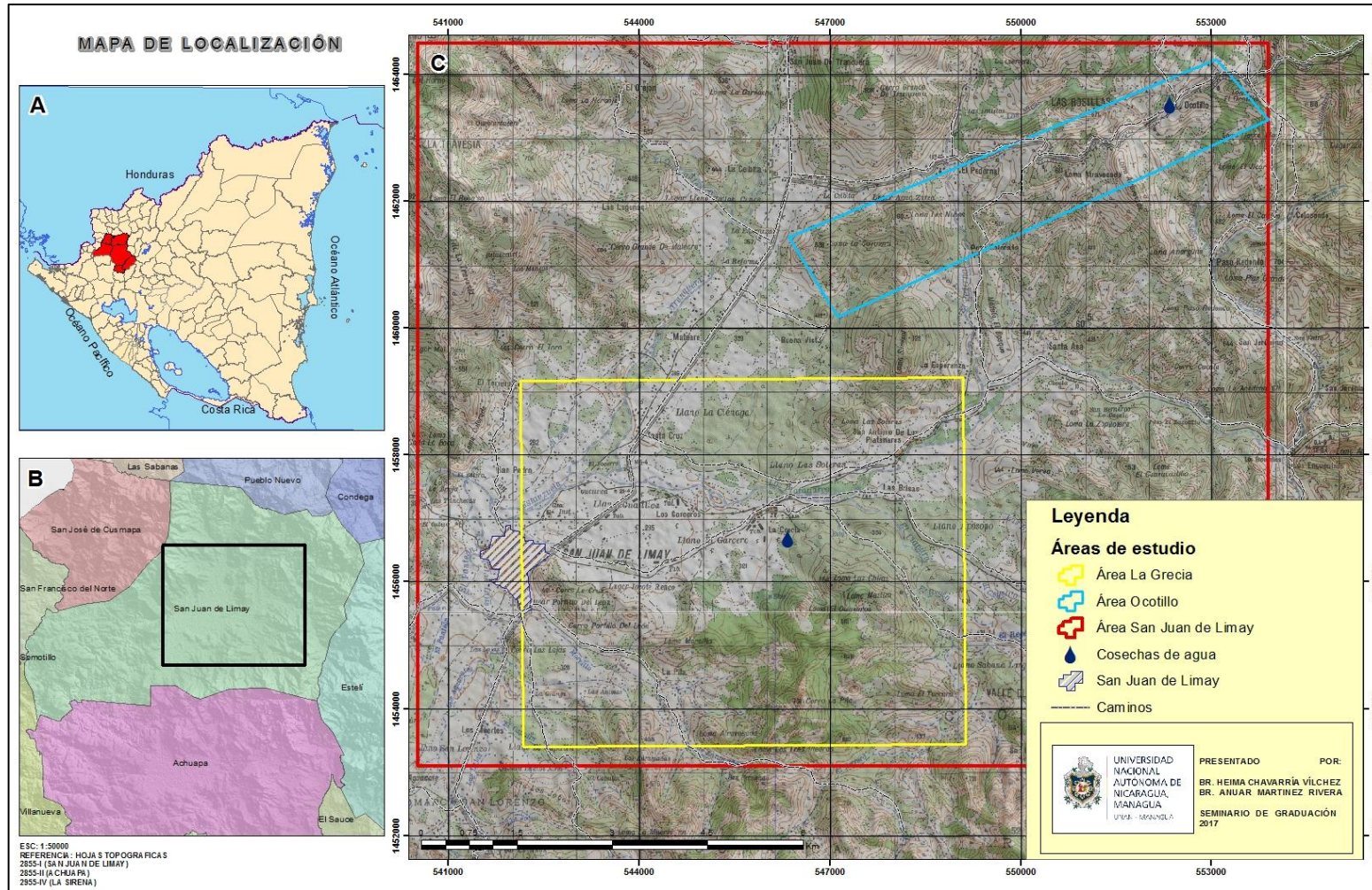


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio: A. República de Nicaragua y límites Departamentales. B. Municipio de San Juan de Limay, y C. El polígono de color rojo muestra la localización del sitio de interés; al SE de la hoja topográfica de San Juan de Limay, Estelí cubriendo un área de 100 Km², el polígono de color amarillo representa la zona de la comunidad La Grecia y el polígono de color celeste representa la zona de la comunidad Ocotillo.

1.4 CLIMA

El clima es de sabana tropical cálido seco de altura, con temperaturas que oscilan entre 24 y 34° C, perteneciente a los Municipios más cercanos a la zona del pacífico. Es una de las zonas más secas y áridas del país con un índice de precipitación media anual de 800 - 1200 mm de agua, bajo el régimen de lluvia estacional irregular que se inicia en el mes de mayo y finaliza en Octubre. Presenta un período de muy escasa precipitación denominado "Canícula", entre Julio y Agosto, el verano (Noviembre - Abril) es muy seco, presentando problemas para las actividades productivas por la aguda escasez de agua. A veces hay un intervalo de 2 meses sin llover, fenómeno que ocasiona la pérdida de las siembras (INETER – INYPSA, 2003).

1.5 ACTIVIDADES ECONÓMICAS

La principal actividad económica del Municipio es la agricultura siendo un factor alarmante por que ocupa el menor porcentaje del territorio debido a la problemática del agua, teniendo entre los más importantes los cultivos de consumo humano interno, tales como el sorgo, frijol y maíz. Según el compendio de mapas de usos potenciales elaborado por el MAG y el INETER (2012), en el municipio de San Juan de Limay se encuentran suelos con las siguientes vocaciones:

Vocación agrícola ocupa un 10.53 % (45 km²) del territorio, comprende terrenos apropiados para actividades agropecuarias principalmente para cultivos de maíz y frijol, así como para uso forestales.

De acuerdo a las cualidades o limitaciones de los suelos se pueden establecer las siguientes clases de utilización. Suelos con pendientes menores de 15% apropiados para cultivos anuales como tabaco, maíz, ajonjolí, oréganos, y ganadería (MAG-INETER 2012).

Suelos con pendientes de 15 a 30% apropiados para la producción de ganadería, bosques, y cultivos anuales con manejo agroforestal sorgo, maíz y frijol.

El sorgo ocupa la mayor área cultivada de estos rubros con 1.550 manzanas, cuyos rendimientos son 18 quintales por manzana, el frijol es el segundo rubro de importancia, ocupa 1.388 manzanas con rendimientos de 7 quintales por manzana, y el maíz con participación menor con 715 manzanas y rendimientos de 13 quintales por manzana (MAG-INITER 2012).

El 18.61 % (81.27 km²) del territorio comprende terrenos que tienen limitaciones específicas que los hacen apropiados únicamente para el pastoreo de ganado vacuno y actividad forestal (MAG-INITER 2012).

El 70.86 % (309 km²) del territorio comprende terrenos que presentan limitaciones tan fuertes de topografía que son apropiados únicamente para la producción forestal energética, maderas finas y de construcción (MAG-INITER 2012).

1.6 JUSTIFICACIÓN

A pesar de la existencia de recursos hídricos superficiales que, podrían ser desarrollados para actividades como la agricultura y la ganadería, no pueden ser aprovechados por la falta de infraestructuras hidráulicas, que permitan la captación de dichos recursos.

Las comunidades de la Grecia y Ocotillo del municipio de San Juan de Limay son sitios críticos elegidos por instituciones gubernamentales como lo es el Ministerio de Economía Familiar Comunitaria, Cooperativa y Asociativa (MEFFCA) para darles solución a la falta de agua en épocas de corredores secos y en donde las precipitaciones son irregulares en épocas lluviosas.

Los estudios geológicos, son estudios previos de relevancia y de mucha importancia para darles soluciones técnicas a este tipo de problemas en cuanto a la generación de obras ingenieriles para la captación de volúmenes considerados de agua para el abastecimiento de estas comunidades.

1.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El área de estudio se enfoca en dos comunidades del municipio de San Juan de Limay, uno de los sitios críticos respecto a la falta de agua en el país; como lo reportan en una artículo de un periódico nacional: *“Aunque la crisis de agua es general a nivel nacional, hay zonas donde el Gobierno debe intervenir pronto; entre los sitios más críticos, donde se registra mayor desabastecimiento están: Ocotal, San Juan de Limay, San Pedro de Lóvago, Teustepe, Terrabona, Telpaneca y Santa Rosa del Peñón, en estos lugares hay escaso abastecimiento de agua. (ENACAL, La prensa, Julio 2017)”*.

La escasez de lluvia en periodos secos del año, en comunidades La Grecia y Ocotillo es un problema cíclico que genera afectaciones en cuanto a la seguridad alimentaria de los productores y las familias de estos. Es una situación crítica la pérdida de ganado y las cosechas en estas zonas por la falta de agua. Las obras de captación de agua como son las llamadas Cosechas de Agua, se consideran una técnica viable para la solución a dichos problemas.

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada para cumplir con el alcance de los objetivos de esta investigación consiste en tres etapas:

- Etapa de Gabinete.

- Etapa de Campo.

- Etapa de interpretación de datos.

2.1 ETAPA DE GABINETE

La etapa de gabinete, como fase inicial de este trabajo consistió en la recopilación de documentos relacionados a este tema, con el fin de obtener una base de investigación tales como: informes técnicos, monografías, mapas topográficos y geológicos a escala 1:50 000, curvas de nivel puntuales de los sitios a detalle de 1 m, bases de datos geológicas a escala 1: 750 000, modelos digitales de elevación con una resolución de 5 m.

2.2 ETAPA DE CAMPO

Los trabajos de campo se efectuaron en el área donde se pretenden hacer obras de captación de agua o cosechas de agua, recopilando la información de la geología puntual y de las áreas circundantes de los sitios.

Para la recolección de datos puntuales, se levantó información en calicatas de dimensiones de 2mx2mx2m, esta excavación, es de forma manual con pala, piocha o posteador (Ver foto 3). Se realizó muestreo de suelo recolectando una cantidad de 15 a 20 libras por cada muestra de suelo, estas identificadas con una ficha de muestreo, sellada para evitar su contaminación y posterior trasladarla al laboratorio de suelo para su análisis.

Para la geología de las áreas circundantes a los sitios de estudio, se realizaron levantamientos de afloramientos de suelo y rocas, ubicando rasgos geológicos, estructurales que puedan afectar las áreas y que también sirvieran para generar perfiles geológicos de la zona.



Foto 3. Excavación de calicata en los sitios de estudio.

2.3 MATERIALES

- Equipo geológico: brújula, martillo, lupas, cinta, libreta, escala, lápices, porta-mapa, bolsas para muestras, hojas milimetradas, etc. (Ver foto 4).



Foto 4. Equipo Geológico usado en la etapa de campo.

2.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

Se recolectaron un total de 4 muestras de suelo encontradas en las calicatas de los sitios (Ver foto 5); para, realizar ensayos de laboratorio que determinaron la clasificación de los suelos.

Se tomó una muestra por cada estrato de suelo encontrado en las calicatas, las muestras se tomaron realizando un corte en la pared de estas. La distancia de cada calicata fue de 5 m aproximado para un total de 3 sondeos manuales, correspondiendo 2 calicatas en el sitio Ocotillo y 1 calicata en el sitio La Grecia.

Los parámetros de suelo serán utilizados para el cálculo de la estabilidad del embalse a través de métodos de equilibrios límites con un software llamado Geo5.



Foto 5. Toma de muestras de suelo recolectadas en las calicatas de los sitios de estudio.

2.5 ETAPA DE INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

➤ **Método de Clasificación de suelos**

Los ensayos de muestras representativas de los sitios de estudio La Grecia y Ocotillo, provenientes de los sondeos manuales efectuados en el terreno, para su clasificación, se efectuaron los siguientes:

Tabla3. Ensayos de clasificación de suelo.

Tipo de Ensayo	AASHTO	ASTM
Análisis Granulométrico de los Suelos	T-88	D-422
Límites de Atterberg	T-89, T-90	D-4318
Humedad Natural		D-2216
Clasificación SUCS	M-145	D-2487
Peso Volumétrico		C-29

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. (Tomado de Guía de Laboratorio Construcción I, UCA (1996).

Los materiales que se utilizaron para el análisis granulométrico son:

- ✓ La muestra de suelo a analizar.
- ✓ Juego de mallas o tamices No 4, 8 16, 30, 50, 100 y 200, charola de fondo y tapa.
- ✓ 500 g de arena cuarteada.
- ✓ Agitador mecánico de mallas.
- ✓ Brocha pequeña y cepillo de alambre.
- ✓ Horno.

Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material (granulometría) (Ver figura 2).



Figura 2. La figura muestra parte de los materiales usados para el análisis de un ensayo Gravimétrico así mismo ilustra el resumen del procedimiento que se realiza.

El ensayo trata básicamente de separar una muestra de agregado seco de masa conocida, a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente menores, con el objeto de determinar los tamaños de las partículas. (Ver figura 3).



Figura 3. La figura muestra el juego de mallas o tamices que se utiliza para separar una muestra de suelo.

Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material (granulometría).

Gráfica Granulométrica e indicadores.

La curva granulométrica es una representación gráfica de los resultados del ensayo de granulometría. Se representa gráficamente en un papel denominado "log-normal" por tener en la horizontal una escala logarítmica, y en la vertical una escala natural.

La información obtenida del análisis granulométrico se presenta en forma de curva, donde el porcentaje que pasa es graficado en las ordenadas y el diámetro de las partículas en las abscisas. A partir de la curva anterior, se pueden obtener diámetros característicos tales como el D10, D30, D60, D85, etc. El D se refiere al tamaño del grano, o diámetro aparente de la partícula y el subíndice (10, 30, 60, 85) se denota el porcentaje de material más fino.

Mediante las tablas que muestran el tamaño de la partícula contra el porcentaje de suelo menor de ese tamaño (porcentaje respecto al peso total). Al realizar el análisis granulométrico distinguimos en las partículas en cuatro rangos de tamaños:

- ✓ **Grava:** Constituida por partículas cuyo tamaño es mayor que 4.76 mm.
- ✓ **Arena:** Constituida por partículas menores que 4.76 mm y mayores que 0.074 mm.
- ✓ **Limo:** Constituido por partículas menores que 0.074 mm y mayores que 0.002 mm.
- ✓ **Arcilla:** Constituida por partículas menores que 0.002 mm.

➤ **Métodos analíticos de cálculo de estabilidad de taludes**

Método de Bishop

Bishop (1955) presentó un método utilizando dovelas y teniendo en cuenta el efecto de las fuerzas entre las dovelas. Bishop asume que las fuerzas entre dovelas son horizontales (Figura 4); es decir, que no tiene en cuenta las fuerzas de cortante. La solución rigurosa de Bishop es muy compleja y por esta razón, se utiliza una versión simplificada de su método, de acuerdo con la expresión:

$$F.S. = \frac{\sum \left[\frac{c' \Delta l \cos \alpha + (W' - u \Delta l \cos \alpha) \tan \phi'}{\cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi') / FS} \right]}{\sum W \sin \alpha}$$

Dónde:

Δl = longitud de arco de la base de la dovela

W = Peso de cada dovela

c', ϕ' = Parámetros de resistencia del suelo.

u = Presión de poros en la base de cada

dovela = $\gamma w \times h$

α = Angulo del radio y la vertical en cada dovela.

Como se puede observar en la ecuación, el término factor de seguridad FS se encuentra tanto en la izquierda como en la derecha de la ecuación; se requiere un proceso de interacción para calcular el factor de seguridad.

El método simplificado de Bishop es uno de los métodos más utilizados actualmente para el cálculo de factores de seguridad de los taludes. Aunque el método sólo satisface el equilibrio de momentos, se considera que los resultados

son muy precisos en comparación con el método ordinario. Aunque existen métodos de mayor precisión que el método de Bishop, las diferencias de los factores de seguridad calculados, no son grandes. La principal restricción del método de Bishop simplificado, es que solamente considera las superficies circulares.

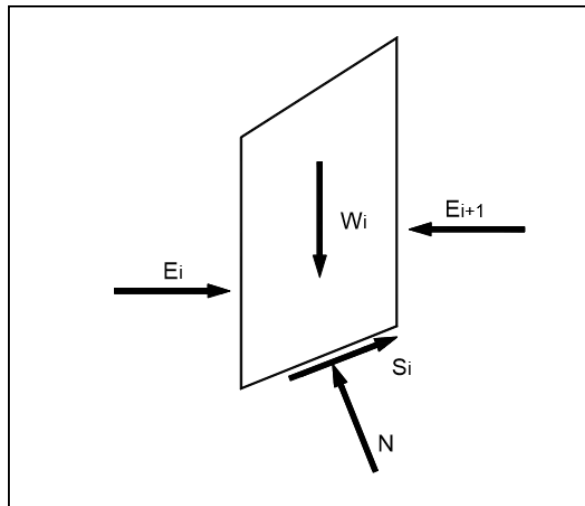


Figura 4. Esquema de fuerzas sobre una dovela en el método de Bishop simplificado (Duncan y Wright, 2005); donde, E_i es la fuerza de empuje, W_i es el peso de la dovela, N es la fuerza Normal y S_i es la fuerza de fricción.

Método de Bishop simplificado

El método propuesto por Bishop en 1955 analiza la estabilidad de un talud con SPF del tipo circular, tomando en cuenta el efecto de las fuerzas entre dovelas.

Al tratarse de un Método de Dovelas, la masa de suelo deslizante debe ser dividida en n fajas verticales (figura 5a), de manera de estudiar las fuerzas (figura 5b) y momentos involucrados en cada una de las rebanadas definidas y determinar así el FS asociado al caso.

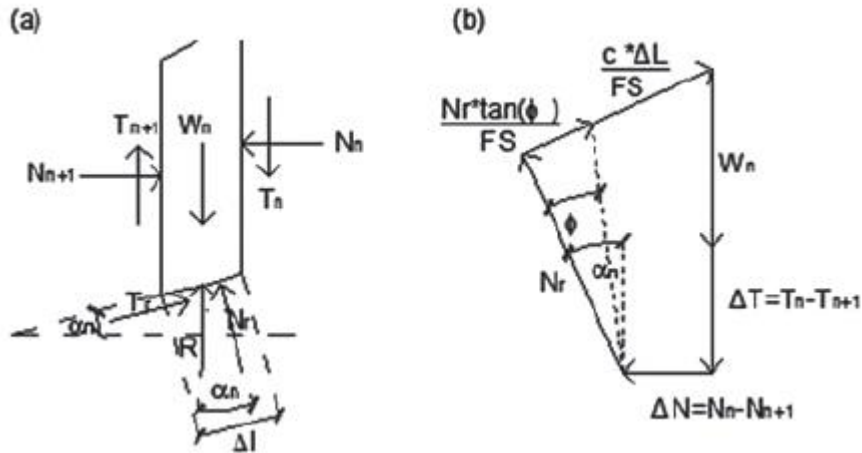


Figura 5. *Análisis de Estabilidad de Taludes por el Método de Bishop.* (a) *Esquema de las fuerzas que actúan en la dovela.* (b) *Diagrama de fuerzas en equilibrio de la n^{ma} dovela.* De las figuras 5a y 5b, es posible conseguir las siguientes ecuaciones (ec.6, ec.7).

$$T_r = N_r * \tan(\phi) + c * \Delta l = N_r * \left[\frac{\tan(\phi)}{FS} \right] + \frac{c * \Delta l}{FS}$$

$$N_r = \frac{W_n + \Delta T - \left[\frac{c * \Delta l}{FS} \right] * \sin(\alpha_n)}{\cos(\alpha_n) + \frac{\tan(\phi) * \sin(\alpha_n)}{FS}}$$

Una vez obtenidos los diagramas de cuerpo libre para cada una de las dovelas, es posible desarrollar las ecuaciones de equilibrio de fuerzas y de momentos, obteniendo la expresión que permite determinar el FS de cada SPF analizada. De esta manera (ec.8):

$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n * r * \sin(\alpha_n) = \sum_{n=1}^{n=p} T_r * r$$

Donde (ec.9)

$$T_r = \frac{1}{FS} * [c + \sigma' * \tan(\phi)] * \Delta l = \frac{1}{FS} * [c * \Delta l + N_r * \tan(\phi)]$$

Al analizar el equilibrio de fuerzas verticales de cada dovela, es posible obtener el valor de las fuerzas N, para así reemplazarlas en la ecuación 9 y obtener lo siguiente (ec.10):

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c*b + W_n * \tan(\phi) + \Delta T * \tan(\phi)] * \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} [W_n * \sin(\alpha_n)]}$$

Donde (ec.11),

$$m_{\alpha(n)} = \cos(\alpha_n) + \frac{\tan(\phi) * \sin(\alpha_n)}{FS}$$

Este método considera dentro de sus hipótesis fundamentales, el hecho de que las fuerzas de contacto entre dos dovelas sí se toman en cuenta, pero no resultan influyentes, puesto que se encuentran equilibradas. Para aspectos de cálculo, estas fuerzas se consideran igual a cero, con lo que la ecuación 3.10 se puede simplificar (ec.12):

$$FS = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} [c*b + W_n * \tan(\phi)] * \frac{1}{m_{\alpha(n)}}}{\sum_{n=1}^{n=p} [W_n * \sin(\alpha_n)]}$$

Es posible notar que el valor del FS no aparece de manera explícita, dado que se presenta a ambos lados de la ecuación, por lo que se debe realizar un proceso iterativo para poder encontrarlo.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

Uso de Software para generar mapas y programas para análisis de estabilidad de taludes en suelos.

Los softwares son una herramienta útil para la elaboración de planos y cálculos de estabilidad en este caso. Los software utilizados fueron: ArcGis y Geo5.

- **ArcGis:** es un sistema de información geográfica (GIS) para trabajar con mapas e información geográfica. Se utiliza para la creación y uso de mapas, compilación de datos geográficos, base de datos, etc.

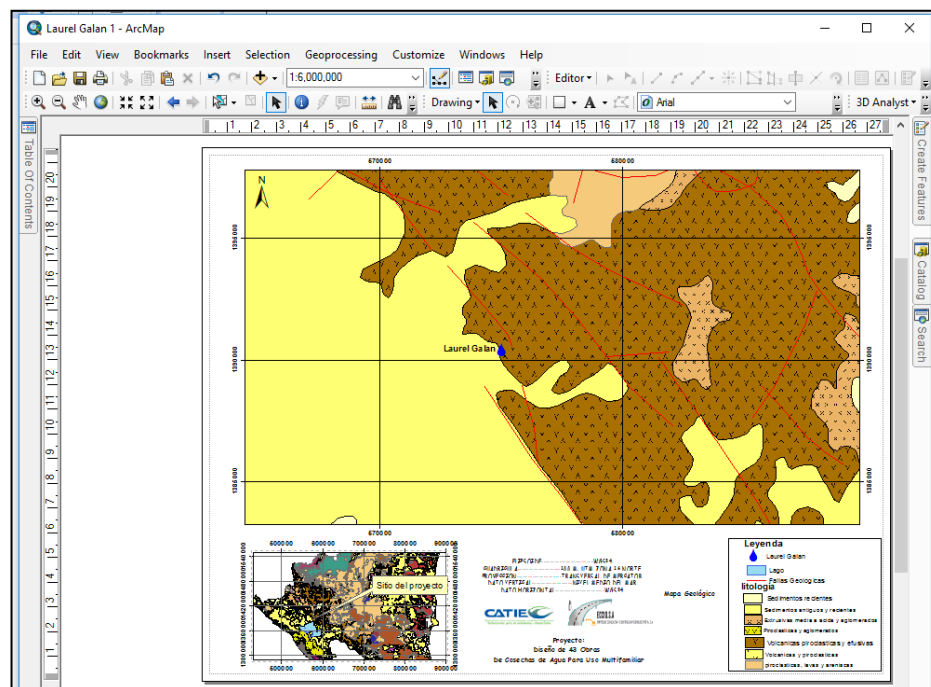


Figura 6. Esquema programa ArcGIS.

- **GEO5**

GEO5 es un conjunto de software, que proveen soluciones para la mayoría de las tareas geotécnicas. Los diferentes programas tienen la misma interfaz de usuario y se comunican entre sí, siendo que cada uno de ellos verifica un tipo de estructura diferente

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

GEO5 contiene diferentes programas para análisis de estabilidad de taludes en suelos y rocas, represas, nuevas construcciones de terraplenes y la verificación de estabilidad global de muros de contención.

El programa básico para el análisis de estabilidad es **Estabilidad de Taludes**. El cual permite el análisis de estabilidad de taludes con superficie circular o poligonal y optimización automática de la superficie de deslizamiento. Además coopera con todos los programas para el análisis de diseño de excavaciones y diseño de muros de contención. Permite la creación de anclajes, geo refuerzos, sobrecargas y modelado de efectos sísmicos.

Este programa se utiliza para el análisis de estabilidad de taludes (terraplenes, cortes de tierra, estructuras de contención ancladas, muros de suelo reforzado, etc.). La superficie de deslizamiento se considera circular (métodos Bishop, Fellenius / Peterson, Janbu, Morgenstern-Price o Spencer) o poligonal (Métodos Sarma, Janbu, Morgenstern-Price o Spencer).

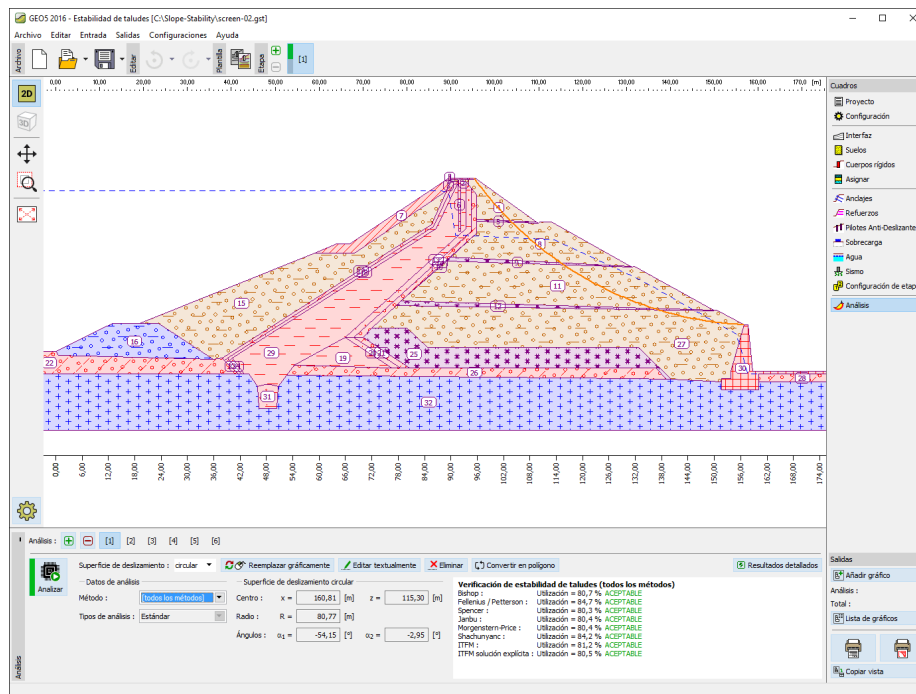


Figura 7. Esquema programa GEO5.

3. MARCO TECTÓNICO Y GEOLÓGICO REGIONAL DE NICARAGUA

3.1 MARCO TECTÓNICO DE AMÉRICA CENTRAL

Centro América es una región tectónicamente compleja, como consecuencia de su ubicación, en una zona de convergencia de placas, la placa coco subduce por debajo de la placa caribe. Así mismo, la interacción de otras placas hace aún más complicada la geodinámica de la región.

Centroamérica, se ubica en el margen occidental de la Placa Caribe, la que se encuentra limitada: al norte, por la placa Norteamericana a través de la Falla Polochic – Motagua y Fosa Caimán con rumbo E – W; Al este por la Fosa de Puerto Rico y las zona de subducción de las Antillas menores; Al sur por la placa Suramericano; Al oeste por la Fosa Mesoamericana. La placa de Cocos limita: Al norte con la Fosa Mesoamericana; Al este con el Centro de extensión de los Galápagos; Al sur por la Placa de Nazca; Al oeste por la Placa del Pacifico (Dengo & Case, 1990. Venable (1994).

El Bloque Septentrional, denominado bloque Chortis de origen continental. Y Bloque Meridional, llamado también bloque Chorotega de origen oceánico. Forman el basamento de la región Centroamericana. Donde el Bloque Chortis, se desprendió del sur de México. Este presenta un basamento rocoso cristalino, que cubre la parte norte de Nicaragua, Honduras, El Salvador y Guatemala hasta la parte sur de la Falla Motagua, (Pindell & Barret, 1990).

Por otro lado, El Bloque Chortis, que está constituido principalmente por rocas metamórficas de edad Paleozoica - Mesozoica, principalmente filitas y esquistos de bajo grado de metamorfismo, ubicada en la parte basal; las que están sobreyacidas Por rocas sedimentarias del mesozoico y volcánico terciaria hasta el techo de la columna. No obstante, el Bloque Chorotega, presenta un basamento de origen oceánico, que abarca el sur de Nicaragua, Costa Rica y Panamá. Constituido principalmente por rocas ígneas y sedimentarias.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

Nicaragua está limitada en sus costas por importantes unidades tectónicas en el Pacífico por la plataforma continental, la fosa Mesoamericana, la placa de Coco y la placa Nazca, mientras que la Costa Atlántica está limitada por la placa del Caribe y el banco de Nicaragua, (McBirney and Williams,1965, Hodgson,1978). (Ver figura 8).

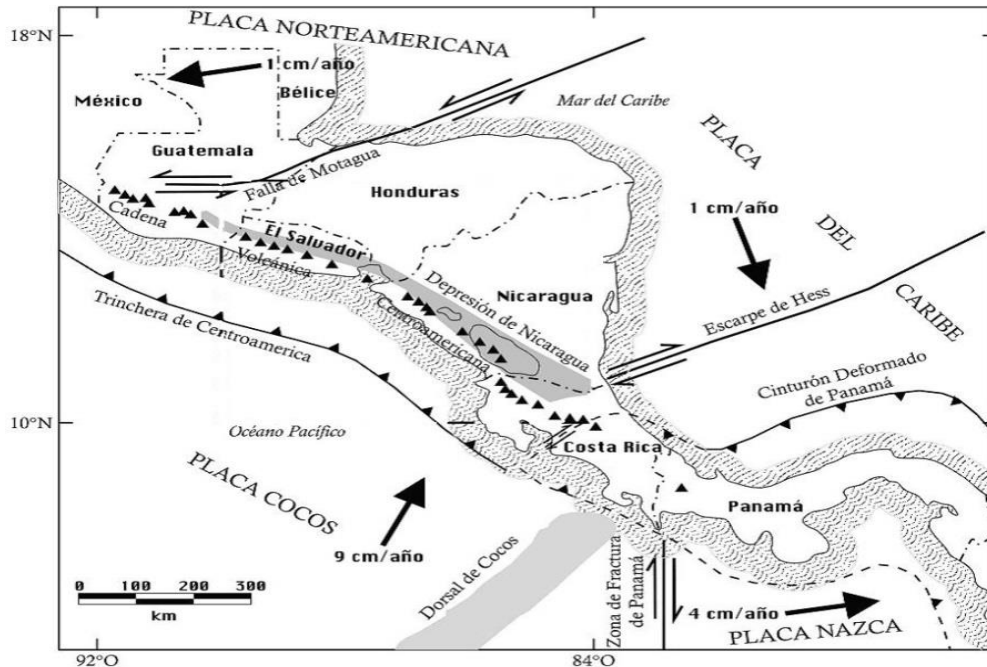


Figura 8. Marco geológico de América Central, basado en De Metts (2001), Horlow y White (1995) y Gusman-Speziale (2001).

3.2 MARCO GEOLÓGICO DE NICARAGUA

Nicaragua está dividida en cinco provincias geológicas y fisiográficas según (McBirney and Williams, 1965, Hodgson, 1978): La Cuenca de Sedimentación de la Costa del Pacífico (Provincias Geológicas de la Costa del Pacífico), La Depresión o Graben de Nicaragua, Provincia Volcánica Terciaria (Provincia Geológica del área Central), Plataforma Paleozoica y Mesozoica (Provincia Geológica del Norte), Cuenca de Sedimentación de la Costa Atlántica (Provincia

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

Geológica de los Llanos de la Costa Atlántica) (Ver figura 9).Las cuales se describen a continuación:

Provincia de la Costa del Pacífico

Provincia de la Depresión de Nicaragua

Provincia de la Meseta Central o Tierras Altas del Interior

Provincia de la Tierras Altas del Norte

Provincia la Planicie Costera del Atlántico

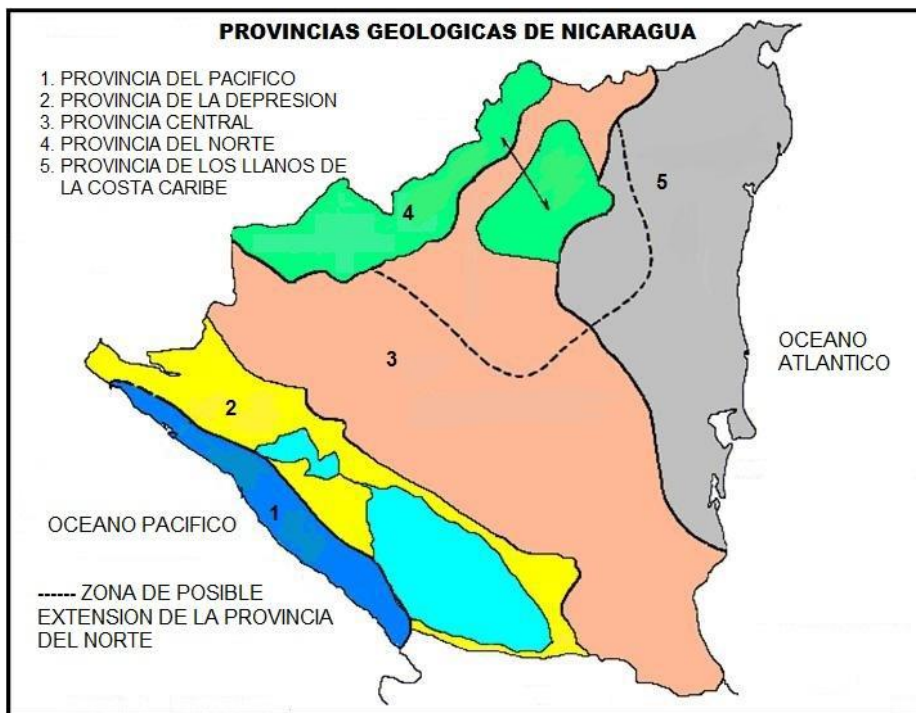


Figura 9. Provincias Geológicas de Nicaragua (Hodgson, 1998).

Provincia de la Costa del Pacífico.

Está localizada en el margen del Pacífico de Nicaragua, en la parte occidental en el área de ante - arco del pacífico. Se extiende costa adentro hasta el graben, donde se localiza un arco volcánico activo. Esta cuenca contiene 2 km de sedimento (costa a fuera) comprendiendo sedimentos pelágicos.

Los eventos geológicos estructurales comprenden una serie de rocas muy característica de las rocas que forman la provincia, los cuales son: anticlinales de Rivas, plegamientos de san Cayetano de la formación Masachapa, plegamiento del ostional y de la Formación Brito.

Así mismo la provincia de la costa del pacifico comprende relieve moderado a abruptos cerros en formas de crestas angostas y largas, con fuertes inclinación hacia el norte. En esta provincia también se depositaron grandes espesores de rocas sedimentarias con edades que oscilan, desde el cretácico hasta el terciario superior, las cuales fueron interrumpidas varias veces con la deposición de materiales volcánicas e intrusiones ígneas (Hodgson 1982).

Provincia de la Depresión de Nicaragua.

La depresión del graben es uno de los elementos más impresionantes en la estructura de América Central, (Garayar 1972.). No obstante, forma parte de la zona marginal del pacifico de América Central, la cual está caracterizada por presentar fosas de mar profundos y regiones de plataformas, también posee cadenas de arcos islas activas y rasgos tectónicos activos.

El graben está caracterizado por las estructuras geológicas jóvenes más prominentes en la geología como son: las fallas que han causado la formación del graben y que actualmente limitan la provincia, las numerosas estructuras volcánicas de la cordillera de los Marrabios, los grandes lagos y las lagunas volcánicas dispersas, estructuras (fallas) geológicas que se conocen en Nicaragua.

La provincia de la depresión de Nicaragua o graben está caracterizado por el predominio de las rocas volcánicas y depósitos sedimentarios del Pleistoceno reciente.

Provincia de la Tierras Altas del Norte.

Abarca el área comprendida entre el límite sur del departamento de Nueva Segovia, parte del departamento de Jinotega y la frontera con Honduras. Esta provincia está asentada sobre un basamento de rocas metamórficas y a su vez

intercalada con rocas plutónicas constituyendo la parte más baja de la corteza continental. (Dengo 1969.)

La provincia del Norte está caracterizada por el predominio de las rocas metamórficas conocidas con el nombre de esquistos de Nueva Segovia, (Del Giudice 1960), constituida mayormente por filitas, esquistos, meta sedimentos, cuarcita, y mármol con intercalaciones de rocas ígneas intrusivas conocida como Batolitos de Nueva Segovia (Garayar 1980). Señala la presencia de peridotita en el batolito de San Juan del Río Coco, Rocas sedimentarias y rocas extrusivas Estas rocas a excepto de las extrusivas son las más antiguas de Nicaragua y abarcan la era Paleozoica y Mesozoica (Del Guidice 1960.).

Provincia la Planicie Costera del Atlántico.

Rocas sedimentarias cuaternarias y volcánicas de edad terciaria constituyen esta provincia, y se encuentra ubicada a lo largo de la costa del caribe de Nicaragua en la denominada cuenca la Mosquitia.

Abarca el área comprendida entre el límite de la provincia del Norte, el rio coco en el norte, rio indio en el sur y el este el mar del Atlántico o cuenca de la Mosquitia.

Esta provincia está caracterizada por el predominio de las rocas sedimentarias recientes del Pleistoceno y Cubre toda la extensión superficial de bajo. De los cuales se encuentran rocas sedimentarias antiguas del terciario que forman la gran cuenca de sedimentación de la Mosquitia en escala reducida, estos sedimentos afloran en el fondo del mar, razón por la cual muchas investigaciones petroleras se han llevado a cabo, así como también hay algunas rocas volcánicas aisladas y sedimentos representados por grabas, arenas y arcillas (Hodgson 1984).

Provincia de la Meseta Central o Tierras Altas del Interior.

La provincia Central está caracterizada por el predominio de las rocas volcánicas del terciario, que datan desde la época del Eoceno hasta el Plioceno y el Cuaternario volcánico, esta provincia se ha designado en tres grupos: El pre

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**

Matagalpa (sedimentos piroclásticos pre-terciarios) el Matagalpa (terciario inferior) y Coyol (terciario superior).

El área de estudio se encuentra localizada en esta provincia, y abarca principalmente los grupos Coyol (Superior – inferior) y el grupo Pre-Matagalpa dividida a su vez en unidades que caracterizan a la zona.

Según estudios realizados (Glen Hodgson – 1983) en el levantamiento geológico que realizado en el área Central se encontró la presencia de rocas volcánicas alternadas entre rocas básicas, tobas y flujos, todo este conjunto fue denominado como Grupo Coyol (Hodgson 1984).

Este grupo se cree que aproximadamente coincide con el Grupo Pre-Matagalpa, extendiéndose Desde Achuapa, Estelí, Matagalpa hasta el área de Zelaya a lo largo de la trayectoria de Santo Tomas. De igual manera dentro de las rocas volcánicas del área comprende: tobas de diferente facies eruptiva alternada con andesitas y basaltos, así como rocas sedimentarias clásticas químicas y rocas sílicificada.

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 GEOLOGÍA LOCAL

El municipio de San Juan de Limay se encuentra ubicado dentro de la Provincia geológica central de Nicaragua, llamada Tierras altas del interior. Geológicamente el área de estudio presenta rocas en diferentes grados de meteorización y de igual manera fracturadas, siendo más resistentes a estos fenómenos todas las rocas de origen volcánico (Terciario) predominando las litologías como Ignimbritas, dacitas pertenecientes al Grupo Coyol Superior y rocas Andesitas y Riolitas pertenecientes al Grupo Coyol Inferior. Las áreas de estudio La Grecia y Ocotillo son abarcadas por las unidades antes mencionadas (Hodgson G, 1971).

El Grupo Coyol Inferior al cual pertenecen los afloramientos más antiguos están formados por rocas andesitas y riolitas. Estos afloramientos están compuestos generalmente por lavas de texturas afaníticas y profiríticas.

La asignación y propuesta de las unidades litológicas se definieron en base a la clasificación de muestra de mano en el campo así mismo este ordenamiento se realizó siguiendo y correlacionándolos con los registros geológicos, estratigráficos propuestos por los estudios anteriores (McBirney y Williams R, 1965 y Hodgson G, 1971).

La Unidad de depósitos aluviales (Qal) pertenecientes al cuaternario ocupan la mayor parte de la planicie formando suelos finos principalmente arcillas y limos, así como terrazas aluviales en zonas de drenajes y llanuras de inundación. Los suelos residuales son de composición inorgánica de partículas clásticas irregulares se hayan por lo general cubriendo afloramientos rocosos donde se originan. Los depósitos de coluvio están constituidos por fragmentos grandes de roca y suelo.

De acuerdo al mapeo realizada en los sitios de estudio se lograron determinar 4 unidades litológicas tales como:

- Unidad de Riolitas, grupo coyol indiferenciado (Tmci).
- Unidad de Andesitas (Tmca).
- Unidad Dacitas (Tmcd).
- Unidad Cuaternario aluvial (Qal).

Dichas unidades no se disponen en una secuencia uniforme dentro del área y en varias de ellas presentan variabilidad en cuanto a su textura, contenido mineral y contacto entre unidades. Esta varianza se atribuye a que probablemente los depósitos tienen su origen en distintos centros volcánicos y al alto grado de agentes a las que se hayan expuestas como meteorización y fuertes fracturamiento.

A continuación, se realiza una descripción de las unidades siguiendo el orden de en qué se depositaron de la más antigua a la más joven:

➤ **Unidad de Riolitas (Tmci):**

Esta unidad es originada producto de grandes erupciones de flujos piroclásticos ardientes. Se encuentra al SE, abarcando aproximadamente un 20% en el área de Ocotillo; se encuentra representada por una parte del grupo Coyol Superior. Así mismo comprenden la parte S, de la región de La Grecia, se describen dos tipos principales las cuales se diferencian por sus texturas, esta unidad se presenta en un 30% en base al mapeo del área de estudio formando cerros con pendientes suaves de 10° a 35° y de gran extensión.

Esta roca Riolita está relacionada a afloramientos de flujos y morfológicamente la roca se presenta en forma de domos o agujas cónicas (Ver foto 6), aislados con grado de meteorización moderado, halos con márgenes asociados con alteración hidrotermal, lentes silicificadas, y venas epitermales de cuarzo que afloran en la frontera S del área.

La erosión y los agentes meteóricos han sido los factores que han contribuido a la alteración de la roca, en algunos sitios esto se distingue por el cambio de

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

coloración en ciertos extremos de la misma, puede presentar una alteración de color rojo producto del óxido de hierro.



Foto 6. Domo Riolítico aflorante al SE, de la comunidad El Ocotillo, cerca de Loma Colorada El Pedernal, donde se observa la roca alterada por su coloración rojiza por abundante oxidación, coordenada E 547494 N 1460891.

La Riolita es una roca ígnea se presentan de color gris a rojizo con una textura de granos finos. En la Grecia y Ocotillo se presentan en forma de flujo con textura afanítica ligeramente alterada por meteorización y oxidación. Así mismo se presentan con textura profirítica con presencia de fenocristales; incluyen cuarzo cristalino, feldespato potásico, plagioclasas y piroxeno.

Macroscópicamente la roca está en forma masiva con un color blanquecino a rojizo, producto del intemperismo, la roca presenta una matriz muy compacta, moderadamente silicificada y con posible alteración argílica. (Ver foto 7).



**Foto 7. Flujo Riolítico afanítico con leve alteración
sílica Loma Colorada al SE de Ocotillo coordenada
E 547494 N 1460897.**

➤ **Unidad de Andesitas (Tmca):**

Los afloramientos encontrados Andesíticos al W y SW de la Comunidad La Grecia abarcan un 45% del área, de igual manera esta unidad se encuentra al N, E y parte SE del área de Ocotillo, se encuentra representada por una parte de flujos del grupo Coyol Inferior abarcando aproximadamente el 45% total del área de estudio según el mapeo que se ha abordado en el área.

Dicha roca es de origen volcánico de composición intermedia, presentándose en este sector compuesta fundamentalmente por plagioclasas cálcicas y piroxenos. Suele tener tonos grisáceos, a veces pardos o rojizos por alteración de la meteorización y oxidación (Ver Foto 8).



Foto 8. Afloramiento de flujo Andesítico fracturado en el sector NE de la comunidad la Grecia, coordenada E 545602 N 1455040.

Esta unidad está conformada por 3 sub-unidades: La primera corresponde a una facie de flujo Andesíticas afanítica (Tmca -af), la segunda flujo Andesíticos porfíricos (Tmca-porf) y la tercera son Tobas Líticas Andesíticas (Tmca-Tblt), (Williams R 1965 y Hogdson G, 1971).

Sub-Unidad Flujo Andesíticos Afaníticos (Tmca - af): Las rocas Andesíticas presentes en esta zona se muestran en afloramientos de flujos texturas afaníticas asociados a sistemas de vetas epitermales de cuarzo la composición de dicha roca es plagioclasas y piroxenos. Aquí las rocas son de color grisáceo a gris oscuro, originadas por flujos de lava fracturados, esto se debe a que cuando el flujo se va movilizandoo hay superficies que se enfrían más rápido que otras, luego el movimiento del flujo provoca el rompimiento de las superficies enfriadas.

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**

Estos flujos lávicos de composición intermedia que se encuentran alterados en algunos sitios esto se distingue por el cambio de coloración en la roca, pueden presentar un tono color rojo producto del óxido de hierro así también se presentan fracturados, ya sea por agentes estructurales y por los agentes de meteorización. (Ver foto 9).



Foto 9. Andesita de flujo Textura afanítica, donde se observa la roca alterada por su coloración rojiza por abundante oxidación de hierro, con presencia de vetillas de 5cm de cuarzo drussico crustiforme al E de la comunidad Ocotillo cerca del Pedernal. Coordenada E 550320 N 1462100.

Sub-Unidad Flujo Andesíticos Porfíricos (Tmca - Porf): esta Sub-Unidad se ubicó en las 2 calicatas de los sitios, en la calicata 1 de La Grecia, y en la calicata 1 de Ocotillo (Ver Foto 9), En la calicata 1 de la Grecia esta roca se presentó en cierto grado de oxidación y alto contenido de hierro provocado por los agentes que la meteorizan, se observa alteración hidrotermal sílica de cuarzo en pequeñas vetillas de 2 – 5cm. Y en Ocotillo dentro de la calicata 1, la roca andesita de color grisácea a verdeazulada, densa se presentó con una fracturación planar y grado de alteración medio debido a su oxidación de hierro. (Ver foto 10).

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**



Foto 10. A) Calicata 1 sitio La Grecia, coordenadas E 546361 N 1456673. Donde se observa la roca andesítica textura porfirítica en la parte superior con oxidación de hierro y la andesita porfirítica por alteración hidrotermal sílica de cuarzo en la parte inferior. B) Calicata 1 sitio Ocotillo, coordenadas E 552344 N1463520. Presentándose rocas andesitas porfiríticas oxidadas por contenido de hierro parte inferior de la calicata.

Se observan también andesitas porfiríticas con plagioclasas cálcicas, piroxenos y cuarzo cristalino, este tipo de roca aflora en pequeños montículos en el sector del Ocotillo. Esta subunidad presenta un grado moderado de silicificación, se caracteriza por una matriz fina de marcado color gris claro hasta gris azulada, donde sobresalen fenocristales de plagioclasas y hornblendas alteradas. La mayor expresión de esta subunidad se observa en la parte W entre las comunidades Ocotillo y Pedernal. (Ver foto 11).

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.



Foto 11. Afloramiento Andesítico textura porfirítica al W entre las comunidades El Ocotillo – El Pedernal, coordenada E 550150 N 1462311.

Macroscópicamente esta unidad presenta una textura porfirítica con un color que varía de gris oscuro a negro. Esta roca porfirítica con una fase félsica (en algunos casos más blancos y en otras más grisáceas), es plagioclasa con cierta cantidad de minerales máficos, la cual se encontró de forma masiva presentando algunas alteraciones con óxido de hierro y cloritización como alteración hidrotermal. (Ver foto 12)



Foto 12. Representación macroscópica de Andesita porfirítica con alto contenido de plagioclasas cálcicas, coordenada E 550155 N 1462313.

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**

Sub-Unidad Tobas líticas Andesíticas (Tmca - Tblt): Esta sub-unidad presenta un espesor aproximado de 10 m y se presenta como la subunidad que subyace sobre las Sub-Unidades antes mencionadas (Andesitas afaníticas y porfiríticas) y se caracteriza por su textura porfirítica y aglomerado clástica, con amplio desarrollo de alteraciones hidrotermales de tipo propilítico.

La Andesita tobácea lítica o aglomerática, se compone de matriz compuesta por su misma composición, pero la que por su evento adquiere fragmentos o clastos de rocas andesitas, pero de composición de diferentes texturas como afanítica y porfirítica. (Ver foto 13).



**Foto 13. Afloramiento Andesítico tobáceo
aflorante al N de la Grecia, Quebrada las
Brisas, coordenada E 544250 N 1453988.**

Macroscópicamente la roca se observó meteorizada producto de los agentes exógenos a los que está expuesta, tales como agua y viento, esta tobácea presenta alteración clorítica la cual ha reemplazado la matriz original por una textura afanítica verdusca (Ver foto 14). El término lítico, quiere decir de fragmentos de rocas poligranulares (de "litos"= roca).



Foto 14. Andesita Tobácea Lítica de coloración verdosa por alteración clorita, encontrada en Quebrada la Grecia coordenada E 548021 N 1456986.

➤ **Unidad Dacitas (Tmcd):**

Esta unidad es originada producto de grandes volúmenes de depósitos de flujo piroclásticos de nubes ardientes. Se encuentra distribuida en la parte N y NW del área de la comunidad La Grecia y sus alrededores. Estas rocas aflorantes se encuentran meteorizadas y de textura tobácea abarcando un 10% en la zona en base al mapeo.

Dado que el área donde se ha identificado esta unidad se encuentra con abundante vegetación, no se ha podido definir su espesor real, sin embargo, realizando la correlación con algunos sitios muestreados se atribuye un espesor de más de 40 m, aumentando su espesor hacia el NW, secciones típicas donde se encontraron algunos afloramientos son Loma Las Soleras y San Antonio De los Platanares. (Ver foto 15).



Foto 15. Representación de la unidad Dacitas tobáceas en afloramiento al NW de la Comunidad la Grecia sector Loma Las Solaras y San Antonio de los Platanares, coordenada E 546808 N 1458770.

La dacita es una roca intermedia, de color gris claro, se compone principalmente de feldespatos, plagioclasas con biotita, hornblenda, y piroxenos; posee una textura entre afanítica y porfirítica con cristales de cuarzo.

Esta unidad macroscópicamente se caracteriza por intruir a la unidad de toba con matriz afanítica félsica de color blanquecina-amarillenta en los diferentes afloramientos (Ver foto 16), la cual se caracterizó ácida de grano grueso a fino se muestra principalmente constituida por poco cuarzo, feldespatos potásicos y en algunos casos se caracteriza por presencia donde sobresalen los fenocristales de hornblendas.



Foto 16. Dacita tobácea encontrado en el sector NW de la Grecia Loma las Soleras, coordenada E 546806 N 1458775.

➤ **Unidad Cuaternario aluvial (Qal):**

Esta unidad se caracteriza por presentarse en las zonas más bajas, al N y NE de la Comunidad La Grecia abarcando la mayor extensión del área de estudio, está formada por suelos de origen residual, producto del intemperismo, descomposición físico – mecánica y química de las roca y erosión debido a los agentes exógenos. Estos suelos de origen residual poseen muchas veces textura arcillosa de coloración variable entre gris, gris oscuro, marrón, producto de las alteraciones en las rocas que los originaron.

En el área de la Grecia se presenta como suelos residuales, con presencia de coberturas aluviales, ríos, caños, cortes y quebradas existentes, como son quebrada El Cianuro, quebrada El Regen, Llano el Apoapo, Llano las Brisas. (Ver foto 17).

En el área de Ocotillo los depósitos que pertenecen a la edad del cuaternario están compuestos por sedimentos coluviales, volcánicos y presencia de

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

coberturas aluviales marcándose en quebrada El Pedernal, Valle las Tranqueras y Colocondo (Ver foto 18). En las zonas más bajas del área de estudio, está formado por suelos de origen residual de textura arcillosa a limosa.



Foto 17. Vista en Planta de llano Las Brisas, suelo orgánico – arcilloso en el sector NW de la comunidad la Grecia, coordenadas E 548000 N 1457655.



Foto 18. Presencia de cuaternario aluvial en forma de coluvio, suelo areno – arcilloso en Ocotillo en el sector de Loma Amarguito, Pase Redondo y Colocondo. Coordenadas E 552800 N 1461502.

4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DE LOS SITIOS

Las deformaciones tectónicas o comportamientos estructurales en el área, están asociadas a las actividades tectónicas desarrolladas de esfuerzos extensionales característico de las fallas Normales y compresionales de las fallas inversas.

En el campo estas fallas son difíciles de identificar como consecuencia de la meteorización y algunas veces de la cobertura vegetal. Los rasgos estructurales característicos en el área han sido definidos por expresiones morfológicas tales como cauces y quebradas, discontinuidad topográfica y algunas pequeñas observaciones en campo de indicadores como cizallas, estrías, fracturas, sigmoides y contactos que aún se afloran.

Estructuralmente las áreas están afectadas por una serie de fallas y fracturas reconociéndose dos fases de fallas predominantes, los sistemas principales de elementos estructurales del área de estudio están reflejados por fallas con orientaciones NE-SW y NW-SE. Generalmente en toda el área se encuentran fracturas principalmente manifestadas en las Andesitas y en las rocas que afloran en los cortes transversales de los lechos de ríos. Estos sistemas se encuentran sometidos a frecuentes esfuerzos de compresión y extensión, debido a esto se produce la deformación permanente de la roca.

El comportamiento o la cinemática de las estructuras geológicas en las áreas de estudio se definieron a través de los criterios de Cizalla, fracturamiento, desplazamiento e indicadores cinemáticos, los cuales nos indican el sentido del movimiento de los bloques estructurales en zonas de fallas. Las cuales pudieron ser identificadas a través de modelos de sombras que en combinación con el levantamiento geológico de campo ayudo a definir la dirección del esfuerzo.

En La Grecia y Ocotillo se encuentran las rocas de Formación Coyol Superior e Inferior (Hudgson G, 1971), las cuales permiten una geomorfología básicamente dominada por montañas y cerros de pendientes inclinadas, permitan la formación

o están controlados por lineamientos, fallas con desplazamientos preferenciales normales encontradas cerca del área.

Para definir la cinemática de las estructuras encontradas en el área de estudio, se tomaron en cuenta los criterios de cizalla y medición directa de algunos indicadores cinemáticos lo que permitió definir el sentido de movimiento relativo entre los bloques estructurales en las zonas de fallamiento.

Cuando se habla de fallas o esfuerzos se hace referencia a la fuerza aplicada a un área determinada de la roca. En la naturaleza, según la dirección de las fuerzas aplicadas, el esfuerzo puede reconocerse en tres variedades; la compresión, la tensión o extensión y la cizalla (Tolson, 1996). (Véase modelos de los esfuerzos en la Fig. N°10).

- **Compresión.** Esfuerzo al que son sometidas las rocas cuando se comprimen por fuerzas dirigidas unas contra otras a lo largo de una misma línea. Cuando los materiales se someten a este tipo de esfuerzos, tienden a acortarse en la dirección del esfuerzo mediante la formación de pliegues o fallas según que su comportamiento sea dúctil o frágil (Tolson, 1996).
- **Tensión.** Resultado de las fuerzas que actúan a lo largo de la misma línea, pero en dirección opuesta. Este tipo de esfuerzo actúa alargando o separando las rocas de igualmente generando fallamiento (Tolson, 1996).
- **Cizalla.** Esfuerzo en el cual las fuerzas actúan en paralelo, pero en direcciones opuestas, lo que da como resultado una deformación por desplazamiento a lo largo de planos poco espaciados (Tolson, 1996).

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

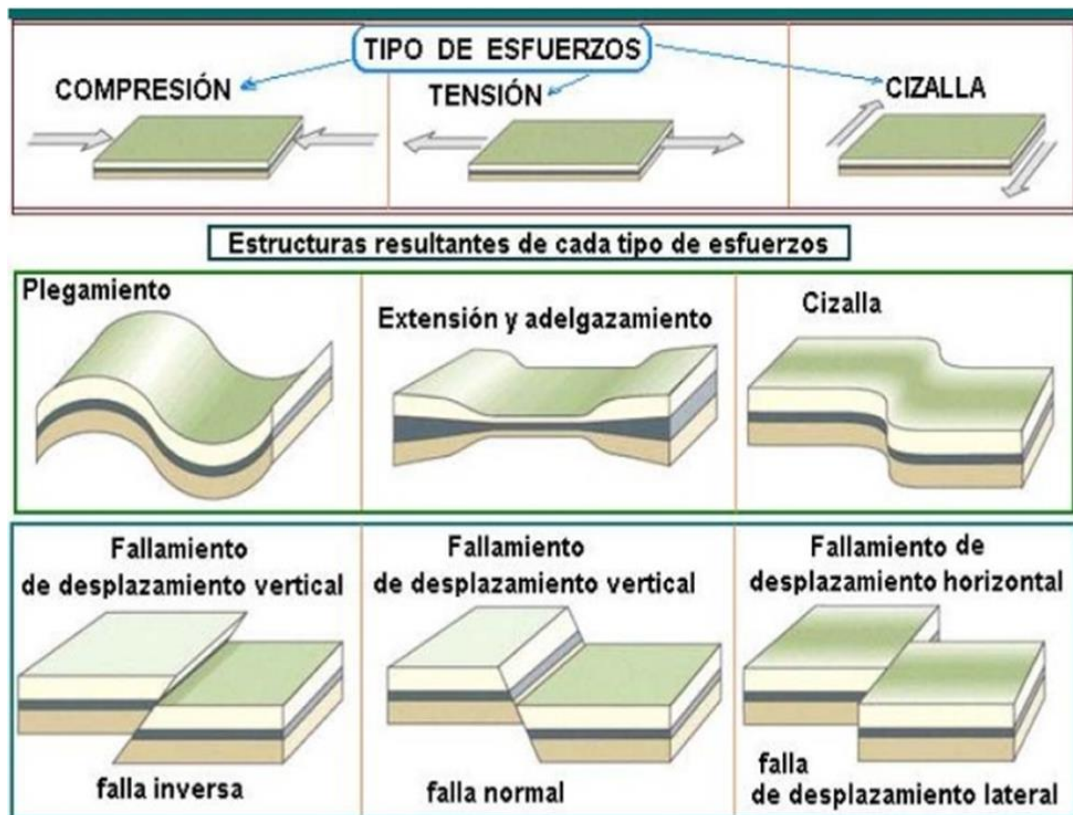


Fig. N°10. La figura muestra los modelos esquemáticos de cinemática y dinámica de bloques tectónicos productos en un régimen sometido a los 3 tipos principales de esfuerzos que generan fallamiento en las rocas lo cuales son compresión, tensión y cizalla y por ende es la guía para la clasificación de los tipos de fallas existentes (Tolson, 1996).

Dentro de estos tipos de esfuerzos existentes se describen los principales indicadores cinemáticos encontrados, asociados a zonas falladas, sin embargo, muchas veces carecen de este criterio se recurrió a las estructuras secundarias formadas durante la etapa de fallamiento, como son cauces y fracturas irregulares en la superficie terrestre.

Los criterios o indicadores existentes son:

- Fracturas conjugadas y paralelas.
- Estrías o cizallas de fallas y planos de falla.
- Dislocaciones de rupturas y fracturas guías.

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**

- Sigmoides y escarpes de fallas.
- Sistema indicador cinemático en forma de cola de caballo

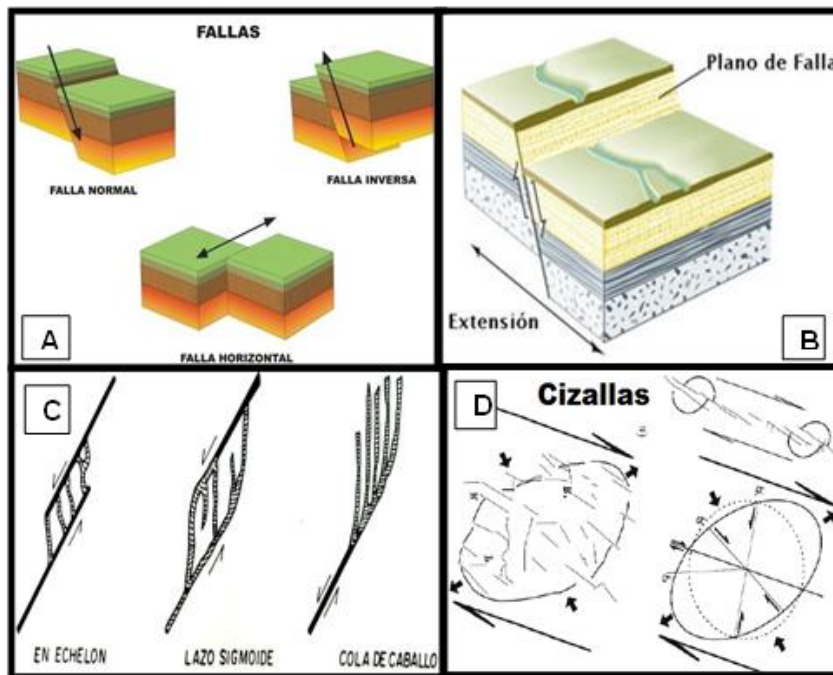


Fig. Nº 11. La imagen ilustra los diferentes tipos de indicadores y modelos esquemáticos para la buena identificación de fallamientos y fracturamiento principales de esfuerzos tectónicos.

- A) Tipos de fallas (Agueda & Anguita, 1977).
- B) Diagrama de plano de falla (Agueda & Anguita, 1977).
- C) Indicadores cinemáticos, en echelon, sigmoidales, Fracturas forma cola de caballo (García Palomo, 2002).
- D) Cizallamiento representado en un sólido (Tolson, 1996).

FASES DE FALLAS NE-SW.

En la primera fase de fallamiento, constituida por fallas de carácter local concentradas en toda el área de estudio distribuidas en el SW y continúa en la parte Central, hacia el NE del área y se caracteriza por presentarse linealmente, están constituida por 4 fallas comprobadas en campo, de carácter local y fallamiento de tipo normal, con un rango de extensión que varía desde 600 hasta los 1000 m las cuales se encuentran segmentadas en su mayoría debido al desplazamiento que han tenido por la fase NE.

Este tipo de fallamiento se ha evidenciado en el área la Grecia y Ocotillo, principalmente se ha definido como la fase activa o reciente, con la presencia de algunos indicadores cinemáticos in situ (fallas normales, fallas horizontales, planos de fallas, zonas de cizalla y constatados mediante interpretación morfoestructural como un predominio de fallamiento de tipo normal, reciben su denominación de acuerdo al punto geográfico donde se localizan.

En el sector la falda de Loma la Mestiza se caracteriza por ser una falla con desplazamiento vertical Normal con fuerzas extensionales con una longitud de 630 m lineales, con un rumbo NE – SW definido N 60° E, marcando un plano de falla claro y en el cual en zonas locales se puedes observar pequeñas cizallas o estrías de fricciones. (Ver foto 19 y 20).

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.



Foto 19. Lineamiento de falla en el sector Loma la Mestiza asociado a la geomorfología dominada por montañas con pendientes inclinadas. Coordenadas E 547900 N 1456430.



Foto 20. Zona de fallamiento con plano marcado en falda de Loma la Mestiza comunidad de la Grecia. Coordenadas E 548900 N 1455755.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

Uno de los indicadores cinemáticos más representativos a parte de su desplazamiento vertical es el sistema de fractura conjugado presente (Ver Foto 21) el cual se desarrolla en una zona de cizalla donde la pared del afloramiento presenta deformación por esfuerzo de extensión. Litológicamente esta corta la unidad Riolita.

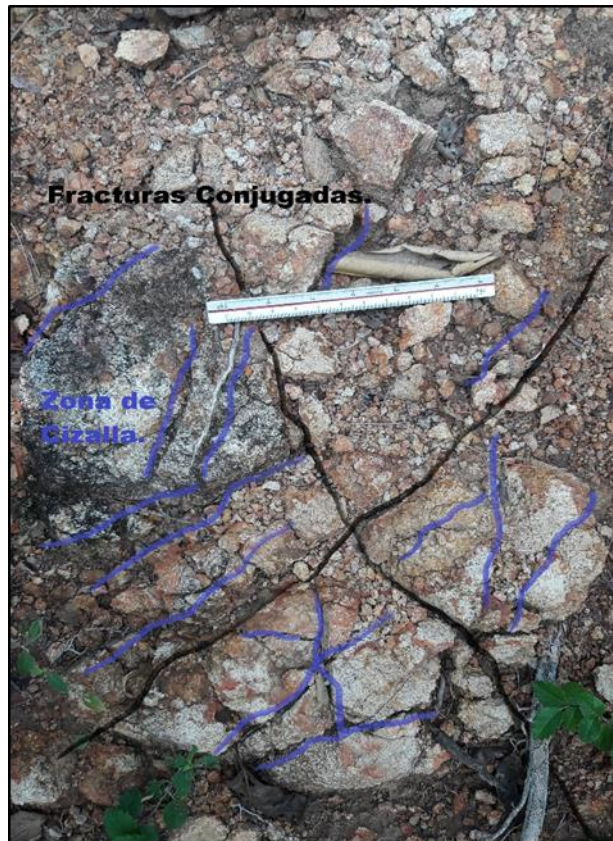


Foto 21. Sistema conjugado de fracturas compresiva y extensiva. Más zonas de cizallamiento paralelas y direccionales, Loma la Mestiza comunidad de la Grecia. Coordenadas E 548896 N 1455644.

De igual manera se localizó una pequeña falla en la Quebrada El Cianuro debido a su curso lineal y desembocadura esta falla se encuentra localizada en la cuenca de dicha quebrada en las proximidades del área de estudio, presenta un rumbo NE – SW siendo específico N 30° E, el curso de la quebrada es en la misma dirección producto que sigue el patrón de la falla que lo controla.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

Litológicamente está representada por rocas de composición andesítica textura porfírica, sus indicadores cinemáticos más representativos encontrado en este afloramiento corresponden a bloques escalonados, presencia de sigmoide producto de un fuerte cizallamiento en el plano de la falla y un indicador cinemático en forma de cola de caballo paralelo a al sistema escalonado (Ver Foto 22).



Foto 22. Corte en Quebrada El Cianuro donde se observa plano de falla en escalón, indicador cinemático en forma de cola de caballo y cizallas, al NE de la comunidad la Grecia. Coordenadas E 547320 N 1457310.

Una de las principales estructuras de fallamiento en encontradas se ubica en el sector de Loma Las Rosillas al NE de la comunidad El Ocotillo (Ver foto 23), cerca del sitio de estudio inicia en las coordenadas E 551815 N 1463450 y se pierde en

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

las coordenadas E 551422 N 1463702 se caracteriza por ser una falla con desplazamiento horizontal Normal con fuerzas extensionales con una longitud de 500 m lineales aproximadamente, con dirección NE– SW de rumbo N 50° E.

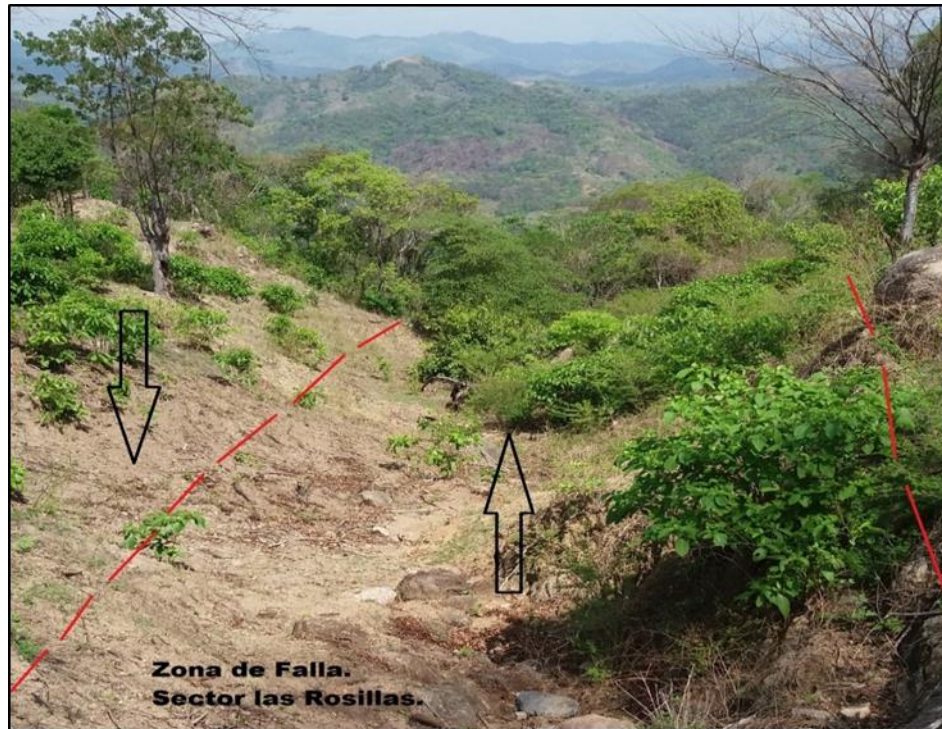


Foto 23. Sector Loma Las Rosillas al NE de Ocotillo donde se observa falla horizontal en la cual las flechas ilustradas en la foto indican el movimiento normal. Coordenadas E 551815 N 1463450.

El mejor afloramiento se localizó en las coordenadas UTM E 551824 N 1463459 cerca del cauce donde se observa la falla. Litológicamente esta corta una unidad geológica constituida por rocas riolitas.

Los indicadores cinemáticos más representativos encontrado en este afloramiento corresponden a un sistema de fracturas paralelas, en el cual se pueden observan pequeños planos de falla indicando la dirección horizontal de la falla. (Ver foto 24).

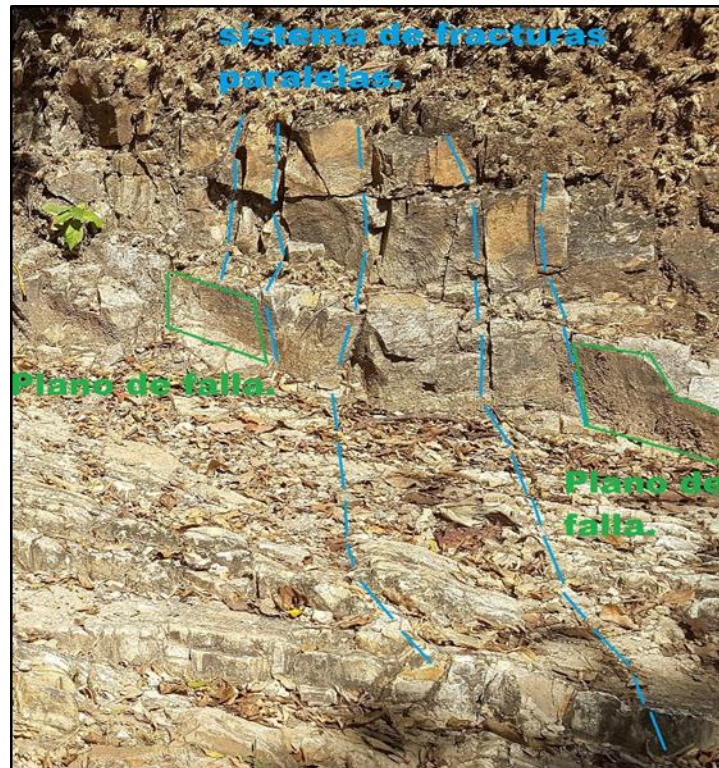


Foto 24. Indicadores cinemáticos de falla Las Rosillas, donde se observan un sistema de fracturas paralelas marcada en plano de falla con desplazamiento horizontal, coordenadas E 551824 N 1463459.

Una falla de carácter normal, comprobada en el campo en corte aflorante en las coordenadas E 554795 N 1462300 en Ocotillo en el sector de Colocondo se caracteriza por ser una falla con desplazamiento vertical Normal con fuerzas extensionales con una longitud mapeada a través de seguimiento de 300 m su rumbo preferencial es NE – SW definido con N 5° E. (Ver foto 25).

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.



Foto 25. Corte aflorante donde se observa la presencia de falla normal donde las flechas de la imagen indican la dirección de movimiento normal de la falla. Se ubica entre El Ocotillo y Colocondo. Coordenadas E 554795 N 1462300.

En el contexto litológico esta falla corta a la unidad Riolitas en el extremo Sur de nuestra área de estudio en Ocotillo. El indicador cinemático representativo y observado en el corte aflorante corresponde al sistema de fracturamiento paralelas. (Foto 26).



Foto 26. Corte aflorante litológicamente compuesto de riolitas observándose un sistema de fracturas paralelas. Se ubica entre El Ocotillo y Colocondo. Coordenadas E 554798 N 1462288.

➤ **Roseta de fractura para fallamiento NE-SW.**

El análisis de roseta de fractura para esta fase de deformación de actividad tectónica expresa un esfuerzo máximo o extensivo δ_1 en dirección hacia el NE, mientras que al NW se da la dirección de acortamiento es decir esfuerzo compresivo δ_3 , (Figura N° 12). La roseta de fracturas, es elaborada a partir de datos de campo indica una dirección preferencial N45°E que demuestra que el esfuerzo máximo es de medio ángulo.

De igual manera se recolectaron 30 datos en campo correspondientes a los rumbos de fallas y dirección de fracturamientos más representativos, para realizar el diagrama de roseta de fractura apoyadas por el programa Grapher 9, el cual es un programa para representar gráficamente en 2D Y 3D a través de simple ecuaciones y así comprobar esta fase de deformación, indicando que el máximo esfuerzo δ_1 está orientado hacia el NE con un máximo esfuerzo extensivo y δ_3 dirigido al NW. (Ver figura 12).

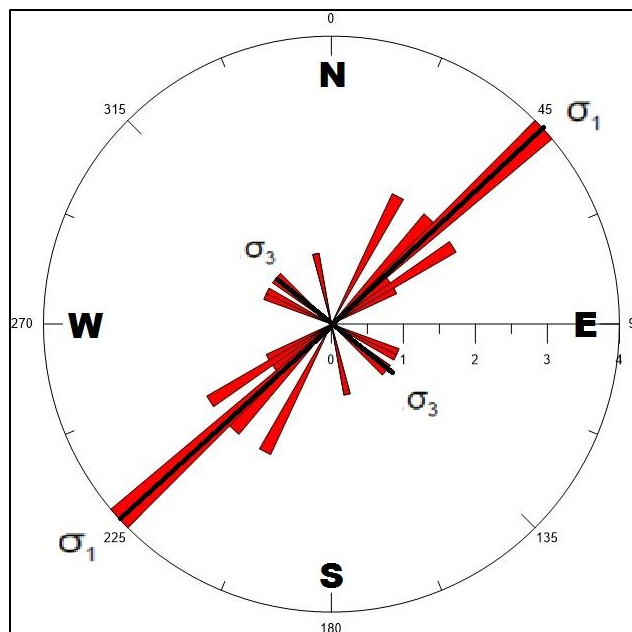


Figura 12. Diagrama de roseta de fracturas indicando la dirección de máximo esfuerzo δ_1 o esfuerzo compresivo en dirección al NE y un esfuerzo mínimo o extensivo hacia el NW de la fase de fallamiento NE - SW.

FASES DE FALLAS NW-SE.

Se presenta con una marcada fase de deformación y actividad tectónica que afectó específicamente el Norte y Sur del área de estudio. Generalmente se han constatado como un repetitivo fallamiento lineal con patrón de dirección preferencial NW-SE. Son fallas normales, originadas por fuerzas extensionales, se identificaron 2 fallas en nuestra área de estudio de las cuales son consideradas como locales. Este fallamiento local no excede los 1500 m y son de poca extensión.

El nombre que corresponde a cada una de estas fallas fue asignado según el punto geográfico en la que se localiza; dado a que ellas se sitúan en los alrededores de la misma localidad las cuales son falla Cerro La Pila en la Comunidad de la Grecia y falla El Jicarito en la comunidad Ocotillo.

La interpretación cinemática de las mediciones de rumbo y azimut de las fracturas encontradas y otros indicadores físicos in situ, confirma que esta fase de fallamiento normal predominantemente se presenta con un movimiento lateral derecho y medible en algunos indicadores a lo largo de toda su extensión.

En La Grecia, donde se encuentran las rocas de Formación Coyol Superior e Inferior (Hudgson G, 1971), de edad Terciaria y por su antigüedad facilitan el fracturamiento y fallamiento se encontró:

A través del reconocimiento geológico se encontró una falla al pie del Cerro La Pila ubicado en las coordenadas E 547110, N 1454250, es una falla normal de esfuerzo extensional y presenta un rumbo de N 60° W con una longitud aproximada de 500 m donde el bloque izquierdo es el ascendente y corta el Cerro en dirección NW - SE.

En el afloramiento estudiado, litológicamente se encontró en la unidad andesíticas en la cual se midieron indicadores cinemáticos, como facturas paralelas y zonas de cizallas a partir de las cuales se determinó que el sentido de movimiento de la falla es normal. (Ver foto 27).

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

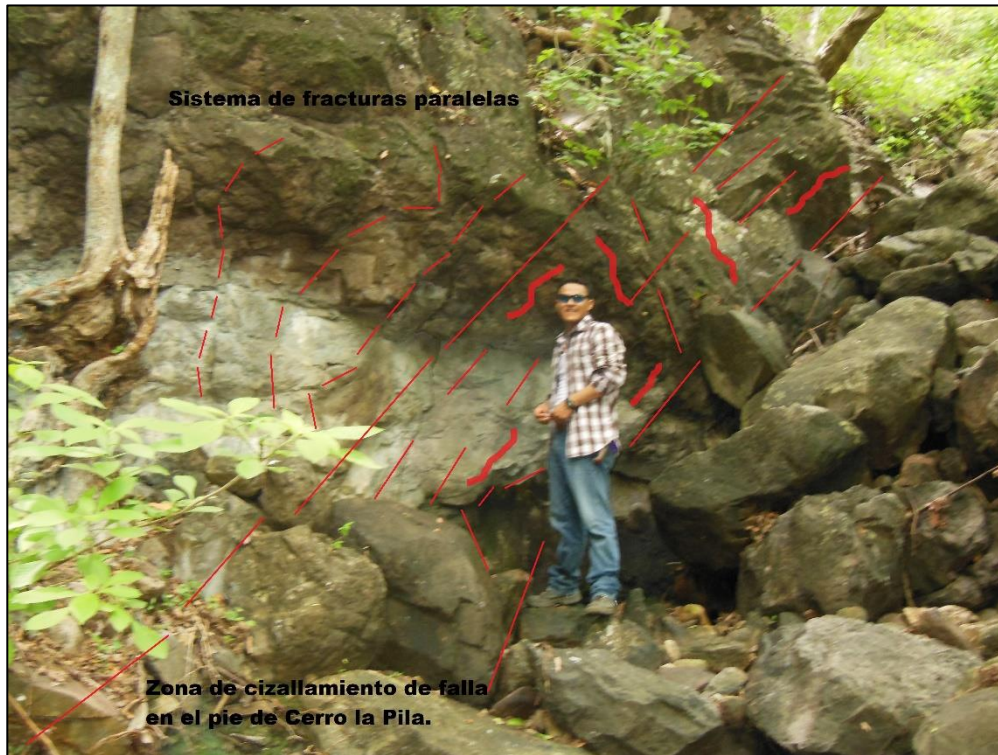


Foto 27. Zona de falla donde se observan indicadores cinemáticos guías de fallas como zonas de cizalla y un sistema de fracturamiento paralelo, en corte al pie del Cerro La Pila NE de la comunidad la Grecia. Coordenadas E 547110 N1454250.

En el sector N del Ocotillo se localiza otra falla entre Loma El Jicarito y Loma Tierra Blanca. Es una falla con desplazamiento vertical normal, produciendo fuerzas compresionales afectando litológicamente la Unidad Riolitas, en donde se marcan claramente indicadores cinemáticos importante para describir el comportamiento de la falla, los cuales son pequeños espejos o planos de falla y un sistema de fracturamiento paralelo. A su vez esta tiene una longitud de promedio de 600 m lineales aflorante en segmentos, con un rumbo preferencial NW – SE y definido N 25° W. Esta falla se puede observar ubicada en las coordenadas E 552902 N 1462250. (Ver foto 28).



Foto 28. A) Corte aflorante donde se observa un plano de falla marcado junto con un sistema de fracturas paralelas sobre la misma falla normal. Coordenadas E 552902 N 1462250. B) Presencia de falla de con desplazamiento vertical normal. Sector El Jicarito – Loma Tierra Blanca. Coordenadas E 553100 N 1463000.

➤ **Roseta de fractura para fallamiento NW-SE.**

La roseta de fracturas, es elaborada a partir de datos de campo indica una dirección preferencial N45°W que al ser convertido a medida Azimutal corresponde a 315°, que demuestra que el esfuerzo máximo es de ángulo medio (Fig. N° 13), esto expresa un esfuerzo máximo compresivo δ_1 en dirección hacia el NW, mientras que al NE se da la dirección de acortamiento es decir esfuerzo extensivo δ_3 .

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

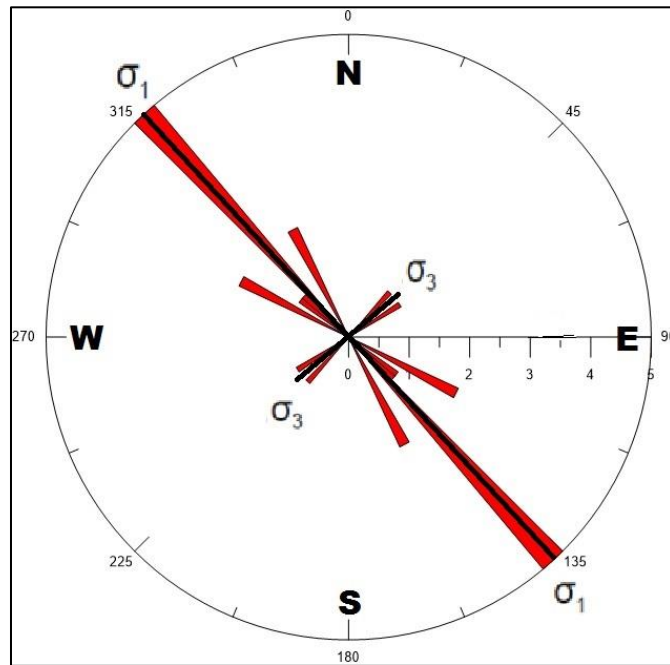


Fig. N°13. Diagrama de roseta de fracturas indicando la dirección de máximo esfuerzo σ_1 o esfuerzo compresivo en dirección al NW y un esfuerzo mínimo o extensivo hacia el NE de la fase de fallamiento NW - SE.

4.3 GEOTECNIA APLICADA

RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE LABORATORIO

A continuación, se presentan los resultados de laboratorio de cuatro muestras de suelo pertenecientes de dos sitios La Grecia y Ocotillo, ambos pertenecen al municipio de San Juan de Limay.

SUELOS DEL SITIO LA GRECIA

En La Grecia se describe y se tomó una muestra de suelo correspondiente de la calicata 1, de la parte superior a la parte inferior con coordenadas UTM E 546361 N 1456689. Los resultados obtenidos en la muestra 1, corresponden a:

- Suelo de textura Areno-arcillosa presenta color café claro.

Debido a la representación sobre la curva granulométrica la cual nos indicó los porcentajes que pasaron por los tamices y se indican sus acumulados, nos dio como resultado dicha textura para la muestra.

En la prueba con el agregado grueso la mayoría paso por casi todos los tamices, y se puede notar que en esta prueba predomina una grava fina (Ver Fig 14). Al realizarse la curva granulométrica con el agregado fino se encuentra que es un suelo arenoso con alto contenido se arcilla.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

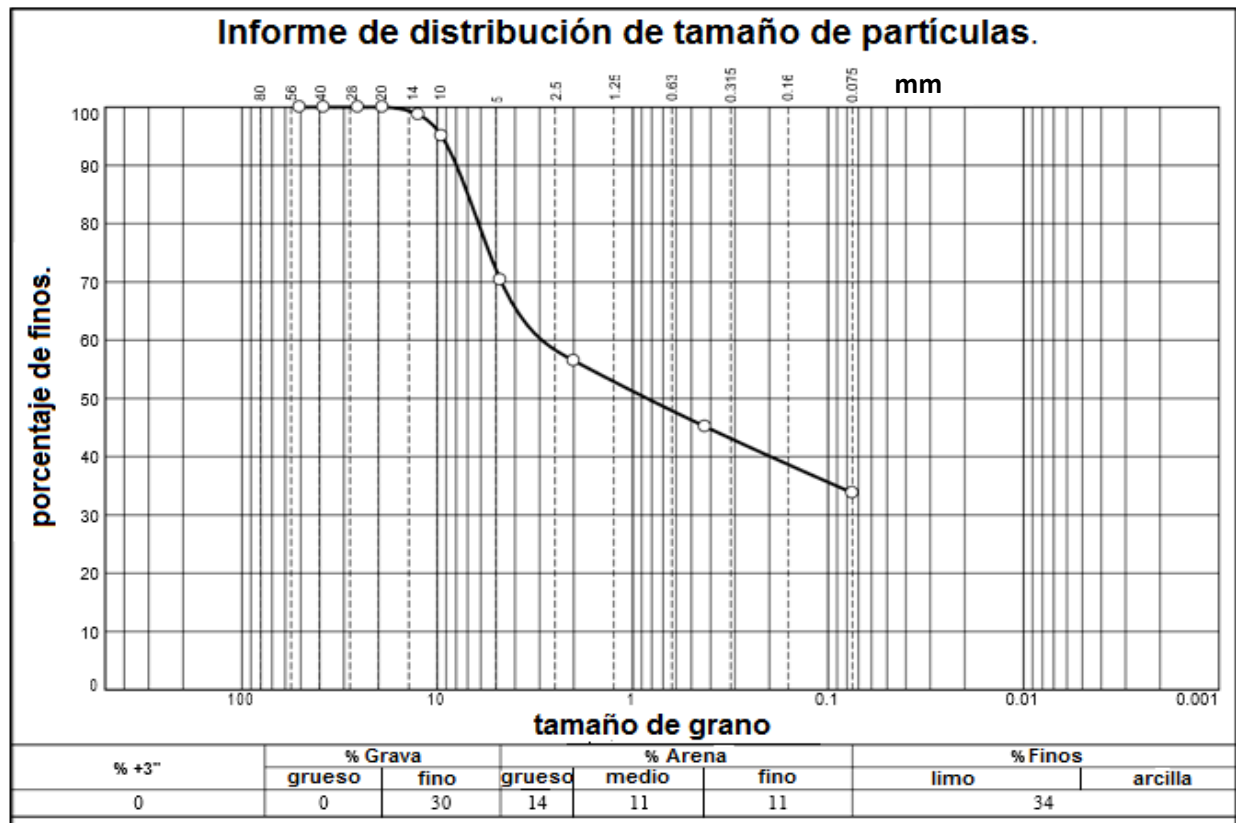


Fig. N° 14. La figura muestra la curva en base a los porcentajes alcanzados y el tamaño de los granos representados en mm, la cual por la mayor cantidad de porcentajes de granos arenosos y la segundo mayor cantidad correspondiente a arcilla se determinó su textura. Calicata 1, Muestra 1, capa 1, La Grecia.

Tabla 4. Componentes fraccionales

Componentes fraccionales.										
Guijarro	Grava			Arena				Finos		
	grueso	fino	Total	gruesa	Medio	Fino	Total	limo	arcilla	Total
0	0	30	30	14	11	11	36			34

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**

En las siguientes tablas se presentan los resultados de la textura y tipo de material de la muestra luego de la interpretación de la curva granulométrica.

Calicata #1, Muestra #1, Capa #1, La Grecia, San Juan de Limay.

Muestra 1 a una profundidad de: 0.00 - 0.50 m.

Tabla 5. Datos de la prueba de distribución del tamaño del grano.

Tabla de datos de prueba del Tamiz.					
Muestra y tara (gramos)	Tara (gramos)	Tamaño de apertura del tamiz		Peso del tamiz (gramos)	Porcentaje de finos
1166.8	0	2"	0	0	100
		1.5"	0	0	100
		1"	0	0	100
		3/4"	0	0	100
		1/2"	14.8	0	99
		3/8"	43	0	95
		#4	288.2	0	70
126.8	0	#10	25	0	56
		#40	20.4	0	45
		#200	20.5	0	34

Tabla 6. Parámetros de suelo.

Coeficientes		Límites de Attemberg	
D10		PL	21
D15		LL	34
D30		PI	13
D50	0.8427	Clasificación	
D60	2.9145	USCS	SC
D85	6.9674	AASHTO	A-2-6(1)
D90	7.9764	PVSS	758 kg/m ³
Cu		Humedad Natural	47.80%
Cc		Coordenadas	E 546361 N 1456689

SUELOS DEL SITIO OCOTILLO

En dicho sitio el análisis realizado corresponde a 2 calicatas en las cuales obtuvimos 3 muestras. En la calicata 1, la roca se encuentra a los 0.30 m por lo cual solo fue necesario analizar 1 muestra y en la calicata 2, la roca se encuentra a los 1.51 m, por lo cual se obtuvieron dos capas de suelos para análisis.

A continuación, se describe la muestra de suelo correspondiente de la calicata 1, de la parte superior a la parte inferior con coordenadas UTM E 552344 N1463520. Los resultados obtenidos corresponden a:

- Arcilla de baja plasticidad gravosa, color café oscuro.

Debido a la representación sobre la curva granulométrica la cual nos indicó los porcentajes que pasaron por los tamices y se indican sus acumulados, el análisis con el agregado grueso la mayoría paso por casi todos los tamices es decir el suelo presenta alto contenido de arcilla y presenta alto valor de grava fina. (Ver figura 15).

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

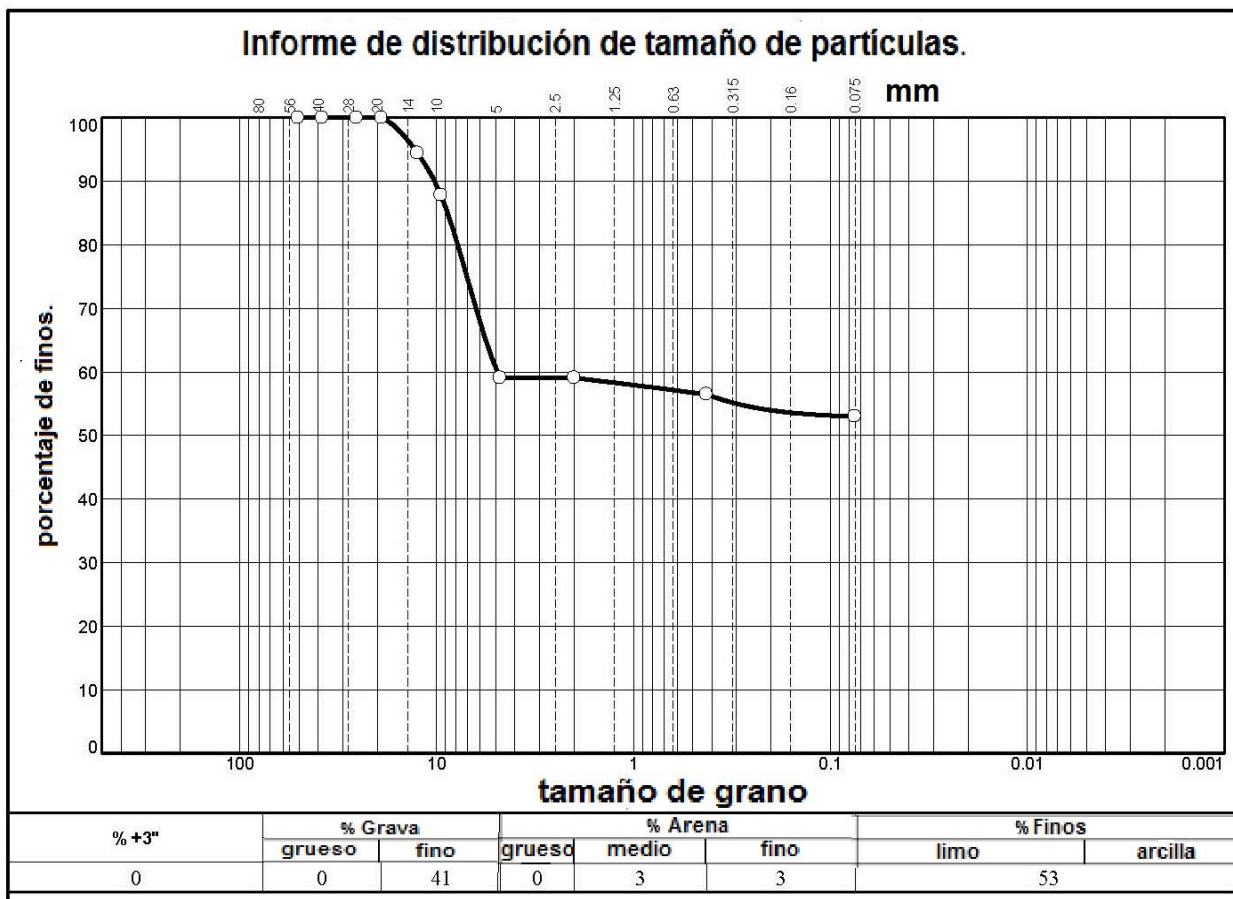


Fig. Nº15. La figura muestra la curva en base a los porcentajes alcanzados y el tamaño de los granos representados en mm, la cual refleja un suelo con alto contenido de arcilla y presenta alto valor de grava fina. Calicata 1, Muestra 1, Capa 1, Ocotillo.

Tabla 7. Componentes fraccionales.

Componentes fraccionales.										
Guijarro	Grava			Arena				Finos		
	grueso	fina	Total	gruesa	Media	Fina	Total	limo	arcilla	Total
0	0	41	41	0	3	3	6			53

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

En las siguientes tablas se presentan los resultados de la textura y tipo de material de la muestra luego de la interpretación de la curva granulométrica.

Calicata #1, Muestra #1, Capa #1, Ocotillo, San Juan de Limay.

Muestra 1 a una profundidad de: 0.00 - 0.40 m.

Tabla 8. Datos de la prueba de distribución del tamaño del grano.

Tabla de datos de prueba del Tamiz.					
Muestra y tara (gramos)	Tara (gramos)	Tamaño de apertura del tamiz	Peso retenido (gramos)	Peso del tamiz (gramos)	Porcentaje de finos
1166.8	0	2"	0	0	100
		1.5"	0	0	100
		1"	0	0	100
		3/4"	0	0	100
		1/2"	14.8	0	99
		3/8"	43	0	95
		#4	288.2	0	70
126.8	0	#10	25	0	56
		#40	20.4	0	45
		#200	20.5	0	34

Tabla 9. Parámetros de suelo.

Coeficientes		Límites de Attemberg	
D10		PL	23
D15		LL	34
D30		PI	11
D50		Clasificación	
D60	4.907	USCS	CL
D85	8.7854	AASHTO	A-6(3)
D90	10.2162	PVSS	749 kg/m3
Cu		Humedad Natural	24.50%
Cc		Coordenadas	E 552344 N 1463520

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

En la calicata 2 con coordenadas UTM E 552344 N1463520, se describen 2 muestras de suelo correspondiente de la parte superior a la parte inferior.

La muestra 1 sus resultados corresponden a:

- Arena limosa con grava, color café oscuro.

En la representación de la curva granulométrica nos indicó los porcentajes que pasaron por los tamices y se indican sus acumulados, el análisis con el agregado predominante es fino, la mayoría de porcentaje predominante es de granos tipo arena gruesos y finos y abundante material limo es decir el suelo presenta alto contenido areno limosa y poca grava. (Ver figura 16).

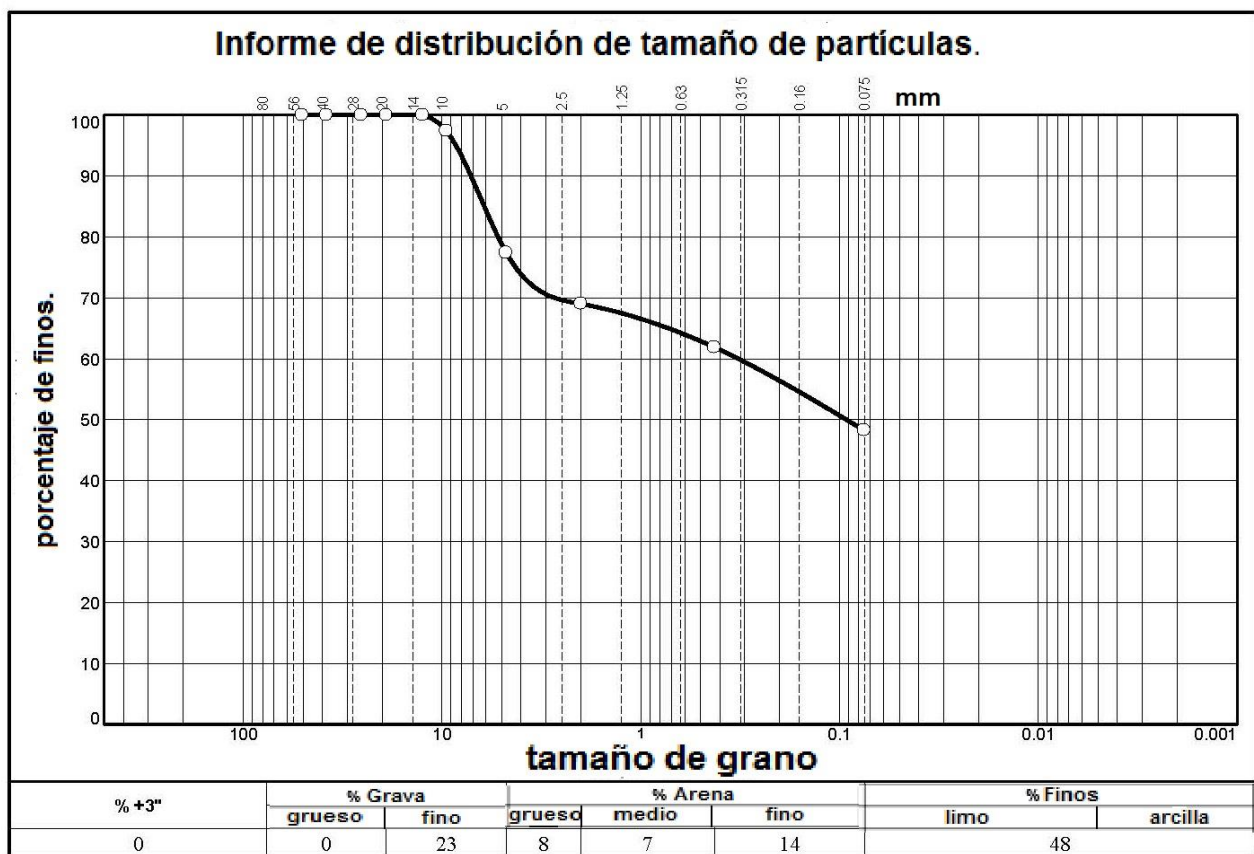


Fig. N.º 16. La figura muestra la curva en base a los porcentajes alcanzados y el tamaño de los granos representados en mm, la cual refleja un suelo con alto contenido de arena y presenta valor medio de grava fina. Calicata 2, Muestra 1, Capa 1, Ocotillo.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

Tabla 10. Componentes fraccionales.

Componentes fraccionales.										
Guijarro	Grava			Arena				Finos		
	grueso	fina	Total	gruesa	Media	Fina	Total	limo	arcilla	Total
0	0	23	23	8	7	14	29			48

En las siguientes tablas se presentan los resultados de la textura y tipo de material de la muestra luego de la interpretación de la curva granulométrica.

Calicata #2, Muestra #1, Capa #1, Ocotillo, San Juan de Limay.

Muestra 1 a una profundidad de: 0.00 - 0.43 m.

Tabla 11. Datos de la prueba de distribución del tamaño del grano

Tabla de datos de prueba del Tamiz.					
Muestra y tara (gramos)	Tara (gramos)	Tamaño de apertura del tamiz	Peso retenido (gramos)	Peso del tamiz (gramos)	Porcentaje de finos
470.8	0	2"	0	0	100
		1.5"	0	0	100
		1"	0	0	100
		3/4"	0	0	100
		1/2"	0	0	100
		3/8"	12.2	0	97
		#4	94.2	0	77
138.6	0	#10	15	0	69
		#40	12.8	0	62
		#200	24.4	0	48

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**

Tabla 12. Parámetros de suelo.

Coeficientes		Límites de Attemberg	
D10		PL	35
D15		LL	47
D30		PI	12
D50	0.0921	Clasificación	
D60	0.3228	USCS	SM
D85	6.1236	AASHTO	A-7-5(4)
D90	7.1391	PVSS	770 kg/m ³
Cu		Humedad Natural	36.80%
Cc		Coordenadas	E 552357 N 1463528

La muestra 2 sus resultados corresponden a:

- Grava limosa con arena, color café oscuro.

En la representación de la curva granulométrica nos indicó los porcentajes que pasaron por los tamices y se indican sus acumulados, el análisis con el agregado predominante es fino, la mayoría de porcentaje predominante es de granos tipo Grava gruesos y finos y abundante material limo es decir el suelo presenta alto contenido Grava limosa y poca arena. (Ver figura 17).

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

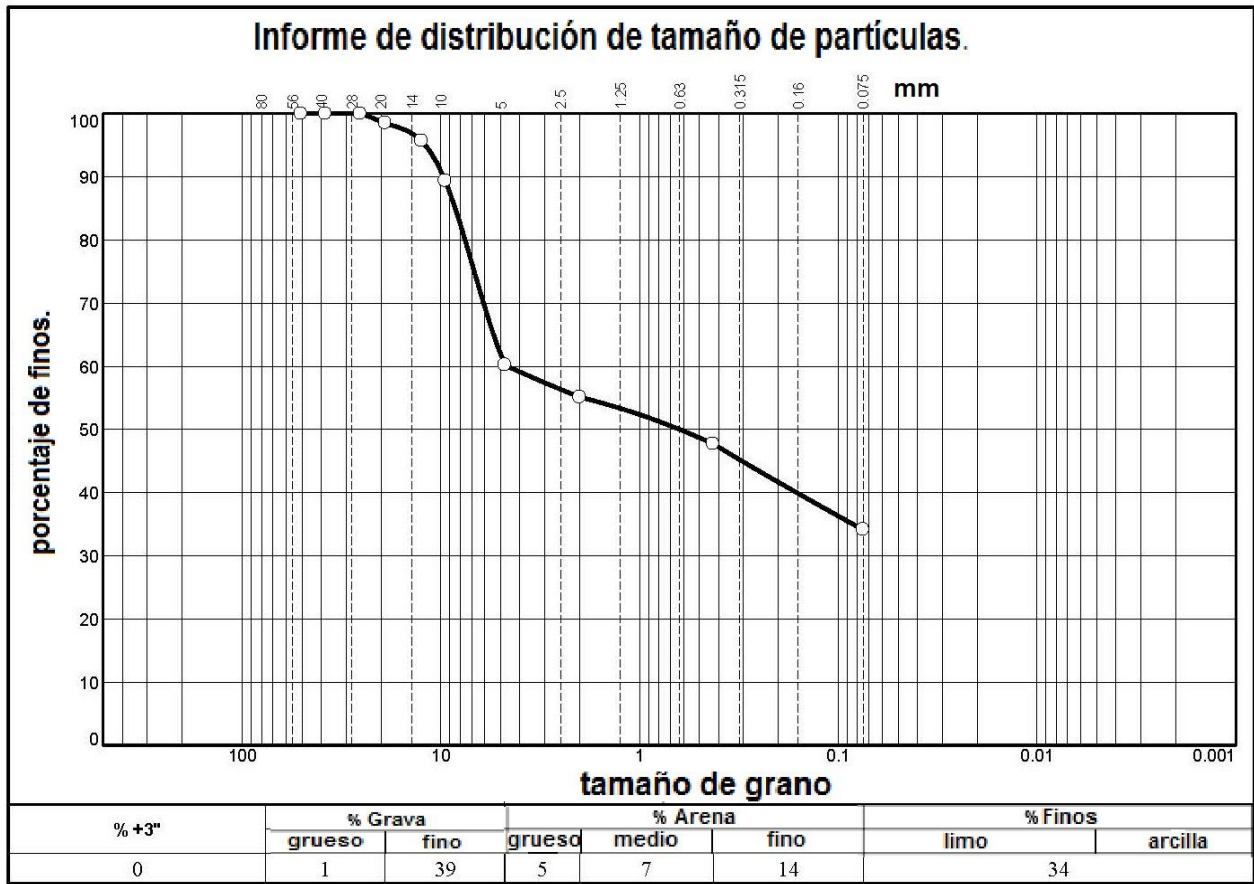


Fig. N.º 17. La figura muestra la curva en base a los porcentajes alcanzados y el tamaño de los granos representados en mm, la cual refleja un suelo con contenido de limo y presenta alto valor de grava fina y menor arena.

Tabla 13. Componentes fraccionales

Componentes fraccionales.										
Guijarro	Grava			Arena				Finos		
	grueso	fina	Total	gruesa	Media	Fina	Total	limo	arcilla	Total
0	1	39	40	5	7	14	26			34

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

En las siguientes tablas se presentan los resultados de la textura y tipo de material de la muestra luego de la interpretación de la curva granulométrica.

Calicata #2, Muestra #2, Capa #2, Ocotillo, San Juan de Limay.

Muestra 1 a una profundidad de: 0.43 - 1.08 m.

Tabla 14. Datos de la prueba de distribución del tamaño del grano.

Datos de prueba del Tamiz.					
Muestra y tara (gramos)	Tara (gramos)	Tamaño de apertura del tamiz	Peso retenido (gramos)	Peso del tamiz (gramos)	Porcentaje de finos
725.4	0	2"	0	0	100
		1.5"	0	0	100
		1"	0	0	100
		3/4"	10.8	0	99
		1/2"	20.4	0	96
		3/8"	45.8	0	89
		#4	211.8	0	60
180.6	0	#10	15.2	0	55
		#40	22.2	0	48
		#200	40.8	0	34

Tabla 15 Parámetros de suelo

Coeficientes		Límites de Atterberg	
D10		PL	35
D15		LL	46
D30		PI	11
D50	0.6268	Clasificación	
D60	4.6092	USCS	GM
D85	8.4574	AASHTO	A-2-7(0)
D90	9.6808	PVSS	778 kg/m ³
Cu		Humedad Natural	36.60%
Cc		Coordenadas	E 552357 N 1463528

4.4 RESULTADO DEL CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE LOS EMBALSE

A través de software Geo5, se calculó la estabilidad de la obra de captación o embalse por el método del Bishop simplificado, con un factor de seguridad de 1.5.

La revisión de inestabilidad de talud contiene los parámetros y métodos definidos para el análisis del mismo, con fin de conocer si este cuenta con suficiente estabilidad antes las cargas y condiciones.

Según las Normas Mínimas para determinar cargas debidas a sismos/RNC-07-22 del Reglamento Nacional de la Construcción para tomar en cuenta los efectos de amplificación sísmica debido a las características del terreno, los suelos se dividirán en cuatro tipos, de acuerdo con las siguientes características:

- ✓ Tipo I: Afloramiento rocoso con $V_s > 750$ m/s,
- ✓ Tipo II: Suelo firme con $360 < V_s \leq 750$ m/s,
- ✓ Tipo III: Suelo moderadamente blando, con $180 \leq V_s \leq 360$ m/s,
- ✓ Tipo IV: Suelo muy blando, con $V_s < 180$ m/s.

FACTORES DE SEGURIDAD MÍNIMOS PARA TALUDES EN GENERAL

Para el cálculo de estabilidad de los embalses se tomó en cuenta la evaluación de los coeficientes de seguridad mínimos establecidos en la norma española “Guía de cimentaciones en obras de carretera” (Ministerio de Fomento, España).

Los coeficientes de seguridad según dicha norma, deben de establecerse según cada caso, en función de las características del terreno y de la obra en cuestión. Así mismo, el coeficiente de seguridad exigible será más alto en una situación persistente con la combinación casi permanente (F1); pues la rotura debe quedar muy lejos de este caso, del mismo modo en las situaciones accidentales (F3), el coeficiente de seguridad exigible será menor. Para situaciones persistentes con

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**

combinaciones características se indicarán valores de los coeficientes de seguridad intermedios entre los anteriores (F_2). Es decir, deberá cumplirse que $F_1 > F_2 > F_3$. Los coeficientes de seguridad establecidos en esta guía se ilustran en las siguientes tablas:

Tabla 16. Determinación del coeficiente de seguridad. Fuente: "Guía de cimentaciones en obras de carreteras", 2009, Ministerio de Fomento, España.

SITUACIÓN DE PROYECTO	COMBINACIÓN DE ACCIONES	COEFICIENTE DE SEGURIDAD
Persistente	Casi permanente Característica	F_1 F_2
Transitoria y de corto plazo	Casi permanente Característica	F_2 F_2
Accidental	Accidental sin sismo Sísmica (accidental con sismo)	F_3 F_3

Tabla 17. Estabilidad Global: Coeficiente de Seguridad mínimos, Fuente: "Guía de cimentaciones en obras de carreteras", 2009, Ministerio de Fomento, España.

COMBINACIÓN DE ACCIONES	COEFICIENTE NORMAL	COEFICIENTE REDUCIDO
Casi permanente (*)	$F_1 \geq 1,50$	$F_{1,red} \geq 1,30$
Característica	$F_2 \geq 1,30$	$F_{2,red} \geq 1,20$
Accidental	$F_3 \geq 1,10$	$F_{3,red} \geq 1,05$

(*) Como valor del coeficiente de seguridad para la combinación de acciones casi permanente, en situaciones transitorias y de corto plazo, podrá adoptarse el coeficiente de seguridad F_2 (véase apartado 2.10), o $F_{2,red}$, según sea el caso.

Para el cálculo del factor de seguridad del embalse se aplicó el método de Bishop, utilizando el Software Geo 5. Geo5 es un programa para el análisis de estabilidad de una pendiente, utilizando el método simplificado del Bishop. En el método de Bishop el factor de seguridad de una pendiente se determina comparando el momento del peso de una cuña de suelo alrededor del centro de un círculo de deslizamiento, con el momento resistente proporcionado por las tensiones de cizallamiento a lo largo de la superficie de deslizamiento.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

Los dos momentos se calculan mediante la subdivisión de la cuña deslizante en un gran número de rebanadas verticales.

Donde el factor admisible debe ser mayor a 1.00 y 1.5 dependiendo las condiciones y el método aplicado.

A continuación, se observan las gráficas del resultado de dichos cálculos:

CALCULO DE ESTABILIDAD, EMBALSE LA GRECIA

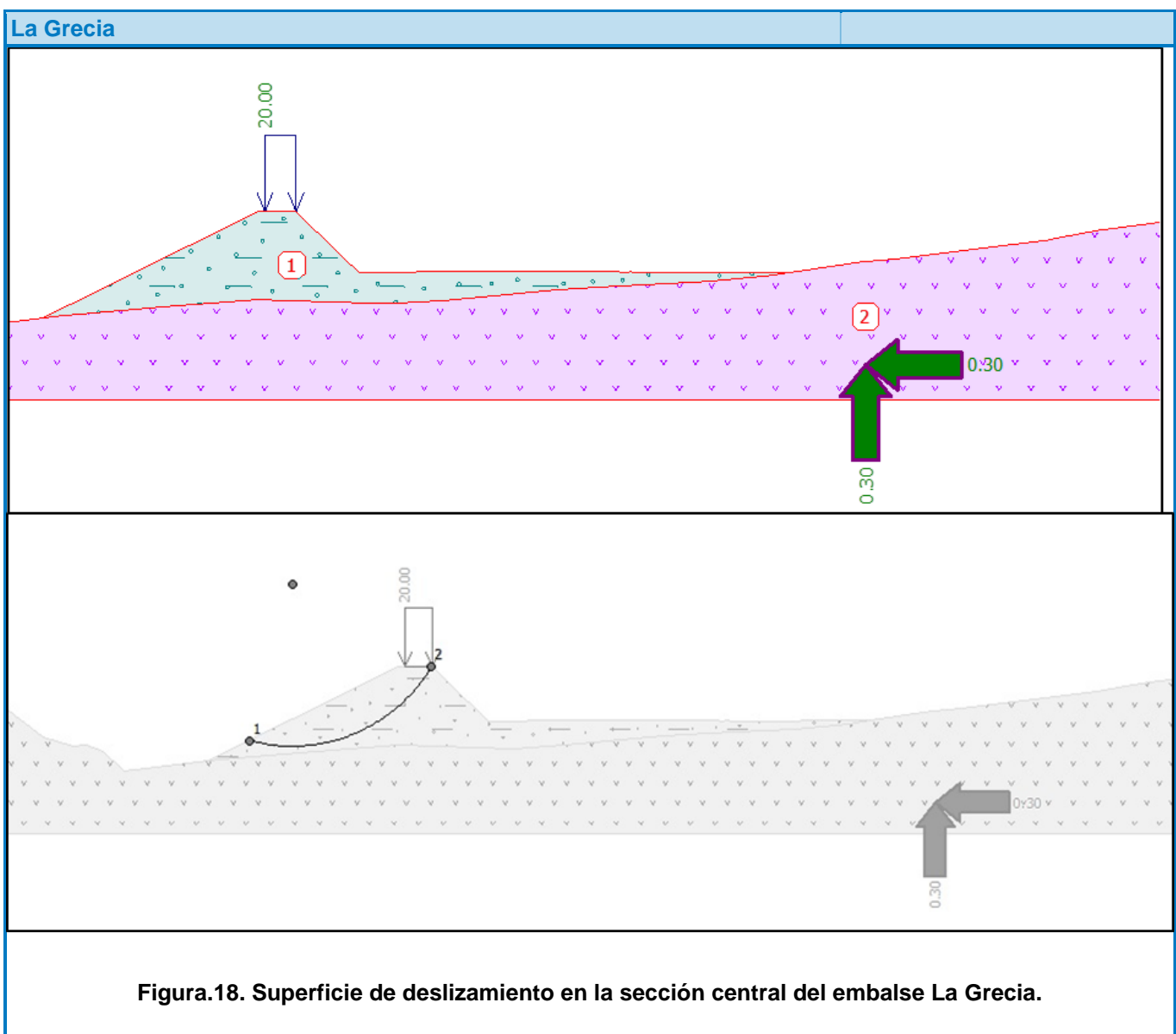


Figura.18. Superficie de deslizamiento en la sección central del embalse La Grecia.

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**

Tabla 18. Factor de seguridad La Grecia

Factor de seguridad La Grecia		
Factor de seguridad	SF _S =	1.50 [-]

Tabla 19 Interfaces




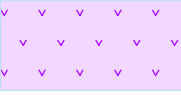

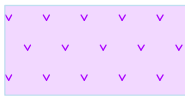
No.	Localización Interface	Coordenadas de los puntos de interfaces [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-32.35	-1.10	-31.43	-1.83	-27.25	-5.08
		-25.12	-5.77	-24.17	-5.69	-22.87	-6.18
		-21.34	-7.52	-20.62	-7.49	-15.24	-6.82
		-9.11	-3.78	-1.49	0.00	-0.90	0.00
		0.90	0.00	1.00	0.00	1.03	0.00
		2.17	-1.15	5.07	-3.93	5.37	-3.93
		5.57	-3.93	6.32	-3.93	6.96	-3.93
		7.55	-3.93	8.31	-3.90	8.78	-3.85
		21.66	-3.84	21.91	-3.94	22.48	-3.84
		22.59	-3.93	32.72	-3.89	37.27	-3.21
		39.39	-3.04	49.26	-1.80	49.72	-1.70
		52.38	-1.20	59.31	-0.30	66.55	-0.98
		70.55	-1.15	75.40	-1.44	83.09	-0.46
		86.09	-0.29	88.83	-0.38	93.49	-0.09
94.96	-0.02	96.27	0.15	96.80	0.33		
		107.39	4.00				
2		-15.24	-6.82	-14.28	-6.70	-7.45	-6.09
		-1.48	-5.63	6.88	-5.90	10.54	-5.68
		17.82	-4.99	21.03	-4.80	27.31	-4.48
		31.23	-4.11	32.72	-3.89		

Tabla 20. Parámetros de suelo y roca.

No.	Nombre	Patrón	φ _{ef} [°]	c _{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Areno-limoso (SC)		27.00	4.90	1.16
2	Andesita		0.00	0.00	3135.17

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**

No.	Nombre	Patrón	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
1	Areno-limoso (SC)		1.74		
2	Andesita		3135.17		

Areno-limoso (SC)

Peso específico : $\gamma = 1.16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

Angulo de fricción interna : $\varphi_{ef} = 27.00^\circ$

Cohesión de suelo : $c_{ef} = 4.90 \text{ kPa}$

Peso saturado : $\gamma_{sa} = 1.74 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$


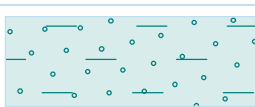
Andesita

Peso específico : $\gamma = 3135.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$


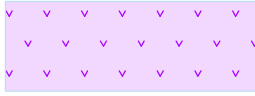
Angulo de fricción interna $\varphi_e = 0.00^\circ$

Cohesión : $c_e = 0.00 \text{ kPa}$

Tabla 21. Asignación de interfaces

No.	Posición de interface	Coordenadas de puntos de interface [m]				Asignación de suelo y roca
		x	z	x	z	
1		-14.28	-6.70	-7.45	-6.09	Areno-arcilloso (SC)
		-1.48	-5.63	6.88	-5.90	
		10.54	-5.68	17.82	-4.99	
		21.03	-4.80	27.31	-4.48	
		31.23	-4.11	32.72	-3.89	
		22.59	-3.93	22.48	-3.84	
		21.91	-3.94	21.66	-3.84	
		8.78	-3.85	8.31	-3.90	
		7.55	-3.93	6.96	-3.93	

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**

No.	Posición de interface	Coordenadas de puntos de interface [m]				Asignación de suelo y roca
		x	z	x	z	
		6.32	-3.93	5.57	-3.93	
		5.37	-3.93	5.07	-3.93	
		2.17	-1.15	1.03	0.00	
		1.00	0.00	0.90	0.00	
		-0.90	0.00	-1.49	0.00	
		-9.11	-3.78	-15.24	-6.82	
2		31.23	-4.11	27.31	-4.48	Andesita
		21.03	-4.80	17.82	-4.99	
		10.54	-5.68	6.88	-5.90	
		-1.48	-5.63	-7.45	-6.09	
		-14.28	-6.70	-15.24	-6.82	
		-20.62	-7.49	-21.34	-7.52	
		-22.87	-6.18	-24.17	-5.69	
		-25.12	-5.77	-27.25	-5.08	
		-31.43	-1.83	-32.35	-1.10	
		-32.35	-12.09	107.39	-12.09	
		107.39	4.00	96.80	0.33	
		96.27	0.15	94.96	-0.02	
		93.49	-0.09	88.83	-0.38	
		86.09	-0.29	83.09	-0.46	
		75.40	-1.44	70.55	-1.15	
		66.55	-0.98	59.31	-0.30	
		52.38	-1.20	49.72	-1.70	
		49.26	-1.80	39.39	-3.04	
		37.27	-3.21	32.72	-3.89	

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**

Factores sísmicos

Coeficiente sísmico Horizontal : $K_h = 0.30$

Coeficiente sísmico Vertical : $K_v = 0.30$

Resultado del Análisis 1

Tabla 22. Superficie de deslizamiento circular

Parámetros de superficie de deslizamiento					
Centro :	x =	-9.18 [m]	Angulo:	$\alpha_1 =$	-15.20 [°]
	z =	5.98 [m]		$\alpha_2 =$	59.36 [°]
Radio :	R =	11.73 [m]			

Verificación de la estabilidad (Todos los métodos)

Bishop : $FS = 2.27 > 1.50$ **ACEPTABLE**

Fellenius / Petterson : $FS = 2.04 > 1.50$ **ACEPTABLE**

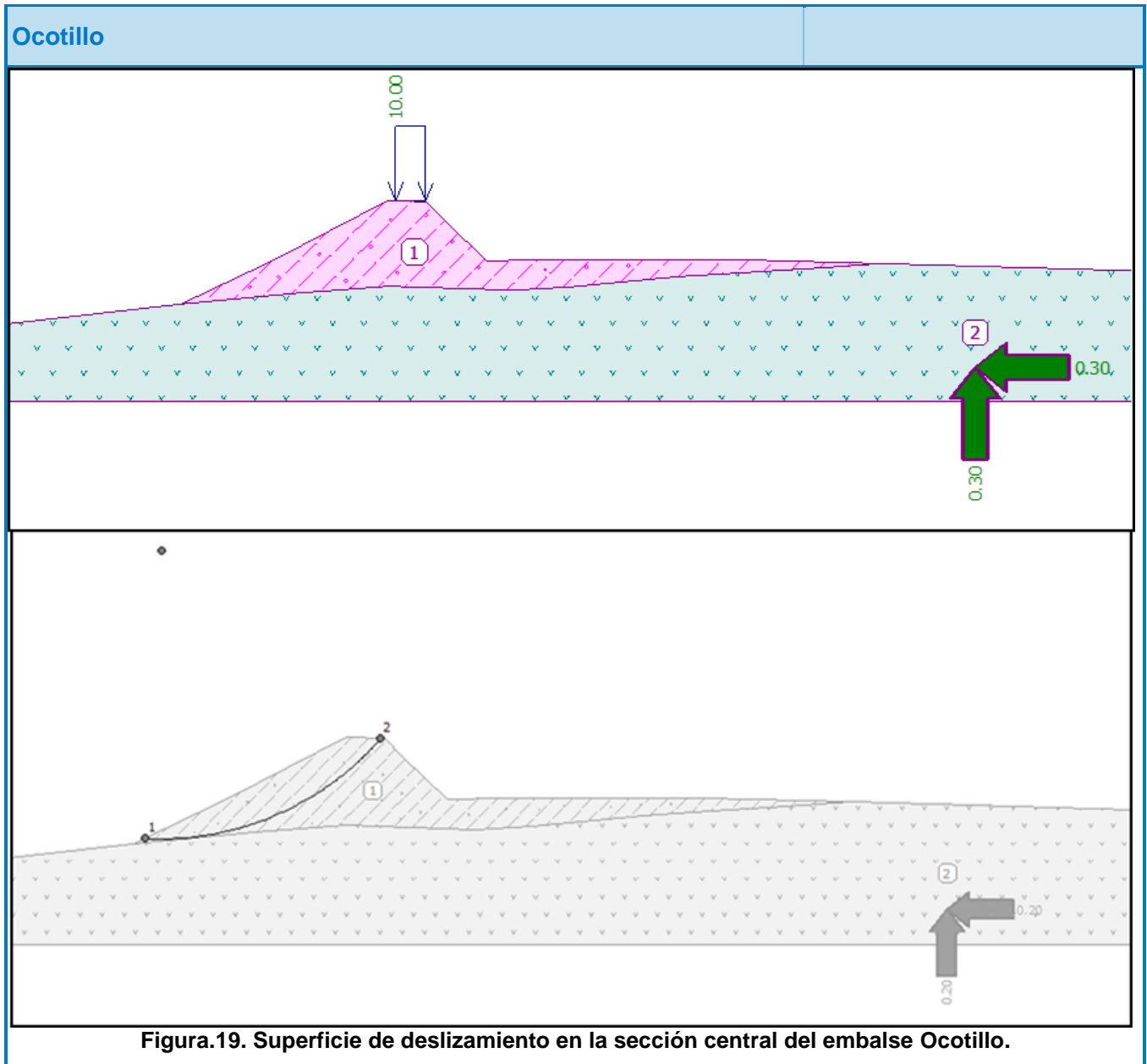
Spencer : $FS = 2.24 > 1.50$ **ACEPTABLE**

Janbu : $FS = 2.22 > 1.50$ **ACEPTABLE**

Morgenstern-Price : $FS = 2.38 > 1.50$ **ACEPTABLE**

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

CALCULO DE ESTABILIDAD, EMBALSE OCOTILLO



CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

Tabla 23 Factor de seguridad

Factor de Seguridad		
Factor de seguridad :	$SF_S =$	1.50 [-]

Tabla 24 Interface

No.	Localización de interface	Coordenadas de interfaces [m]					
		x	z	x	z	x	z
1		-32.35	-8.78	-21.34	-7.52	-15.24	-6.82
		-9.06	-3.86	-1.49	0.12	1.03	0.00
		2.17	-1.15	5.07	-3.93	8.78	-3.85
		21.66	-3.84	31.23	-4.11	107.39	-6.30
2		-15.24	-6.82	-7.45	-6.09	-1.48	-5.63
		6.88	-5.90	10.54	-5.68	17.82	-4.99
		21.03	-4.80	27.16	-4.41	31.23	-4.11

Tabla 25. Parámetros de suelo.

No.	Nombre	Patrón	ϕ_{ef} [°]	C_{ef} [kPa]	γ [kN/m ³]
1	Areno-limoso		26.50	1.90	1.16
2	andesita		0.00	0.00	18.07

Nombre	Patrón	γ_{sat} [kN/m ³]	γ_s [kN/m ³]	n [-]
Arena-limosa (MS), consistencia firme		1.60		
Andesita		18.07		

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**

Parámetros de suelo y roca

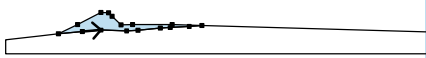

Areno-limoso (MS), consistencia firme

Peso específico :	γ	=	1.16 kN/m ³
Angulo de fricción interna	ϕ_{ef}	=	26.50 °
Cohesión de suelo:	c_{ef}	=	1.90 kPa
Peso específico saturado :	γ_{sat}	=	1.60 kN/m ³

Andesita

Peso específico :	γ	=	18.07 kN/m ³
Peso específico saturado :	γ_{sat}	=	18.07 kN/m ³

Tabla 26. Asignación de interfaces

No.	Posición de interfaces	Coordenadas de puntos de interfaces [m]				Asignación de suelo y roca
		x	z	x	z	
1		-7.45	-6.09	-1.48	-5.63	Sandy silt (MS), consistency firm
		6.88	-5.90	10.54	-5.68	
		17.82	-4.99	21.03	-4.80	
		27.16	-4.41	31.23	-4.11	
		21.66	-3.84	8.78	-3.85	
		5.07	-3.93	2.17	-1.15	
		1.03	0.00	-1.49	0.12	
		-9.06	-3.86	-15.24	-6.82	
2		27.16	-4.41	21.03	-4.80	Andesita
		17.82	-4.99	10.54	-5.68	
		6.88	-5.90	-1.48	-5.63	
		-7.45	-6.09	-15.24	-6.82	
		-21.34	-7.52	-32.35	-8.78	
		-32.35	-13.35	107.39	-13.35	
		107.39	-6.30	31.23	-4.11	

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**

Tabla 27. Parámetros de la superficie de deslizamiento

Parámetros de la superficie de deslizamiento							
Centro :	x =	-13.42	[m]	Ángulos :	α1 =	-3.33	[°]
	z =	12.20	[m]		α2 =	49.32	[°]
Radio :	R =	18.70	[m]				

Factores sísmicos

Factor sísmico Horizontal : $K_h = 0.30$

Factor sísmico Vertical : $K_v = 0.30$

Resultado análisis 1, Ocotillo

Superficie de deslizamiento circular

Verificación de la estabilidad (Todos los métodos)

Bishop : $FS = 1.57 > 1.50$ **ACEPTABLE**

Fellenius / Petterson : $FS = 1.47 < 1.50$ **NO ES ACEPTABLE**

Spencer : $FS = 1.56 > 1.50$ **ACEPTABLE**

Janbu : $FS = 1.56 > 1.50$ **ACEPTABLE**

Morgenstern-Price : $FS = 1.59 > 1.50$ **ACEPTABLE**

5. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados y con los resultados obtenidos se concluye:

Geológicamente se lograron identificar cuatro unidades litológicas que corresponden a las siguientes unidades:

- Unidad riolita (Tmci)
- Unidad andesita (Tmca)
- Unidad dacita (Tmcd)
- Unidad cuaternario (Qal)

En las áreas de las comunidades La Grecia y Ocotillo se identificaron dos sistemas de deformación principales, se orientan NE-SW y NW-SE constituidos por presencia de fallas de carácter local de las cuales según sus indicadores cinemáticos su mecanismo de movimiento y deformación es de tipo normal. Así mismo se identificaron estructuras circulares producto de la subsidencia de antiguas cámaras magmáticas marcando significativamente en el área de la comunidad Ocotillo.

Los resultados obtenidos de ensayos de análisis granulométricos de suelos (ASTM D-422) y de clasificación SUCS/AASHTO ASTM D-2487 ó AASHTO M.145 nos indican que los suelos encontrados en la comunidad La Grecia corresponden a suelos de granos con mayor porcentajes de grano grueso tipo arena y en menor cantidad correspondiente a arcilla clasificándolos como suelos Areno arcillosa con grava (SC). Los suelos encontrados en la comunidad Ocotillo corresponden a suelos de granos con mayores porcentajes de grano fino y menor porcentaje de gravas finas clasificándolos como suelos arcillosos de baja plasticidad gravosa (CL), suelos areno limosos con grava (SM) y suelos gravo limosos con arena (GM).

**CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE
COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO
DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.**

El análisis de la estabilidad de los embalses por medio de cálculos de métodos de equilibrios límites de las comunidades se estableció un factor de seguridad de 1.5, siendo como resultado para la comunidad Ocotillo un factor calculado promedio de 1.56, siendo este mayor a 1.5 el resultado es aceptable para el diseño de la obra. Para la comunidad La Grecia, el factor calculado promedio fue de 2.3, siendo este mayor a 1.5, el resultado es aceptable para el diseño de la obra ingenieril.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar una cartografía geológica a más detalle en el área del municipio de San Juan de Limay con el propósito de definir todas las unidades litológicas existentes y la definición de los contactos entre ellas.
- Ampliar y ejecutar estudios morfoestructurales en las zonas y en los alrededores del municipio de San Juan de Limay con la finalidad de elaborar un sistema estructural completo.
- Se recomienda hacer ensayos triaxiales a los suelos en los sitios La Grecia y Ocotillo.
- Se recomienda hacer estudios geológicos previos para el diseño de obras de cosecha de agua en las comunidades que requieran realización de este tipo de obra en el municipio de San Juan de Limay.
- Se recomienda respetar los estatutos y disposiciones contempladas en el reglamento nacional de la construcción editado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI).

BIBLIOGRAFÍA

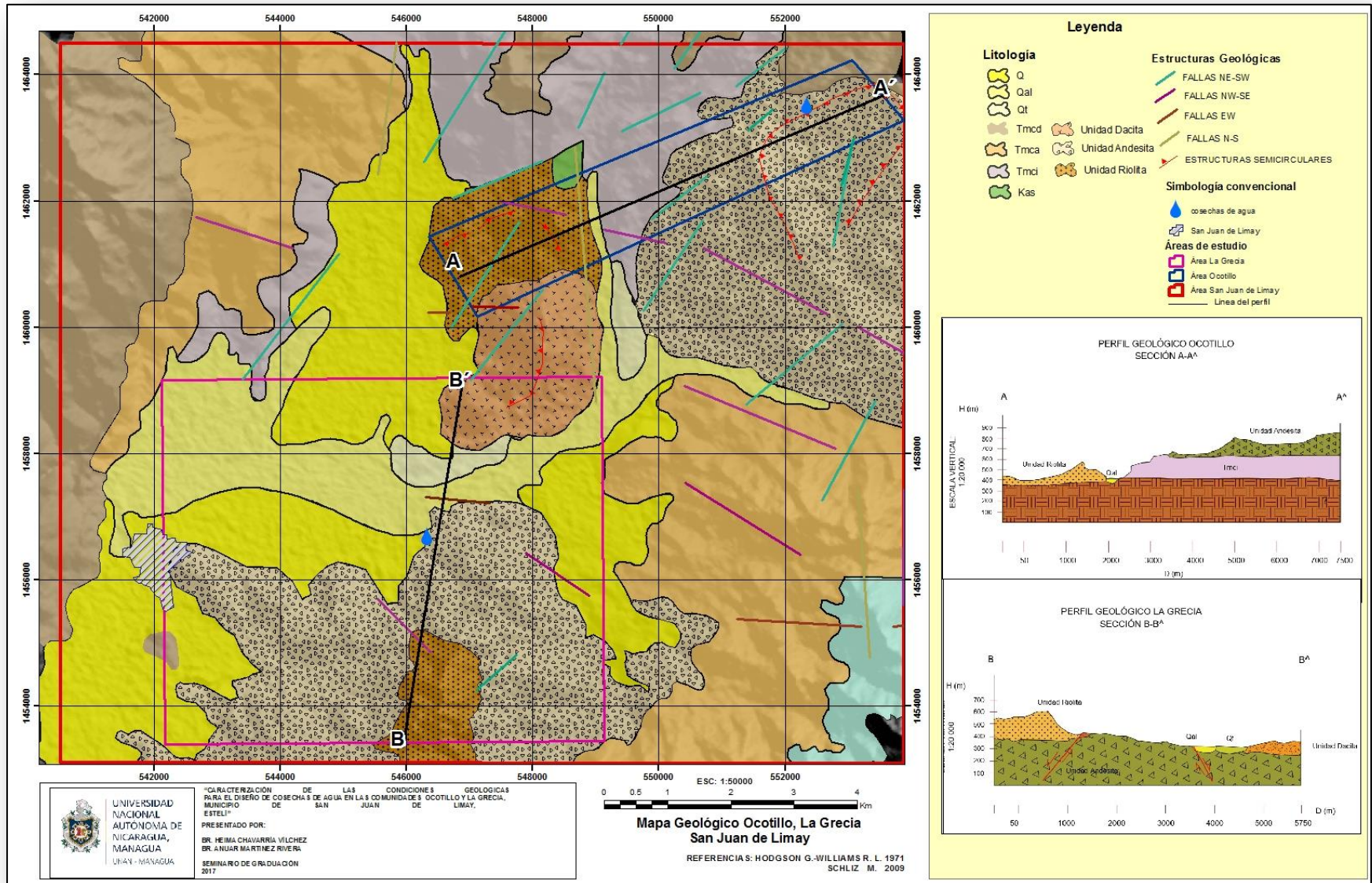
- Hodgson G. 1971, Geología y anotaciones mineralógicas de la planicie Noroeste y de la precordillera occidental. CATASTRO informe N°.13 (Incluye los mapas geológicos de Achuapa y San Juan de Limay).
- Hodgson G. (2000). Geología Regional- Introducción al Léxico Estratigráfico de Nicaragua.
- Hodgson, G. (2002). Geología Histórica e Historia Geológica Estructural, Tectónica simplificada de Nicaragua y América Central, 2da Edición.
- McBirney AR, Williams H (1965). Volcanic History of Nicaragua. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, pp 1–65.
- Schilz M (2009). Interpretación Geoestructural de las hojas topográficas de cinco pinos y san juan de Limay en el NW de Nicaragua.
- De Metts (2001), Horlow y White (1995) y Gusman-Speziale (2001). Marco geológico de América Central.
- Venable (1994). Geología del área tectónica independiente del bloque Chortis y Chorotega.
- MAG y INETER (2012). “Plan Municipal de Protección Ambiental ante el Cambio Climático de San Juan de Limay”
- MARENA (Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales). 2007. III Informe del Estado Ambiental en Nicaragua, NI. 253 p.
- INETER (Instituto nicaragüense de estudios territoriales). 2015. Mapa del departamento de Estelí (en línea), 2016. Disponible en: http://www.vmapas.com/America/Nicaragua/Esteli/Mapa_Politico_Esteli.jpg/mapses.html?map_viewMap=1.
- Hoja Topográfica serie 2855-I, correspondiente a municipio de San Juan de Limay.
- Mapa Geológico serie 2855-I, correspondiente al municipio de San Juan de Limay.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.


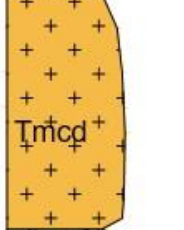


- Asociación Costarricense de Geotecnia (2015). Código Geotécnico de Taludes y laderas de Costa Rica.
- Ministerio de Fomento España (2009). Guía de cimentaciones en obras de carreteras.
- Ministerio de Transporte e Infraestructura, MTI (2007). Reglamento Nacional de la Construcción.
- Universidad Centroamericana, UCA (1996). Guía de Laboratorio Construcción I.
- Escobar P, et al (2016). Geotecnia para el Trópico Andino. N/A, Manizales, Colombia. (No publicado).
- Juarez Badillo (2005). Mecánica de suelo, tomo 1. Fundamentos de la mecánica de suelos.

Anexos

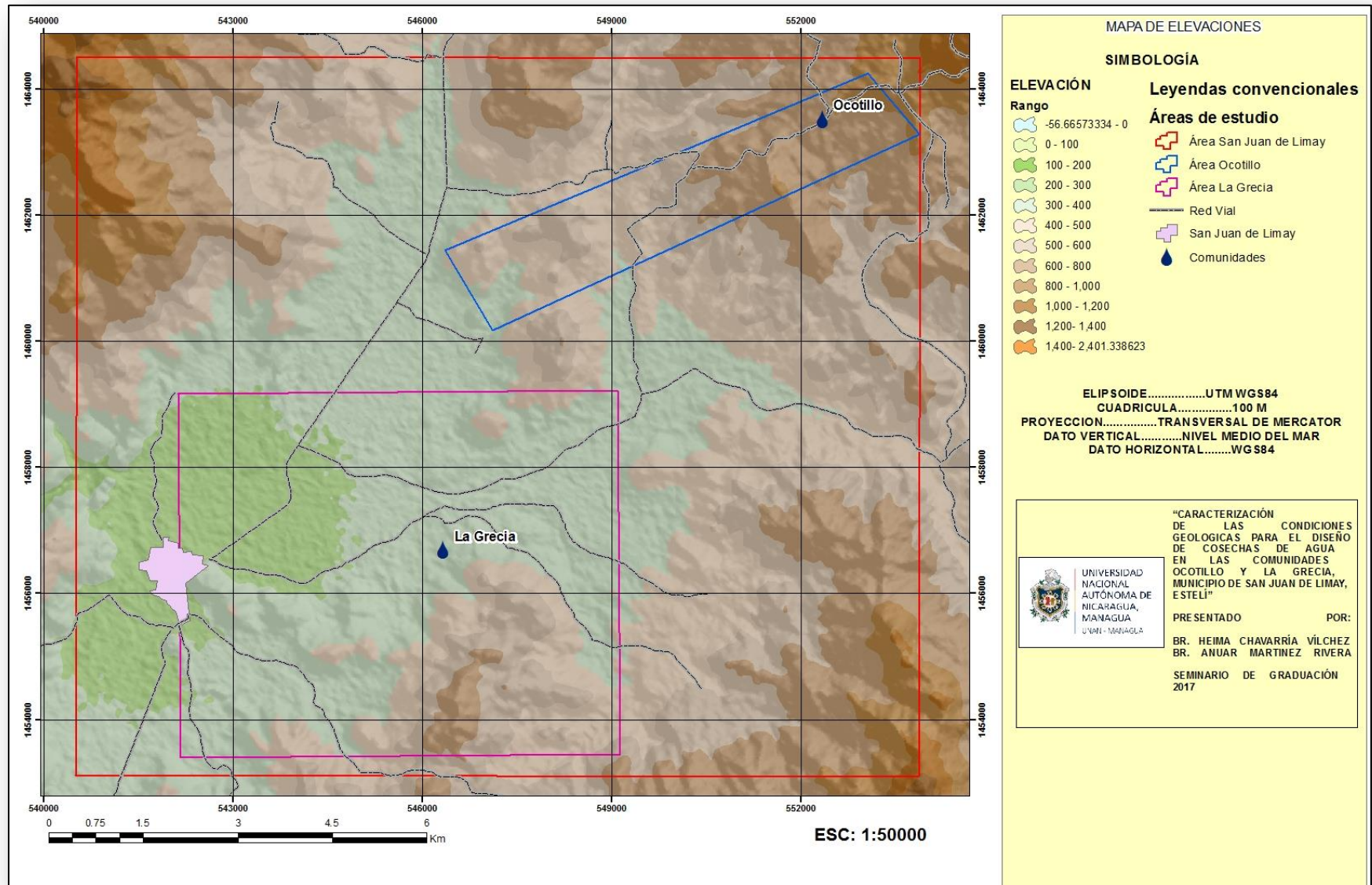
CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.



CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA GENERALIZADA						ESC: 1:33
ERA	PERÍODO	EPOCA	GRUPO	ESPEJOR	LITOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
CENOZOICO	CUATERNARIO	HOLOCENO		15m		ESTA UNIDAD ESTÁ FORMADA POR SUELOS DE ORIGEN RESIDUAL, SE CARACTERIZA POR PRESENTARSE EN LAS ZONAS MÁS BAJAS, AL N Y NE DE LA COMUNIDAD LA GRECIA.
	TERCIARIO	MIOCENO	COYOL INFERIOR	100 m		ESTA UNIDAD ES ORIGINADA PRODUCTO DE GRANDES VOLÚMENES DE DEPÓSITOS DE FLUJO PIROCLÁSTICOS DE NUBES ARDIENTES. SE ENCUENTRA DISTRIBUIDA EN LA PARTE N Y NW DEL ÁREA DE LA COMUNIDAD LA GRECIA Y SUS ALREDEDORES
				100 m		FLUJO ANDESÍTICOS AFANÍTICOS. LOS AFLORAMIENTOS ENCONTRADOS ANDESÍTICOS AL W Y SW DE LA COMUNIDAD LA GRECIA ABARCAN UN 45% DEL ÁREA, DE IGUAL MANERA ESTA UNIDAD SE ENCUENTRA AL N, E Y PARTE SE DEL ÁREA DE OCOTILLO.
				110 m		UNIDAD PRODUCTO DE GRANDES ERUPCIONES DE FLUJOS PIROCLÁSTICOS ARDIENTES. SE ENCUENTRA AL SE, ABARCANDO APROXIMADAMENTE UN 20% EN EL ÁREA DE OCOTILLO; . ASÍ MISMO COMPRENEN LA PARTE S DE LA REGIÓN DE LA GRECIA, SE DESCRIBEN DOS TIPOS PRINCIPALES LAS CUALES SE DIFERENCIAN POR SUS TEXTURAS, ESTA UNIDAD SE PRESENTA EN UN 30% EN BASE AL MAPEO DEL ÁREA DE ESTUDIO FORMANDO CERROS CON PENDIENTES SUAVES DE 10° A 35° Y DE GRAN EXTENSIÓN.

CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.



CARACTERIZACIÓN DE LAS CONDICIONES GEOLÓGICAS PARA EL DISEÑO DE COSECHA DE AGUA EN LAS COMUNIDADES OCOTILLO Y LA GRECIA, MUNICIPIO DE SAN JUAN DE LIMAY, ESTELI.

