



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN - MANAGUA

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA**

ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.30 EN EL KM 405, COMUNIDAD DE AGUAS CALIENTE, MUNICIPIO DE BONANZA, DEL DEPARTAMENTO DE LA REGION AUTONOMA DE LA COSTA CARIBE NORTE (RACCN).

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

Autores:

- Br. Alex Omar Arcia Torrez
- Br. Karina Maryeli López Reyes
- Br. Johnny Alfonso Cardoza García.

Tutor:

- Ing. Edmundo Aguirre Altamirano.

Asesor metodológico:

- MSc. José Ignacio Díaz López.

Managua, diciembre 2023.

Dedicatoria.

Primeramente, a Dios, por darme todas las oportunidades que se me han presentado, por siempre estar a mi lado en los diversos cambios que se presentan en mi vida, y por escuchar mis oraciones que día a día van siendo de su voluntad.

A mi madre Karla García y tía Joyce Moreno por darme el apoyo y amor incondicional que siempre me han brindado, ambas velando por mi salud y educación.

Johnny A. Cardoza.

A Dios, primeramente, por estar siempre a mi lado y ayudarme en cada paso que doy.

A mi madre y Abuela, quienes han sido mi pilar, cuidándome y sobre todo por alentarme a seguir adelante. A mis dos Hermanos, por ser el motivo para poder continuar.

A mis amigos con los que hemos pasado por muchas cosas para poder llegar a donde estamos ahora, también a mis amigas que me han dado el apoyo emocional para poder seguir a pesar de las dificultades. A todos ellos les dedico este trabajo con mucho amor.

Karina M. López.

A mis padres: Migdalia Torrez y Alex Humberto Arcia. Cándida Meza Blandón (Q.E.P.D), Ulises Moreno, Irma Ruiz, Karina López, Johnny Cardoza.

Alex O. Arcia.

Agradecimiento.

Primeramente, a Dios por permitirnos llegar a este punto de cierre a nivel académico y comienzo de muchos otros. A nuestros padres por siempre estar ahí, por su amor incondicional, sus consejos y sus aportes económicos para que esto sea posible el día de hoy.

A nuestro tutor: Ing. Edmundo Aguirre por su vasto conocimiento brindado en estos años de carrera, por sus consejos, su pasión y esmero con el que otorgaba sus conocimientos para que el día de hoy seamos personas con buen principio ingenieril

A nuestra madrina MSc.: Gema Velásquez, por el apoyo incondicional que nos brindó dentro y fuera de lo académico, agradecemos infinitamente sus regaños, sus consejos, por inculcarnos ese amor a nuestra carrera, a jamás rendirnos y siempre visionar con paso lento y pie firme.

A nuestro Asesor Metodológico: MSc.: José Ignacio López, por sus enseñanzas impartidas, por sus consejos, por su disposición y consultas fuera del horario laboral, por su hermosa amistad otorgada a través de estos cinco años.

A la docente: Ing. Karen Castellón, por habernos brindado su conocimiento dentro del laboratorio de construcción, sus correcciones y todo lo práctico necesario para la elaboración de este trabajo.

Carta Aval.

Resumen.

Bonanza es un municipio ubicado en la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte, afectada por varios fenómenos naturales como: Sismos, huracanes, inundaciones y deslizamientos que debido a factores que de una u otra manera afectan la geología y las condiciones de los suelos.

El desarrollo de esta investigación tuvo como objetivo principal el analizar la estabilidad de talud de la carretera NIC. 30 en el km 405, comunidad de aguas caliente, municipio de Bonanza, del departamento de la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN) modelando el talud en condición estática con el software Slide, utilizando los métodos de equilibrio de límite para determinar la inestabilidad de la zona de estudio con el cálculo del factor de seguridad.

La investigación se realizó en varias etapas, empezando por la etapa de gabinete, donde se recopiló toda la información posible y relevante del área de estudio. La etapa de campo, que consistió la localización del área de estudio, descripción litológica, obtención de muestras para determinar y clasificar las propiedades físico-mecánicas del suelo presente en laboratorio. Por último, la etapa de procesamiento, análisis de resultados y elaboración del informe final.

Los resultados de esta investigación servirán para que las autoridades locales realicen investigaciones más profundas y detalladas a causa de que la zona es inestable y un riesgo para las personas que viven cerca del área y vehículos que transitan diariamente, además de que la carretera NIC. 30 es la principal vía de acceso que conecta los municipios de Rosita y Bonanza, por lo que una amenaza de movimiento de masa podría afectar la economía de la población aledaña.

Índice General.

1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	3
3. Planteamiento del Problema.....	7
4. Justificación.....	8
5. Objetivos.....	9
5.1. Objetivo General:	9
5.2. Objetivos Específicos:	9
6. Localización del Área de Estudio.....	10
6.1. Descripción del área de estudio.....	10
6.2. Ubicación del área de estudio.....	11
7. Marco Teórico.....	13
7.1. Mecanismos básicos de Inestabilidad de Ladera.....	13
7.2. Nomenclatura de un talud o ladera.....	14
7.3. Nomenclatura de los procesos de movimientos:.....	16
7.4. Nomenclatura de un deslizamiento:	17
Dimensiones:	18
Etapas en el proceso de falla:.....	20
Tipología y Formas de Manifestación:	21
7.5. Clasificación de la inestabilidad de Laderas.....	24
7.6. Equilibrio Límite y factor de seguridad.....	25
Método de ordinario de Fellenius (1927):	26
Método Bishop Simplificado (1955):	27
7.7. Marco Geológico.....	28
Tectónica de América Central:.....	28

Tectónica de Nicaragua.....	30
Geología Regional:.....	32
8. Hipótesis de Investigación.....	37
9. Diseño Metodológico.....	38
9.1. Tipo de Estudio.....	38
9.2. Área de Estudio.....	38
9.3. Universo y muestra.....	39
9.4. Matriz de Operacionalización.....	40
9.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	42
9.6. Plan de análisis y procesamiento de datos e información.....	44
Análisis Geológico.....	44
Análisis de las propiedades Físico- mecánicas.....	44
Análisis de Laboratorio:.....	44
10. Análisis y Resultados.....	46
10.1. Planimetría y Altimetría.....	46
10.2. Análisis Geológico.....	49
10.3. Factores condicionantes y desencadenantes.....	54
Factor Condicionante:.....	54
Factores desencadenantes:.....	54
10.4. Análisis Geotécnico.....	55
Análisis granulométricos:.....	55
Análisis Límite Líquido y Límite plástico:.....	56
Gravedad Específica AASHTO T100:.....	57
Análisis de Porcentaje de humedad:.....	58
10.5. Análisis de datos para el software SLIDE.....	60

11.	Recomendaciones para la estabilización del talud.....	67
12.	Discusión de resultados	71
13.	Conclusiones.....	72
14.	Recomendaciones.....	73
15.	Referencias	74
16.	Anexos.	79

Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1.	Nomenclatura gráfica de un talud -----	15
Ilustración 2.	Nomenclatura de un deslizamiento-----	17
Ilustración 3.	Dimensiones de los movimientos -----	20
Ilustración 4.	Tectónica regional de América Central -----	28
Ilustración 5.	Ambiente Tectónico de Nicaragua-----	31
Ilustración 6.	Mapa geológico regional de Nicaragua-----	33
Ilustración 7.	Equipo utilizado en campo -----	43
Ilustración 8.	Fotografía panorámica del talud-----	49
Ilustración 9.	Lava andesítica con patinas de color negro-----	51
Ilustración 10.	Deposito coluvial, presentes en el área -----	52
Ilustración 11.	Columna estratigráfica del talud -----	53
Ilustración 12.	Muestra ensayo de humedad natural -----	59

Índice de Figuras

Figura 1.	Mapa de Localización.....	12
Figura 2.	Mapa Geológico	50
Figura 3.	Modelo del talud en Slide	62
Figura 4.	Análisis del modelamiento de Fellenius.....	63
Figura 5.	Análisis de modelamiento de Bishop simplificado	64
Figura 6.	Análisis de modelamiento de Janbú Simplificado.....	65
Figura 7.	Análisis de modelamiento, método de Spencer	66

Figura 8. Modificación de modelo del talud	68
Figura 9. Análisis de modelamiento, Método de Fellenius	69
Figura 10. Análisis de modelamiento, Método de Bishop Simplificado.....	70

Índice de perfiles

Perfil 1. Plano bidimensional del talud.....	47
Perfil 2. Proyección dimensional del talud.....	48

Índice de tablas

Tabla 1. Detalle del área de estudio	11
Tabla 2. Descripción de la nomenclatura de un talud	15
Tabla 3. Factores que influyen en la inestabilidad de una ladera	22
Tabla 4. Clasificación de la inestabilidad de ladera o talud.....	24
Tabla 5. Matriz operacional, variable y subvariables	40
Tabla 6. Ensayos de mecánica de suelos (SUCS)	45
Tabla 7. Descripción de resultados según su muestra	59
Tabla 8. Propiedades utilizadas en el programa	60
Tabla 9. Factor de seguridad por cada método utilizado	61

Índice de Anexos

Anexo 1. Tabla de precipitaciones anuales del municipio de Bonanza	79
Anexo 2 Documentación fotográfica.....	81
Anexo 3. Memoria de cálculos AG y LA, muestra 1	83
Anexo 4. Memoria de cálculos AG y LA, muestra 2	84
Anexo 5. Gravedad específica, M1	85
Anexo 6. Gravedad específica, M2.....	86
Anexo 7. Porcentaje de Humedad.....	87

“No tengas miedo al miedo. Porque te agudiza, te desafía, te hace más fuerte; y cuando huyes del miedo, también huyes de la oportunidad de ser tu mejor yo posible”.

-Ed Helms.

1. Introducción.

A través de los años se ha incrementado el estudio de los movimientos en masa, en especial de deslizamientos rotacionales, estos producidos por la combinación de una serie de factores naturales tales como la topografía, sismicidad, meteorización, lluvias intensas entre otros y de factores antrópicos como la carencia de sistema de drenajes, sobrecarga de viviendas, deforestación, sobrecarga de animales de ganadería, mala disposición de residuos sólidos y escombros (Suarez J. , 1998).

Este tipo de movimientos son los más presenciados en zonas tropicales y su análisis se basa en la recopilación de parámetros geométricos, geotécnicos, geológicos, geomorfológicos e hidrológicos para simular las condiciones de taludes o laderas en un modelo representativo deducido de perfiles topográficos y estratigráficos.

La importancia del estudio de los procesos de ladera está determinada por el impacto que estos pueden tener en la población ya que la inestabilidad de laderas puede ser producida por la actividad humana al alterar y modificar el equilibrio que existe en la naturaleza, debido a cortes y excavaciones para la construcción de caminos. Sin embargo, un gran porcentaje de las pérdidas por deslizamientos son evitables si el problema se identifica con anterioridad y se implementan medidas de prevención o control (Suárez, 1998).

Dentro del análisis y la modelación se tiene en cuenta un factor de seguridad, el cual determina el grado de estabilidad del talud o ladera mediante la relación entre los momentos y las fuerzas que tratan de desestabilizar o deslizar la masa de suelo y las fuerzas que tratan de estabilizar o garantizar la resistencia al corte en cada uno de los estratos que componen el suelo (Suarez J. , 1998) (Morales & Valiente, 2017).

El presente trabajo investigativo estudió el comportamiento y condiciones presentes en el talud ubicado en la entrada a la comunidad de aguas calientes debido al fenómeno de inestabilidad. Como objetivo general de esta investigación fue analizar

la estabilidad del talud mediante parámetros geológicos y geotécnicos, como la realización de planimetría y altimetría, descripción litológica, clasificación de suelos, factores condicionantes y desencadenantes del área de estudio y finalmente un modelo de talud en las condiciones que se presenta con el software Slide aplicando los métodos de equilibrio de límite para obtener el factor de seguridad y brindar recomendaciones técnicas para mitigar la amenaza de inestabilidad con los resultados obtenidos.

2. Antecedentes.

La investigación realizada por HEMCO Mineros de Nicaragua, 2021; presenta como objetivo establecer la presencia de fallas geológicas activas y sus ramales que puedan atravesar el terreno y evaluar la amenaza por fallas geológicas.

En la Base del Cerro Capitán, ciudad de Bonanza. Dicha investigación se realizó mediante la planeación del Trabajo de gabinete, donde se consultaron diferentes bibliografías, un breve reconocimiento geológico, planificación y excavación de trinchera, para posteriormente llevar a cabo el trabajo de campo. Se concluyó que es un área de alto riesgo sísmico, susceptible a movimiento de remoción en masa o fallamiento de ladera, zona que puede dar lugar a desprendimientos violentos por lluvias torrenciales y/o vibraciones sísmicas. La relación de dicha investigación con el presente trabajo es que permite conocer los riesgos que se presentan cerca de la zona de estudio, también se habla de que el área ha sido afectada por voladuras, explosiones de dinamitas por actividad minera, desencadenando movimientos en masa en diferentes áreas del municipio de Bonanza.

Según Muñoz, 2021: presentó un estudio realizado en la Comunidad de Kukalaya, municipio de Bonanza, con el objetivo de Identificar y evaluar la condición geológica del terreno que pueda impactar la infraestructura a construir. Todo esto se llevó a cabo mediante la investigación pertinente del área de estudio en cuanto a la geología del sitio y la aplicación de la guía Metodológica para estudios de Zonificación por fallamiento superficial para el proyecto indicado. Se concluyó que el Terreno se zonifica en Zona I Regular, el sitio de estudio se encuentra bajo la influencia del paso de huracanes con un grado de amenaza ALTO, lo cual es un factor desencadenante para amenazas por inestabilidad de laderas. Esta investigación proporciona las pautas necesarias que indican que los terrenos con pendiente bajan presentan menos probabilidades de amenaza por deslizamientos, pero con un riesgo mayor de saturación de suelos por fenómenos.

En el caso de (TORRECOM PARTNERS , 2017), presentó un estudio sobre la Zonificación geológica por fallamiento superficial en el barrio "Los Cocos", municipio de Bonanza. con el objetivo de zonificar el terreno donde se proyecta la construcción de la infraestructura, en base a la evaluación del peligro geológico por fallamiento superficial. Se llevó a cabo mediante un trabajo pertinente de gabinete que incluye revisión de estudios geológicos de carácter regional, se realizó una calicata con fines de exploración para interceptar y comprobar la existencia o no, de fracturas y fallas, así como litología y estratigrafía del sitio en particular. Se concluyó que es una zona que no presenta fallamiento activo, con suelos de origen residual, estratos rocosos y compactos, se considera una zona buena. La relación existente de esta investigación y el presente tema es que radico en identificar y evaluar las condiciones geológicas del suelo para conocer los diferentes impactos que pueden verse influenciados en dicha área de estudio.

En el caso de Pérez, (2017), donde presentó un estudio de fallamiento superficial en el proyecto "Gasolinera-Bonanza RACCN". Esta investigación está referida a evaluar y determinar el grado de afectación que las amenazas naturales sobre el sitio de estudio. Es una investigación descriptiva y analítica en donde se realizó una búsqueda previa sobre diferentes estudios que complementan dicha investigación, posterior a eso se buscó obtener resultados mediante la utilización de equipos y luego a analizar datos de forma eficiente. Se concluyó que es una Zona Buena, en el sitio se encuentra sin ninguna afectación de eventos tales como: Deslizamientos, Flujos de Detrito y Lahares, por encontrarse con pendientes entre 2% y 4%. Las cotas 190 y 200 msnm. Se relaciona con la investigación ya que utiliza métodos eficientes para la evaluación de Amenazas Naturales y Geológicas que se ven expuestas en las cercanías del área de estudio de la presente investigación.

Según (Alvarado, 2016), realizó una investigación referida a la zonificación del sitio en el municipio de Bonanza en base a la información geológica mediante la realización de Calicatas de exploración. La investigación se hizo mediante métodos de correlación estratigráfica, datos de zonificación de estudios anteriores, se evaluó la geología en base a una calicata de exploración de 2 m de longitud y 12 m de profundidad; así mismo se realizaron dos sondeos exploratorios de tipo SPT, para evaluar la capacidad de soporte del suelo, SPT No, ambos alcanzaron el basamento rocoso.

Se concluyó que es una Zona I Buena, el sitio no posee elementos que indiquen deslizamientos; sin embargo, en la comunidad del Vesubio localizada a unos 12 Km al Suroeste de bonanza lejos del sitio de estudio, se han registrado deslizamiento de tierra ocasionando algunas personas muertas y daños a casas. Este estudio beneficia a dicha investigación para llegar a identificar la geología de los sitios que se encuentran alrededor y para reconocer que para cada tipo de relieve la susceptibilidad ante deslizamientos se comporta de manera diferente.

(TORRECIM, 2016): realizó una investigación referida a estudios de Cimentación de suelos en el municipio de Bonanza, donde se proyectan los parámetros geotécnicos, que permiten conocer el Valor de la Carga Admisible del suelo para tres alternativas de cimentación, los coeficientes de carga fueron aplicados a cada uno de los estratos identificados en el Municipio de Bonanza. Este estudio se realizó mediante la ejecución de dos (2) sondeos de perforación a percusión, distribuidos en el área de acuerdo a la información del levantamiento topográfico.

Los resultados de dicho estudio permitieron reconocer que el área estudiada se encuentra en una zona de relieve irregular, con suelos limo arcillosos y limos arenosos, con un nivel freático poco profundo, y con datos de humedad y consistencia del suelo, en los cuales ambos parámetros incrementan de acuerdo a la profundidad. Esta investigación proporciona datos de interés sobre el terreno, los tipos de suelos, niveles de humedad y que tan compacto se encuentra el suelo en

dicha área para poder conocer los agentes desencadenantes que se ven influenciados en inestabilidades de Ladera.

3. Planteamiento del Problema.

Nicaragua es el país más extenso de Centroamérica, con una superficie de 130.374 Km². Sin embargo, el escaso relieve de extensas áreas limita la existencia de problemas de estabilidad de laderas a poco más de la mitad de su superficie total, donde existen laderas con pendientes significativas. (Marquínez, Menéndez, y Ferrer, 2000).

Los movimientos de talud representan uno de los procesos geológicos de alta recurrencia, principalmente, en la estación lluviosa con precipitación máxima en los meses de junio a septiembre, que corresponde al 40% de los totales anuales en la región autónoma de la costa caribe. Estos eventos constituyen una amenaza en las vidas humanas.

La ocurrencia de terrenos inestables en la zona de estudio obedece, exclusivamente, a factores condicionantes como la geología, el grado de pendiente, aspectos determinantes de la edad, naturaleza y calidad de las rocas y suelos que presentan alta sedimentación y meteorización de este.

Por tanto, se formula el problema de la siguiente manera: ¿El talud en la comunidad de Aguas Caliente Carretera a Bonanza está ocasionando riesgo en la población?

4. Justificación.

En respuesta a la problemática plateada, es necesario realizar el presente trabajo investigativo para dar a conocer la existente amenaza de inestabilidad del talud ubicado en el km 405 Comunidad de Aguas Caliente Municipio de Bonanza Departamento de La Región Autónoma de Costa Caribe Norte (RACCN), esta investigación aportara información para bibliografía geomecánica al análisis de taludes en el país.

Mencionando que la NIC 30 es la carretera principal de dicho municipio, destacado por sus principales actividades económicas como la agricultura y el trabajo Minero, esta última actividad es la principal fuente para los pobladores. Por lo que, la realización de este estudio aportaría información desde el punto de vista geológico y determinar la zona más susceptible, y por lo tanto ayudará a crear un plan de mitigación ante eventos de peligros posteriores; así mismo, dicha información recolectada sirva como antecedente para estudios próximos en la zona.

5. Objetivos.

5.1. Objetivo General:

- Analizar la estabilidad de talud de la carretera NIC-30 en el Km 405, comunidad de Aguas Caliente, municipio de Bonanza de la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte (RACCN).

5.2. Objetivos Específicos:

- Realizar altimetría y planimetría del área de estudio, para conocer sus dimensiones.
- Identificar las unidades litoestratigráfica presentes en el área de estudio.
- Definir los factores condicionantes y desencadenantes ante movimiento en masa del área de estudio.
- Determinar las propiedades físico-mecánicas a través de ensayos de laboratorio.
- Efectuar el análisis de inestabilidad del talud mediante los métodos de equilibrio, Fellenius y Bishop, los cuales determinaran la susceptibilidad presente ante deslizamiento.
- Realizar recomendaciones técnicas con base a los resultados de este estudio para suministrar una posible solución a la problemática.

6. Localización del Área de Estudio.

6.1. Descripción del área de estudio.

La Región autónoma de la costa Caribe norte es uno de los 17 departamentos del territorio nicaragüense, actualmente cuenta con ocho municipios: Bonanza, Mulukukú, Prinzapolka, Bilwi, Siuna, Rosita, Waslala y Waspán.

El municipio de Bonanza se encuentra a 410 Km de la ciudad de Managua; entre las coordenadas geográficas: 14° 01' 43.9" Norte y 84° 35' 27.7" Oeste. Limita al norte con Waspán, al sur con Siuna, al este con Rosita y al oeste con los municipios de El Cuá y San José de Bocay. La actividad económica fundamental es la agricultura y la minería tanto artesanal como industrial. (INIDE, 2008).

Posee una extensión territorial de 2,039Km² y una altitud de 204 msnm.

6.2. Ubicación del área de estudio.

El área de estudio se localiza dentro de la comunidad de aguas calientes a cinco kilómetros del municipio de Bonanza y 405 Km de la capital. Este se delimita dentro de las coordenadas UTM WSG 84 Zona 16N (ver Tabla 1):

Tabla 1.

Detalle del área de estudio.

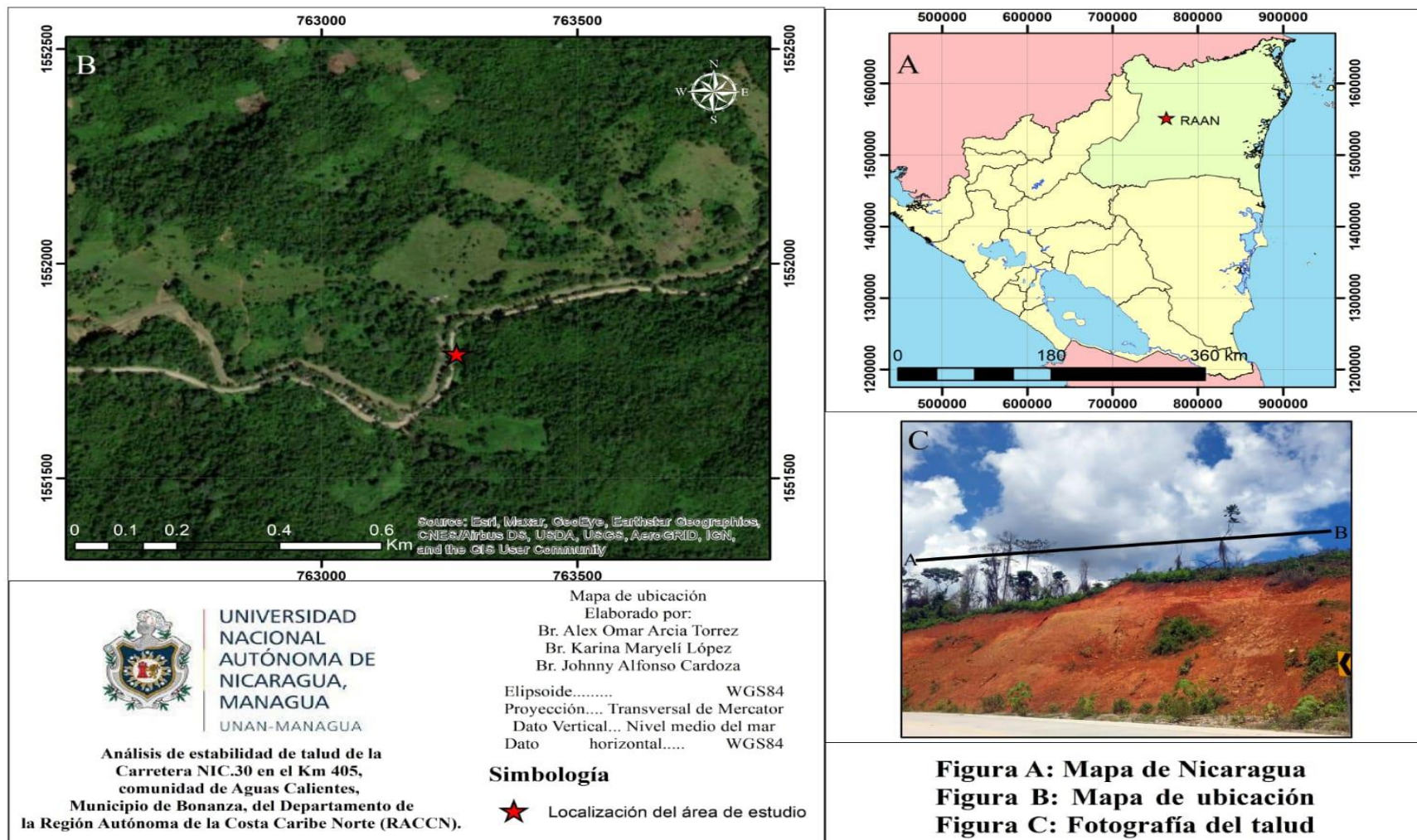
Puntos	Coordenada Norte	Coordenada Este
A	1551817	763270
B	1551706	763249

Limita al norte con el río Bambana, al sur con la comunidad Murciélagos, al este con el municipio de Bonanza, al oeste con la comunidad Miranda.

El municipio posee dos vías de accesos:

- Vía aérea mediante aerolínea la Costeña
- Vía terrestre: NIC-1 en dirección Managua empalme de San Benito; siguiendo en dirección al empalme de Boaco sobre la NIC-7, continuando hasta la NIC-9 en dirección al municipio de Muy Muy, posteriormente se avanza sobre la NIC-21B hasta el municipio de Río Blanco, consecutivamente se procede a tomar la NIC 30 para llegar a nuestro lugar de destino (Figura 1).

Figura 1.
Mapa de Localización.



7. Marco Teórico.

7.1. Mecanismos básicos de Inestabilidad de Ladera.

La inestabilidad de laderas se define como el movimiento de masas, roca, detritos o tierra a favor de la pendiente, bajo la influencia directa de la gravedad. (Cruden, 1991).

Existen diferentes términos con los cuales se hace referencia a la inestabilidad de laderas. Dichas expresiones se utilizan en las distintas disciplinas involucradas en su estudio. De modo que, conceptos tales como procesos de remoción en masa, movimientos de laderas, procesos gravitacionales, son empleados ampliamente para indicar que una ladera no es estable.

La inestabilidad de laderas está determinada, tanto en su origen como en su desarrollo por diferentes mecanismos. Estos mecanismos sirven a su vez para clasificar los tipos de procesos de laderas existentes. De modo que se agrupan en cuatro principales categorías. Los mecanismos básicos de inestabilidad son: **Caídos o derrumbes, flujos, deslizamientos** y las **expansiones o desplazamientos laterales**. Cuando el mecanismo inicial de un movimiento se transforma en otros, se dice que es un **movimiento complejo**. (Noriega, y otros, 2001).

Caídos o derrumbes: Son desprendimientos violentos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes empinadas y acantilados, por lo que el movimiento es prácticamente de caída libre, rodando y rebotando. (Alcántara & Echevarría, 2001).

Deslizamientos: Son movimientos de materiales térreos (rocas, suelos y su combinación) pendiente abajo, delimitados por una o varias superficies de falla o ruptura. Estas superficies de fallas pueden ser curvas o planas, y son sobre ellas que deslizan los materiales colapsados de una ladera.

Flujos: Determinado como movimientos de suelo y fragmentos de rocas pendiente debajo de una ladera, en donde sus partículas se mueven entre si dentro del volumen que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Los flujos pueden ser lentos o incluso muy rápidos; la velocidad es concluyente por la cantidad de agua existente en el volumen de materiales.

Expansiones o desplazamiento laterales: Los movimientos de masas térreas que ocurren en pendientes muy suaves, que dan como resultado desplazamientos casi horizontales. Con frecuencia son causados por licuación, fenómeno en el que los materiales sueltos y saturados, predominantemente arenosos y limosos, adquieren el comportamiento de un fluido como consecuencia de las vibraciones causadas por un sismo.

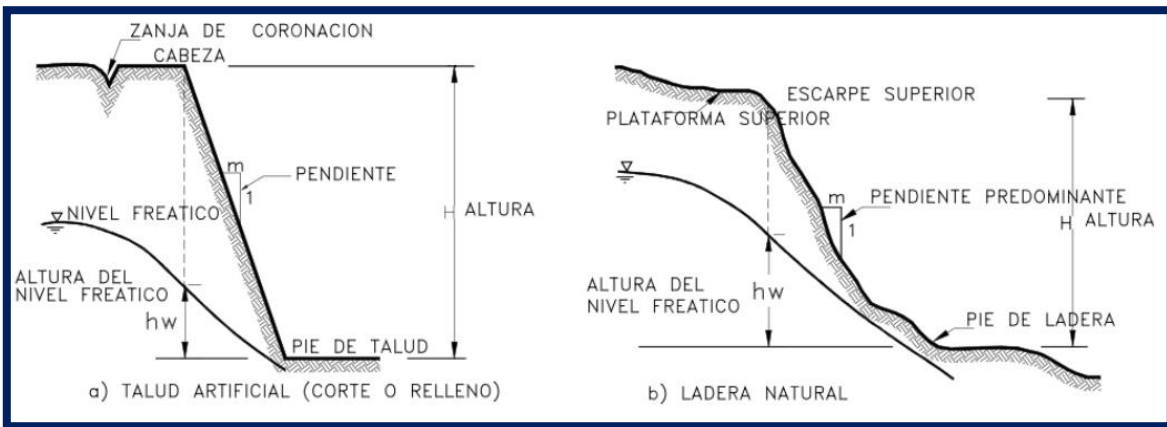
Movimientos Complejos: Son el resultado de la transformación del movimiento inicial en otro tipo de movimiento al ir desplazándose ladera abajo. Las avalanchas de rocas y flujos deslizantes son los más comunes y generar cuantiosas pérdidas.

7.2. Nomenclatura de un talud o ladera.

Un talud o ladera es una masa de tierra que no es plana, si no que posee una pendiente o cambios de alturas significativos. (Suarez J. , 1998; Gómez , 2018).

Las laderas que han permanecido estables por muchos años pueden fallar en forma imprevista debido a cambios topográficos, sismicidad, flujos de agua subterránea, cambios en la resistencia del suelo, meteorización o factores de tipo antrópico o natural que modifiquen su estado natural de estabilidad. Los taludes se pueden agrupar en tres categorías generales: Los terraplenes, los cortes de laderas naturales y los muros de contención. Además, se pueden presentar combinaciones de los diversos tipos de taludes y laderas. (Gómez , 2018). (Ilustración: 1 y Tabla: 2)

Ilustración 1.
Nomenclatura gráfica de un talud.



Nota: Características de los distintos Talud, **Fuente:** (Alcántara & Echevarría, 2001).

En el talud o ladera se concretan los siguientes elementos constitutivos:

Tabla 2.

Descripción de la nomenclatura de un talud.

Altura:	Es la distancia vertical entre el pie y la cabeza, la cual se presenta claramente definida en taludes artificiales, pero es complicada de cuantificar en las laderas debido a que el pie y la cabeza no son accidentes topográficos bien marcados.
Pie:	Corresponde al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte inferior.
Cabeza o Escarpe:	Se refiere al sitio de cambio brusco de pendiente en la parte superior.
Altura o Nivel Freático:	Distancia vertical desde el pie del talud o ladera hasta el nivel de agua medida debajo de la cabeza.

Pendiente:	<p>Es la medida de la inclinación del talud o ladera. Puede medirse en grados, en porcentaje o en relación m/1, en la cual m es la distancia horizontal que corresponde a una unidad de distancia vertical.</p> <p>Existen, además, otros factores topográficos que se requiere definir como son longitud, convexidad (vertical), curvatura (horizontal) y área de cuenca de drenaje, los cuales pueden tener influencia sobre el comportamiento geotécnico del talud.</p>
-------------------	--

Nota: Definición de las partes presentes en un talud. **Fuente:** (Cuanalo, Oliva, & Gallardo, 2011).

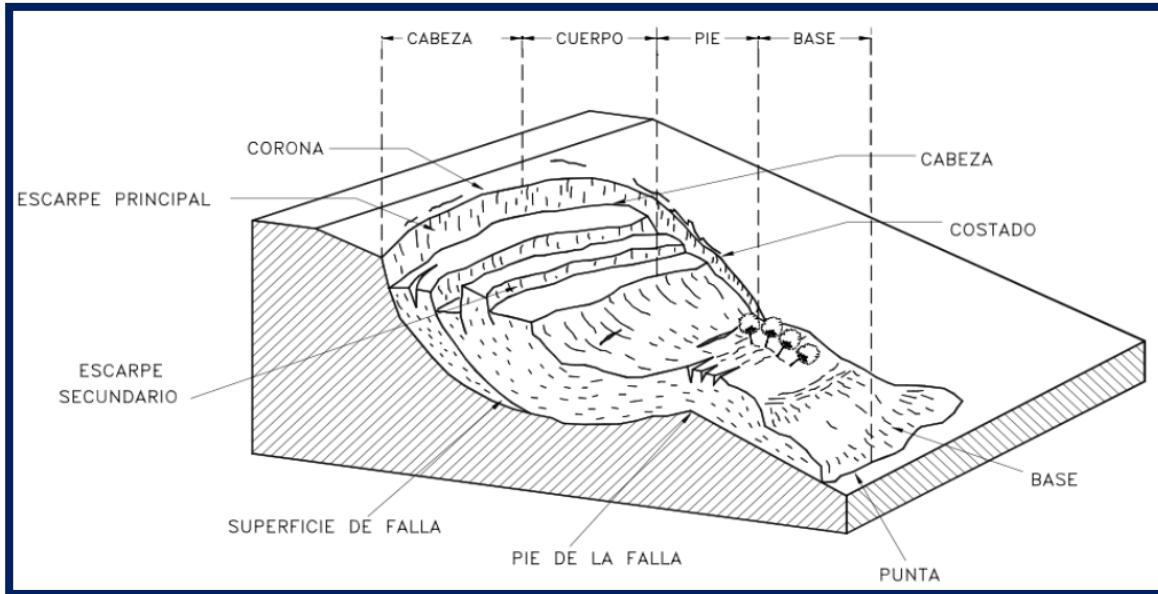
7.3. Nomenclatura de los procesos de movimientos:

Los procesos geotécnicos activos de los taludes y laderas corresponden generalmente, a movimientos hacia abajo y hacia afuera de los materiales que conforman un talud de roca, suelo natural o relleno, o una combinación de ellos. Los movimientos ocurren generalmente, a lo largo de superficies de falla, por caída libre, movimientos de masa, erosión o flujos. Algunos segmentos del talud o ladera pueden moverse hacia arriba, mientras otros se mueven hacia abajo.

7.4. Nomenclatura de un deslizamiento:

Ilustración 2.

Nomenclatura de un deslizamiento.



Nota: Partes de un deslizamiento, presente en un talud o ladera. **Fuente:** (Gómez , 2018).

En la figura anterior (Ilustración 2), se muestra un deslizamiento o movimiento en masa típico, con sus diversas partes cuya nomenclatura es la siguiente:

1. **Escarpe principal:** Corresponde a una superficie muy inclinada a lo largo de la periferia del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material fuera del terreno original. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material forma la superficie de falla.
2. **Escarpe secundario:** Una superficie muy inclinada producida por desplazamientos diferenciales dentro de la masa que se mueve.
3. **Cabeza:** Las partes superiores del material que se mueve a lo largo del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
4. **Cima:** Punto más alto del contacto entre el material perturbado y el escarpe principal.
5. **Corona:** El material que se encuentra en el sitio, prácticamente inalterado y adyacente a la parte más alta del escarpe principal.

6. **Superficie de falla:** Corresponde al área debajo del movimiento que delimita el volumen de material desplazado. El volumen de suelo debajo de la superficie de falla no se mueve.
7. **Pie de la superficie de falla:** Se define como la línea de interceptación (algunas veces tapada) entre la parte inferior de la superficie de rotura y la superficie original del terreno.
8. **Base:** Área cubierta por el material perturbado abajo del pie de la superficie de falla.
9. **Punta o uña:** El punto de la base que se encuentra a más distancia de la cima.
10. **Costado o flanco:** Un lado (perfil lateral) del movimiento.
11. **Superficie original del terreno:** La superficie que existía antes de que se presentara el movimiento.
12. **Derecha e izquierda:** Para describir un deslizamiento se prefiere usar la orientación geográfica, pero si se emplean las palabras derecha e izquierda debe referirse al deslizamiento observado desde la corona mirando hacia el pie.

Dimensiones:

Para definir las dimensiones de un movimiento se utiliza la terminología recomendada por el IAEG (International Association for Engineering), (Ilustración:3)

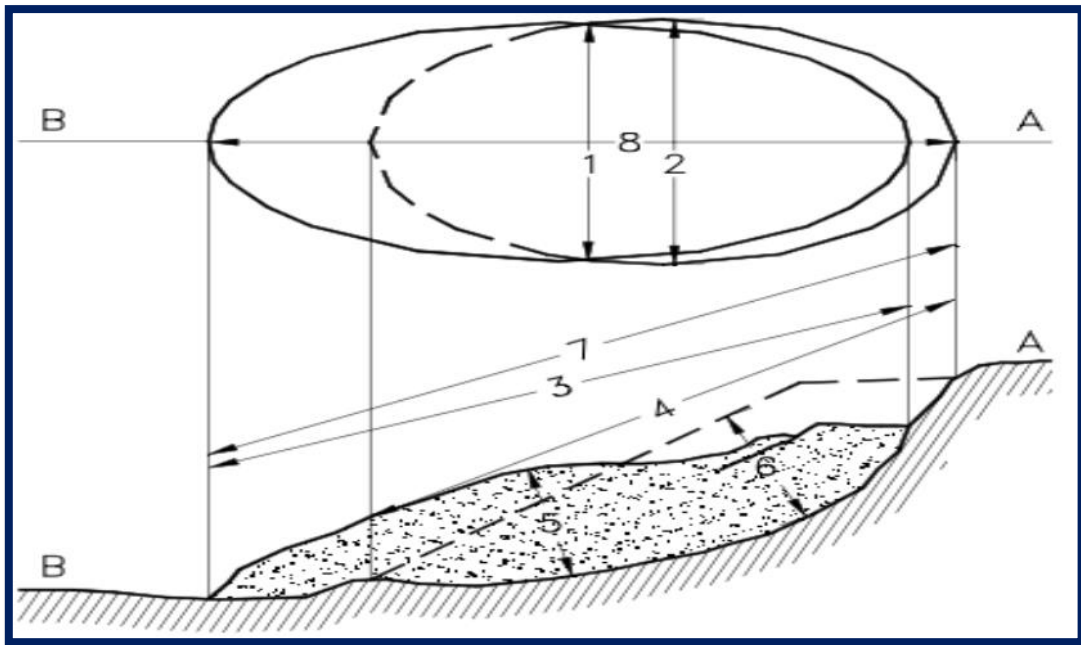
1. **Ancho de la masa desplazada W_d :** Ancho máximo de la masa desplazada perpendicularmente a la longitud, L
2. **Ancho de la superficie de falla W_r .** Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud L_r .
3. **Longitud de la masa deslizada L :** Distancia mínima entre la punta y la cabeza.
4. **Longitud de la superficie de falla L_r :** Distancia mínima desde el pie de la superficie de falla y la corona.
5. **Profundidad de la masa desplazada D_d :** Máxima profundidad de la masa movida perpendicular al plano conformado por W_d y L_d .

6. **Profundidad de la superficie de falla D_r :** Máxima profundidad de la superficie de falla con respecto a la superficie original del terreno, medida perpendicularmente al plano conformado por W .
7. **Longitud total L :** Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.
8. **Longitud de la línea central L_{cl} :** Distancia desde la punta o uña hasta la corona del deslizamiento a lo largo de puntos sobre la superficie original equidistantes de los bordes laterales o flancos. El volumen de material medido antes del deslizamiento generalmente aumenta con el movimiento debido a que el material se dilata. El término “Factor de expansión” puede ser utilizado para describir este aumento en volumen, como un porcentaje del volumen antes del movimiento. En algunas ocasiones como en el caso de roca el factor de expansión puede ser hasta de un 70%.

Dimensiones de los movimientos en masa de acuerdo a IAEG, Commission on Landslides (1990).

Ilustración 3.

Dimensiones de los movimientos, grafico propuesto por la IAEG



Nota: Dimensiones de los movimientos en masa, definido por la Commission on Landslides 1990.

Etapas en el proceso de falla:

La clasificación de deslizamientos pretende describir e identificar los cuerpos que están en movimiento relativo. Las clasificaciones existentes son esencialmente geomorfológicas y solamente algunas de ellas introducen consideraciones mecánicas o propiamente geológicas. Las caracterizaciones geotécnicas son necesarias y por esta razón, las clasificaciones eminentemente topográficas y morfológicas, como las propuestas por (Varnes & Cruden, 1993), Hutchinson (1988), etc., deben adaptarse a las condiciones verdaderas de los movimientos. En este orden de ideas se deben considerar cuatro etapas diferentes en la clasificación de los movimientos:

- a) Etapa de deterioro o antes de la falla donde el suelo es esencialmente intacto.
- b) Etapa de falla caracterizada por la formación de una superficie de falla o el movimiento de una masa importante de material.
- c) La etapa post-falla que incluye los movimientos de la masa involucrada en un deslizamiento desde el momento de la falla y hasta el preciso instante en el cual se detiene totalmente.
- d) La etapa de posible reactivación en la cual pueden ocurrir movimientos que pueden considerarse como una nueva falla, e incluye las tres etapas anteriores.

Tipología y Formas de Manifestación:

El material desplazado puede movilizarse de forma lenta (milímetros por año), rápida y extremadamente rápida (metros/día) según la topografía, el volumen de la masa de suelo o roca, el mecanismo de rotura y la acción del agua, entre otros factores. Pueden activarse o acelerarse a causa de terremotos, erupciones volcánicas, precipitaciones, aumento de nivel de aguas subterráneas, por erosión, socavamiento de los ríos y por actividad humana (Cruz, y otros, 2005). Los factores que contribuyen a crear una situación de inestabilidad en una ladera son múltiples; rara vez actúa uno solo, estos se dividen en factores condicionantes y factores desencadenantes, tal y como se observa en la tabla 3. (Varnes & Cruden, 1993)

Tabla 3.

Factores que influyen en la inestabilidad de una ladera.

Agentes	Descripción	Características
Condicionantes (Dependen de las características de la ladera).	Morfología y Topografía	Influencia del relieve en la estabilidad, mayor pendiente y altura aumenta el efecto gravitacional.
	Geología (Características del Suelo)	Tipo de roca, grado de alteración y meteorización, presencia de discontinuidades (grietas, fallas, fracturas), planos estratigráficos, porosidad, permeabilidad, propiedades físico-mecánicas (resistencia y deformación), estado de esfuerzo.
	Condiciones Hidrogeológicas	El agua en el interior del terreno disminuye la resistencia cortante al aumentar la presión intersticial, además incrementa el peso volumétrico del terreno con el consiguiente aumento en los esfuerzos actuantes.
	Vegetación	Las raíces fijan los suelos superficiales a los estratos de roca más resistentes ubicados a mayor profundidad, absorbiendo el agua contenida en el suelo atenuando la erosión superficial y mitigando el impacto de las gotas de lluvia, reduciendo la velocidad de escurrimiento.
Desencadenantes (Factores externos responsables)	Lluvias	Su impacto depende de la intensidad, duración y distribución de la lluvia; provocando disolución de cementales y ruptura de capilaridad, además influye directamente en factores condicionantes como la meteorización y el nivel del agua subterránea.

de la inestabilidad)	Terremotos	Las vibraciones sísmicas originan fluctuaciones en el estado de esfuerzos en el interior del terreno, originando todo tipo de movimientos (caídos, deslizamientos, avalanchas, etc.), dependiendo además de la magnitud del sismo y la distancia al epicentro.
	Vulcanismo	Las erupciones volcánicas pueden originar deslizamientos o avalanchas de derrubios de gran magnitud y velocidad en las laderas de los conos volcánicos; además que el deshielo de las partes altas puede originar flujos rápidos.
	Congelación y deshielo	Factores climáticos que afectan principalmente a regiones frías; este fenómeno produce expansiones, contracciones e infiltración de agua en fisuras y grietas
	Erosión y socavación	Incluye la acción erosiva de ríos y oleaje, produciendo los siguientes efectos: -Socavación del material en el pie de la ladera que modifica el estado tensional y aumenta las fuerzas cortantes actuantes. - El deslizamiento puede embalsar un río y después romper súbitamente.
	Actividad humana	Influye en la estabilidad al cambiar la geometría de la ladera por excavaciones, construcción de caminos y presas, sobrecargas debido a estructuras, terraplenes o rellenos, voladuras, etc.; además, estas obras en general cambian las condiciones hidrogeológicas al alterar el drenaje superficial afectando el nivel freático y el flujo natural de escurrimiento. También se incluye la deforestación como una de las actividades humanas que más influencia negativa tiene en la estabilidad de una ladera.

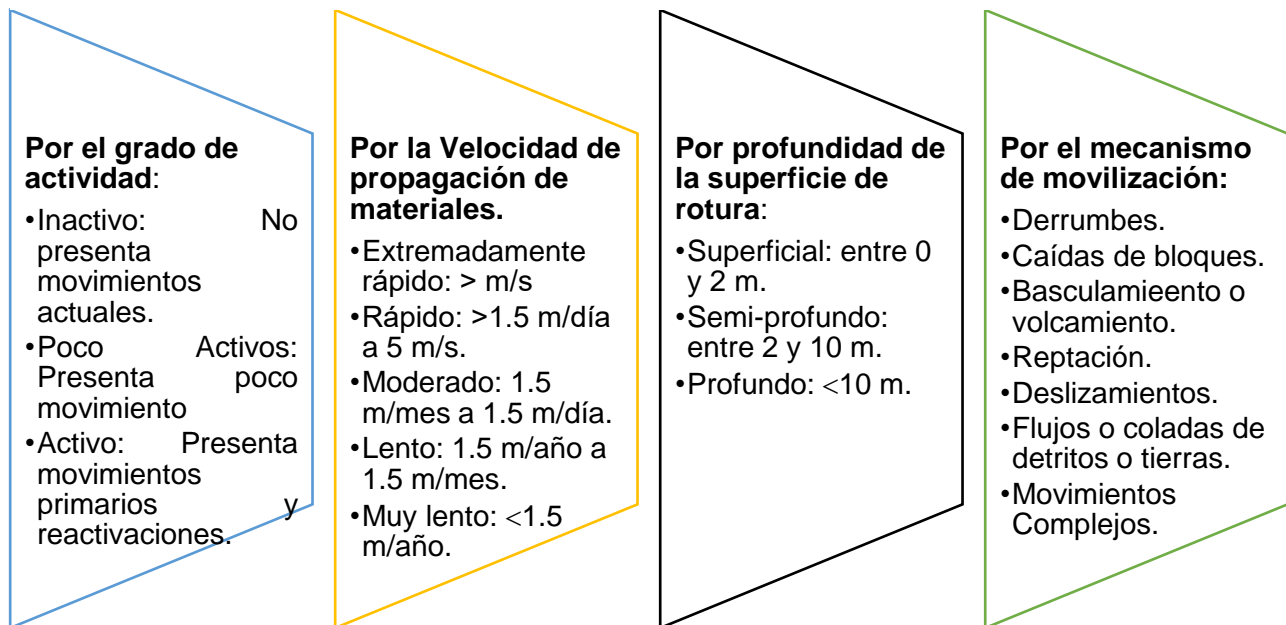
Nota: Factores que contribuyen a una situación de inestabilidad en ladera. **Fuente:** (Cuanalo, Oliva, & Gallardo, 2011)

7.5. Clasificación de la inestabilidad de Laderas.

Las inestabilidades de laderas son fenómenos que no necesariamente ocurren de manera individual, sino que generalmente evolucionan hacia mecanismos complejos que combinan diversas tipologías, siendo por ello muy difíciles de clasificar. Sin embargo, algunos autores como: David Varnes (1978), J.N. Hutchinson (1968), Skempton y Hutchinson (1969) y otros, han propuesto clasificaciones para las inestabilidades de laderas de ocurrencia más frecuente (Cruz, y otros, 2005).

Entre las clasificaciones existentes están: **por el contenido de agua, la velocidad del movimiento, la profundidad de la superficie de ruptura, el tipo de ruptura, estado de la actividad y el tipo de movimiento.** A continuación, se muestra una propuesta de varios tipos de clasificación (Tabla 4):

Tabla 4.
Clasificación de la inestabilidad de ladera o talud.



Fuente propia.

7.6. Equilibrio límite y factor de seguridad

Los análisis de estabilidad de los taludes pueden ser abordados con diferentes enfoques: (Cuenalo, González, & Gallardo, 2011); (Álvarez, 2015), (Guada & Mesa, 2013), (Zhao, Wang, & Yan , 2014), donde en todas coincide determinar las pendientes máximas de un talud, que permitan construirlos de una manera estable y segura, evitando las fallas por deslizamientos, vuelco, desprendimientos, etc.

Uno de los métodos de análisis de estabilidad de taludes más utilizados mundialmente es el conocido análisis de Equilibrio Límite, que consiste en imaginar un mecanismo de falla para el talud y aplicar a tal mecanismo los criterios de resistencia del material (criterios de Coulomb), de manera de ver si, con tal resistencia, hay o no la posibilidad de que el mecanismo de falla supuesto llegue a presentarse. Este método de análisis de Equilibrio Límite considera que el fallo ocurre por un deslizamiento de la masa de suelo actuando como un cuerpo rígido a lo largo de una superficie de falla supuesta, y que a lo largo de esa superficie el suelo desarrolla la máxima resistencia a cortante. (Ortiz & Portilla, 2014).

La estabilidad de los taludes se determina a través del factor de seguridad. Este factor expresa “la magnitud en que puede reducirse la resistencia a cortante del suelo para que se produzca el deslizamiento a lo largo de la superficie de falla más desfavorable”.

El factor de seguridad depende de:

- La representatividad de los parámetros mecánicos del material de la cimentación y del cuerpo del talud, obtenidos mediante investigación geotécnica, en función de los estados de carga que se necesiten estudiar al diseñar el talud.
- El método de análisis de estabilidad.
- La aproximación al asumir los valores de las presiones de poro y la forma de manipular éstas, al realizar el análisis de estabilidad.

Dado un talud con geometría establecida y propiedades de suelo definidas, se obtendrá un factor de seguridad mínimo (F_{\min}), que expresa la magnitud de la reducción que deben experimentar los parámetros de resistencia a cortante del suelo, según el criterio de Coulomb: (c y $\tan(\phi)$), para alcanzar un estado de Equilibrio Límite. El factor de seguridad mínimo de todas las posibles superficies de falla debe cumplir la siguiente condición de diseño: (Gallegos, Leal, Rojas, & Mora, 2012).

$F_{\min} \geq F_{\text{normal}}$
Taludes Permanentes
$FS \geq 1.50$
Taludes Temporales
$FS \geq 1.30$

Los métodos para evaluar la estabilidad de los taludes son diversos. Los de equilibrio límite (Fellenius, 1936; Bishop et al.; 1986, Janbú, 1996; Morgenstern N., 1965; Spencer, 1967) están basados en el método de las dovelas, dividiendo la masa de suelo en dovelas o rebanadas. Un análisis de equilibrio límite permite obtener un factor de seguridad teniendo en cuenta los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla (Ec. 1). Una vez que se han determinado las propiedades de la resistencia a corte de los suelos y las propiedades geométricas del talud, se puede proceder a calcular el factor de seguridad (FS) (Guada & Mesa, 2013).

$$Fs: \frac{\textit{Momento resistente disponible del talud}}{\textit{Momento actuante en el talud.}}$$

Método de ordinario de Fellenius (1927):

Con este método (válido solo para superficies de deslizamiento circulares) se pasan por alto las fuerzas entre las franjas y no se tienen en consideración las obras de refuerzo.

Método Bishop Simplificado (1955):

Con este método (es válido solo para superficies de deslizamiento circulares), no se omite ninguna de las fuerzas agentes en los bloques. Fue el primero en describir los problemas relacionados con los métodos convencionales. Dicho método consiste en establecer el equilibrio de momentos de las fuerzas actuantes en cada rebanada respecto al centro del círculo. A partir de la condición de equilibrio de fuerzas verticales de cada rebanada se obtienen las fuerzas N (normales a la superficie de ruptura) y se sustituyen a la ecuación resultante del equilibrio de momentos. El Método de Bishop Simplificado ignora las tensiones tangenciales entre rebanadas. Por otro lado, considera las normales.

7.6.1. Janbú Generalizado (1968):

Janbú extendió el método de Bishop a superficies de deslizamiento de cualquier forma. Cuando se tratan superficies de deslizamiento de cualquier forma el brazo de las fuerzas cambia (en el caso de las superficies circulares es constante e igual al radio), por este motivo es mejor estimar la ecuación del momento con respecto a la arista de cada bloque.

7.6.2. Spencer (1967):

Las fuerzas de conexión a lo largo de las superficies de división de cada rebanada están orientadas paralelamente entre sí e inclinadas con respecto a la horizontal según el ángulo asignado q .

7.6.3. Morgenstern-Price (1965):

Puede ser aplicado tanto a superficies de rotura circulares como no circulares. Es un método parecido al método de Spencer, pero en el caso de Morgenstern-Price permite la especificación de las fuerzas entre rebanadas. El esquema de fuerzas entre rebanadas es el mismo que para el método de Spencer. Considera que las tensiones y las fuerzas varían continuamente en la superficie, resuelve las componentes normal y paralela a la base para cada elemento formulando ecuaciones de equilibrio de fuerza generales.

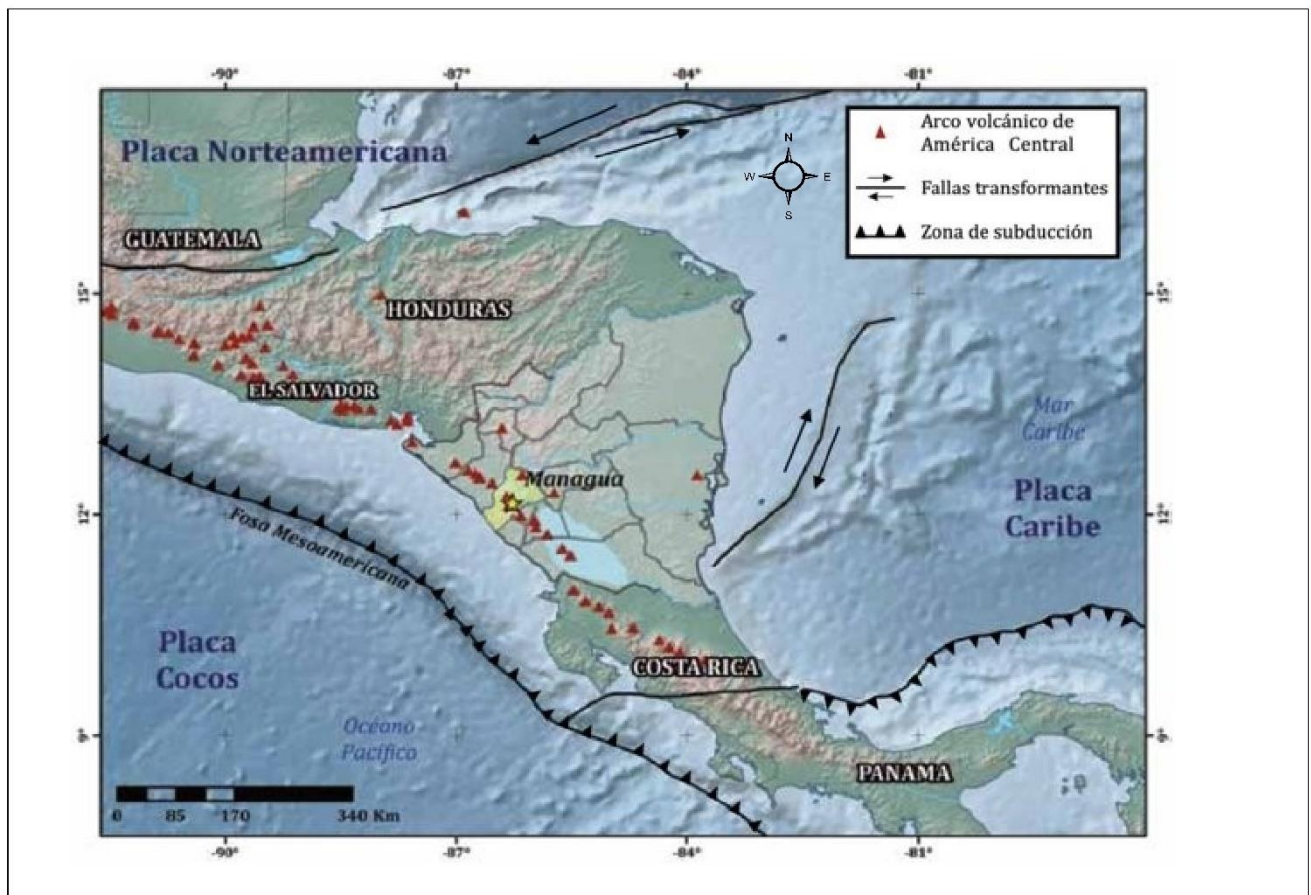
7.7. Marco Geológico.

Tectónica de América Central:

La interacción entre las placas tectónicas Norte, Caribe y Sur América, da lugar a un complicado patrón tectónico en América Central. Centroamérica es una región cuya corteza continental y parte de esta corteza en menor proporción, es especialmente inestable, debido a que esta se encuentra en subducción con la Placa Caribe. (Frischbutter, 2002) (Ver Ilustración: 4).

Ilustración 4.

Tectónica regional de América Central.



Nota: Mapa de tectónica regional de América central. **Fuentes:** modificado de Frischbutter (2002) y Avellán (2009). Tomado de: (Velásquez, Alcántara, Hernández, & Garnica, 2013).

El borde Occidental de la Placa Caribe es muy activo, por la subducción de la placa Cocos, cuyos márgenes son complejos cinturones tectónicos activos, que se caracterizan por una intensa actividad sísmica que han estado evolucionando desde el Eoceno; los cuales han sido definidos por fallas de desplazamiento horizontal y plegamientos compresivos, empuje, deformación y fallamiento extensional. (Montero & Rojas, 2014; Frischbutter, 2002).

La placa Caribe se desarrolló debido a la posición relativa de la placa norteamericana y Sudamericana, después del rompimiento de Pangea en el Triásico-Jurásico tardío. La Placa Cocos se caracteriza por subducir en segmentos debajo de la Placa Caribe. Al tener este comportamiento la Placa Cocos, cambia de ángulo de subducción en cada uno de sus segmentos.

Centroamérica está dividida en tres bloques tectónicos: Bloque Chortis, Chorotega y Maya. Estos se pueden diferenciar debido al tipo de basamento geológico de cada uno. (Dengo, 1983).

Bloque Maya: Está limitado por la Zona de Fractura de Motagua-Polochic, abarca el Norte de Guatemala, Belice, la Península de Yucatán y el Oeste de México hasta el istmo de Tehuantepec. El tipo de basamento de este bloque es de naturaleza continental, constituido por rocas ígneas y metamórficas que se encuentran cubiertas por rocas sedimentarias del Paleozoico, (Dengo, 1983).

Bloque Chortis: Geográficamente incluye la parte Norte de Guatemala, El Salvador, Honduras y la parte Noroeste de Nicaragua, (Dengo, 1983). Este bloque limita al Norte con la falla Polochic-Motagua y en el Sureste por la falla del escarpe de Hess. (Frischbutter, 2002). Su basamento es de naturaleza continental, formado por rocas metamórficas con edad de Paleozoico a Pre-Terciario. (Dengo, 1983) y (Ferrez W., 1991).

Bloque Chorotega: Este comprende la parte Sur de Nicaragua y se extiende hasta la parte central de Panamá. Tiene basamento de naturaleza oceánica y está formado por basaltos masivos en almohadillas, gabros, peridotitas y peridotitas serpentinizadas. Abundantes sedimentos sobre yacen al basamento oceánico del bloque Chorotega, estos depósitos sobresalen con abundantes restos de fósiles (Dengo, 1983).

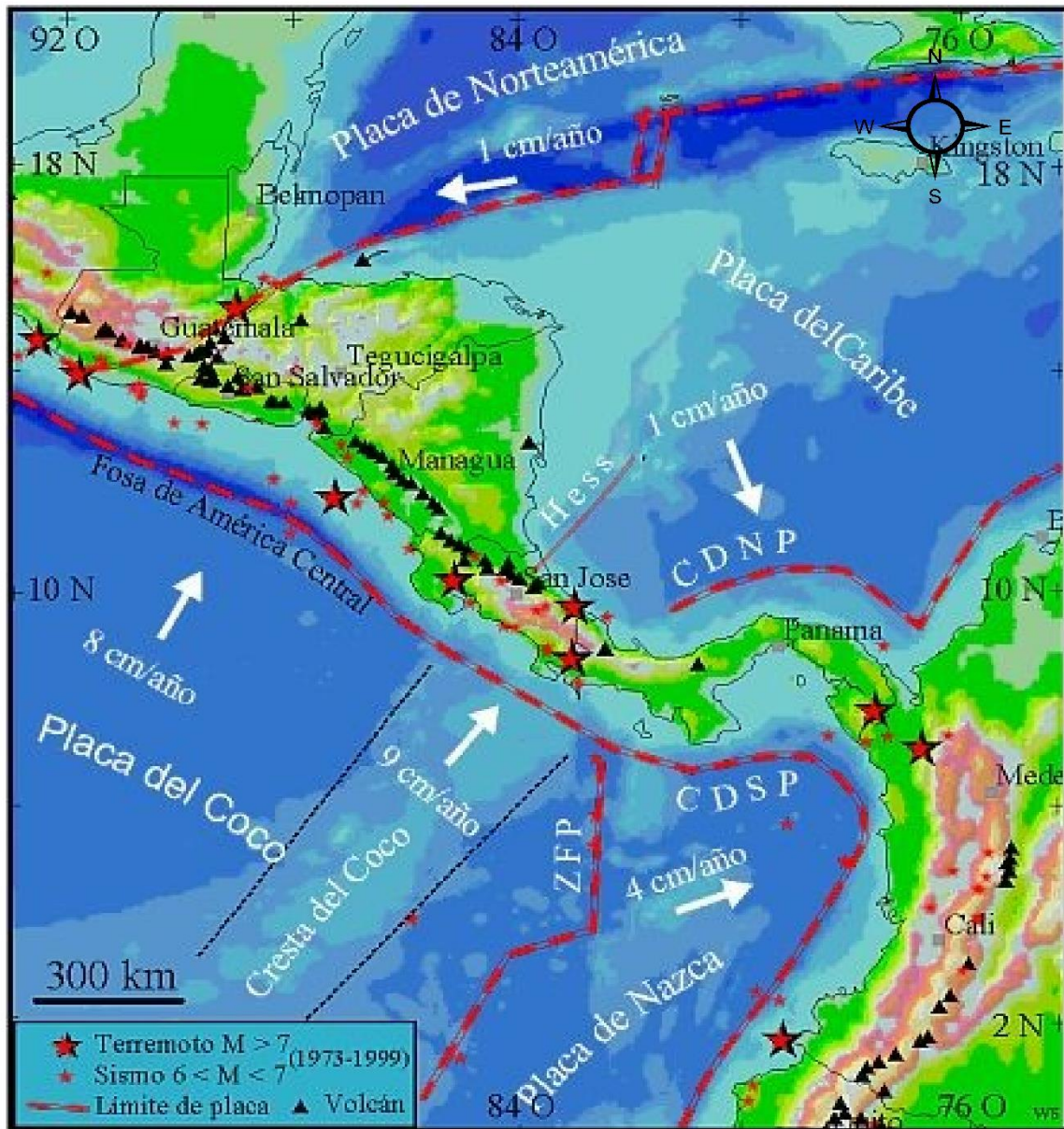
Bloque Choco: Es caracterizado por depresiones de depósitos Cenozoicos marinos, con rocas ígneas volcánicas y plutónicas. La parte Sur del Choco esta soldada al Noreste de América del Sur y la comprensión de los límites de placas aquí es bastante confusa. (Dengo, 1983) Este bloque incluye Costa Rica y Panamá, de basamento oceánico conformado por basaltos.

Desde el punto de vista geotectónico, el elemento estructural más relevante de Centroamérica es la Depresión Nicaragüense, con rumbo NW-SE, depresión que comenzó su formación a finales del Cenozoico, a partir de esfuerzos de tensión local, producidos por la comprensión regional creada entre las placas de Cocos y Caribe. (McBirney & Williams, 1965).

Tectónica de Nicaragua.

El territorio nicaragüense, en su totalidad se encuentra altamente fallado, fracturado o plegado. Existen sistemas de fallas principales y secundarias, cubriendo principalmente las provincias del Norte y Central. (Ver Ilustración: 5)

Ilustración 5.
Ambiente Tectónico de Nicaragua.



Notas: Mapa del ambiente tectónico de Nicaragua. El Movimiento de la placa Coco es convergente con la Placa Caribe a una tasa aproximada de 8 cm cada año.
Fuente: (INETER, 2000) .

La placa tectónica Coco choca con la placa Caribe, descendiendo en un ángulo de 80 grados en dirección Noreste bajo el margen Pacífico de la Placa Caribe. En donde se dobla la placa Coco se da lugar a la zona de contacto y de fricción entre estas dos placas, debido a esto se producen los sismos de grandes magnitudes que sacuden la parte del Pacífico de Nicaragua. (INETER, 2000).

El material fundido de la placa Cocos asciende verticalmente penetrando a la Placa Caribe, dando lugar a la formación de la cadena volcánica, la cual es una alineación de estrato conos y escudos volcánicos situados en zonas bajas. Las tierras bajas van desde el Salvador hasta Costa Rica, las cuales han sido representadas como graben en escala regional. La depresión de Nicaragua podría reflejar una respuesta isostática al emplazamiento de complejos volcánicos e intrusivos terciarios en tierras altas adyacentes. Otras explicaciones han determinado que el tipo de convergencia de estas placas es océano-océano, lo que coincide con las nuevas investigaciones de la estructura de la corteza en la que Nicaragua presenta una capa muy delgada de esta debajo de la zona Pacífico.

Geología Regional:

La geología regional de Nicaragua presenta edades del Mesozoico Inferior al Cenozoico. Dentro de estas eras ocurrieron muchos eventos de origen geológicos como el establecimiento de la subducción de la placa de Cocos debajo de la Placa Caribe. Estos eventos marcaron la formación de potentes capas de rocas volcánicas, metamórficas y sedimentarias distribuidas en todo el territorio con secuencias estratigráficas de diferentes épocas y edades. A continuación, se describen de una manera generalizada cada uno de estos depósitos tomando en cuenta su edad, de la más antigua a la más joven. (Ver Ilustración:6)

Ilustración 6.
 Mapa geológico regional de Nicaragua.



Nota: El mapa fue tomado del Atlas Escolar de Nicaragua. Escala original 1:200.000. **Fuente:** INETER 1995.

7.7.1.1. Mesozoico.

Cretácico Inferior: En el Cretácico inferior se distingue depósitos metamórficos, conocidos como Esquistos Verdes con diferentes grados de metamorfismos. Entre estas rocas tenemos filitas, esquistos sericíticos y micacitas filíticas (Del Guidice, 1960). En la región de Siuna, se encuentran rocas sedimentarias de este periodo como: arenisca, lutita y caliza (Miller & Hugh, 1971).

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

Cretácico Superior Al Cenozoico (Paleógeno Eoceno): En el periodo del Cretácico Superior al Periodo Paleógeno Eoceno se depositaron grandes espesores de rocas sedimentarios de origen Pelágicos y turbidíticos. La secuencia estratigráfica fue interrumpida varias veces con la depositarían de materiales volcánicos e intrusiones ígneas. Así mismo, hubo levantamiento, hundimiento, invasión y retirada del mar. (Zoppis Bracci & Del Guidice, 1958).

Estos depósitos se encuentran en la franja costera del Pacífico, desde Corinto hasta la frontera Sur con Costa Rica, Al Oeste de la plataforma Continental del Pacífico, Al Este hasta la Cordillera Mateare (Zoppis Bracci & Del Guidice, 1958). En estos depósitos, se han identificado 5 formaciones y un grupo: Formación Rivas, Formación Brito, Formación Masachapa, Formación El Fraile, Formación El Salto Grupo Tamarindo, Cuyas edades varían de 72.1 a 26 Ma, (Zoppis Bracci & Del Guidice, 1958) (Paz Rivera, 1964).

7.7.1.2. Cenozoico:

Paleógeno Oligoceno Al Neógeno Plioceno: Los depósitos de rocas del Cenozoico se formaron producto de intensas actividades volcánicas, dejando gran volumen y predominio de rocas volcánicas. Estos depósitos afloran al Oeste con la Depresión Nicaragüense, al sur con el río El Indio y al Este, con las áreas bajas de la Costa Atlántica.

(McBirney, 1965), clasificaron este depósito en dos grandes grupos: Grupo Matagalpa y Grupo Coyol. Grupo Matagalpa: formado en la parte basal por sedimentos volcánicos, brechas laháricas, lavas basálticas y en menor cantidad, rocas andesíticas, la parte media está constituida por tobas e ignimbritas riolíticas, y la parte superior por lavas intermedias andesíticas a lavas félsicas, dacíticas y rocas piroclásticas. Se ha calculado que los depósitos rocosos de este grupo tienen una edad comprendida entre Oligoceno-Mioceno (23.03- 7.35 Ma) (Ehrenborg, 1991).

Grupo Coyol, formado por pequeñas capas de lavas máficas e ignimbritas andesíticas a dacíticas. La edad de este grupo se ha estimado entre Mioceno-Plioceno (7.25 a 2.6 Ma). (Ehrenborg, 1968) propone una nueva estratigrafía para el Grupo Coyol y Matagalpa, en base a las facies distales de la fuente de emisión volcánica. Bajo este criterio los depósitos del Grupo Coyol se clasificaron de la siguiente manera: Domo Riolítico, Escudo Estratiforme, Unidad Volcánica de Escudo-Estratiforme y Escudo Ignimbrítico. Así mismo, (Ehrenborg, 1968), también describe una litología heterogénea de basaltos a basaltos andesíticos. Las rocas más comunes presentes en este grupo son: Basaltos, Andesitas, Dacita, Toba, Ignimbritas, Flujos Piroclásticas dacíticas a riolíticas, brechas y aglomerados. A su vez, estos materiales son instruidos por domos riolíticas. El área de estudio se encuentra dentro de los depósitos del Grupo Coyol, con una clasificación de facie distal correspondiente a Unidad Volcánica De Escudo Estratiforme.

7.7.1.3. Cuaternario:

Los depósitos de rocas cuaternarias se encuentran paralelas a la faja Costera del Pacífico de Nicaragua. Están contenidos principalmente dentro de la depresión nicaragüense, la que a la vez contiene la Cadena Volcánica Cuaternaria Nicaragüense y los lagos de Nicaragua (Paz Rivera, 1964; McBirney, 1965).

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

8. Hipótesis de Investigación.

La variación de las características geotécnicas del suelo y la influencia de factores externos (topografía, precipitación y actividad humana) inciden significativamente en la estabilidad de las laderas, y mediante un análisis detallado de estos factores permitirá predecir y mitigar de manera más efectiva el riesgo de fallas en los taludes.

9. Diseño Metodológico.

9.1. Tipo de Estudio.

La presente investigación es de carácter descriptivo, puesto que, consiste en analizar cómo es y cómo se manifiesta nuestro fenómeno y sus componentes, así mismo, detallar a través de la medición de uno o más de sus atributos (Hernández, Fernández, y Baptista, 2006). La cual está complementada de la siguiente manera:

- Descripción lito-geomorfológica: (Unidades geológicas, geomorfológicas, tipo suelo y roca).
- Topográfica: (Altimetría y Planimetría)
- Análisis geotécnico: (Propiedades físico-mecánicas del suelo y roca).

Esta investigación contiene un enfoque mixto, ya que, integra métodos cuantitativos y cualitativos. Cuantitativo, porque a partir del levantamiento de ladera se obtuvieron valores numéricos de sus dimensiones los cuales en completo con los datos geotécnicos ayudaron a realizar el modelamiento a través de los softwares: CIVIL 3D, Google Earth, SLIDE 5.0 y ARCGIS 10.5. Cualitativo; porque se realizó la descripción lito-geomecánicas de la ladera en campo, determinando así: el tipo de movimiento presente en el cerro y geotécnica en las muestras recolectadas y ensayadas en el laboratorio.

9.2. Área de Estudio.

Por institucional:

LÍNEA IIC-1: Innovación, tecnología y medio ambiente.

- SUB LÍNEA IIC-1.4: Análisis de datos y modelación.

LÍNEA IIC-2: Planificación territorial e infraestructura.

- SUB LÍNEA IIC-2.2: Materiales y suelos para la construcción.

Por lo geográfico:

El área de estudio se encuentra ubicada en el km 405 de la carretera Nic.30 Comunidad de Aguas Calientes municipio de Bonanza, Departamento de la Región Autónoma de la Costa Caribe Norte.

9.3. Universo y muestra.

El universo está delimitado por el municipio de Bonanza del departamento de la Región de la Costa Caribe Norte (RCCN) y la muestra está conformada por el Km 405 de la carretera NIC-30, comunidad de Aguas Calientes.

9.4. Matriz de Operacionalización.

Tabla 5.

Matriz operacional, variable y subvariables.

Objetivos Específicos	Variable Conceptual	Subvariables, o Dimensiones	Variable Operativa o Indicador	Técnicas de Recolección de Datos e Información		
				Análisis Documental	Experimento de Campo	Experimento de Laboratorio
Objetivo Específico No.1 Realizar altimetría y planimetría del área de estudio, para conocer sus dimensiones.	1. Altimetría y planimetría.	1. 1. conocer sus dimensiones	1.1.1 Detalles existentes en el terreno		x	
Objetivo Específico No.2 Identificar las unidades lito estratigráficas del talud presentes en el área de estudio.	2. Litología	2.1. Características	2.1.1. Descripción del material presente		x	
Objetivo Específico No. 3. Definir los factores condicionantes y desencadenantes ante movimiento en masa del área de estudio.	3. factores condicionantes y desencadenantes	3.1. vulnerabilidad	3.1.1. Elemento expuesto	x	x	

<p>Objetivo específico No.4. Determinar las propiedades físico-mecánicas a través de ensayos de laboratorio.</p>	<p>4. Propiedades físico-mecánicas</p>	<p>4.1. Características y resistencia del suelo presente</p>	<p>4.1.1. Descripción y soporte del material presente</p>		<p>x</p>
<p>Objetivo específico No.5 Efectuar el análisis de inestabilidad del talud mediante los métodos de equilibrio, Fellenius, Bishop, Janbú simplificado y Spencer a través del software Slide, los cuales determinaran la susceptibilidad presente ante deslizamiento.</p>	<p>5. Métodos de equilibrio</p>	<p>5.1. Susceptibilidad</p>	<p>5.1.1. Condiciones de pendiente</p>	<p>x</p>	<p>x</p>
<p>Objetivo específico No. 6 Realizar recomendaciones técnicas con base a los resultados de este estudio para suministrar una posible solución a la problemática.</p>	<p>6. Recomendaciones técnicas</p>	<p>6.1. Resolución</p>	<p>6.1.1. Mejoramiento del problema</p>	<p>x</p>	<p>x</p>

Nota: Fuente propia.

9.5. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la *etapa de gabinete* se llevarán a cabo diferentes acciones, en las cuales se recopiló información posible del área de estudio, preparando así las condiciones para proceder con la etapa de campo. Subsiguientemente se puntualizan las actividades realizadas para este acápite.

Se efectuó una selección de información de acuerdo al tema y objetivos planteados para la elaboración de este documento, obtenido de la visita a las instituciones: Instituto Nicaragüense de estudios Territoriales (Ineter), Centro de Documentación: IGG-CIGEO UNAN-Managua y Ministerio y Sistema de Prevención y Mitigación de Desastres Naturales (SINAPRED). Así mismo, el uso de documentos escritos (artículos científicos, estudios, informes, tesis u otros trabajos), mapas impresos a escala 1: 50000, imágenes que abarcan el área de estudio (fotografías aéreas, imágenes de radar e imagen satelitales), software: ArcGis 10.5 y Google Earth.

Para la *etapa de campo* se realizó un mapa de ruta marcha para la verificación de los elementos geo estructurales obtenidos por medio de la foto interpretación de imágenes satelitales, adquiriendo datos durante la visita del área.

Se visitó el área de estudio con la finalidad de corroborar la información obtenida en la etapa de gabinete, donde se localizaron los principales puntos de amenaza y se describieron las unidades litológicas y geomorfológicas presentes, también se realizó un levantamiento de las estructuras en el área, utilizando como guía el mapa base anticipadamente elaborado. Esta fase fue delimitada por las siguientes actividades:

- Reconocimiento geológico de campo.
- Localización del área afectada.
- Descripción macroscópica del suelo y roca: (mineralogía, color, alteraciones, textura etc.)

- Muestreo de suelo y rocas aflorantes que sean representativas.
- Toma de fotografías de los respectivos puntos exteriorizadas.

Equipos e instrumentos de medición en campo: Se utilizaron Brújulas, martillo de geólogo, GPS, cintas métricas, fotografías aéreas, modelo de elevación del terreno (MDE) derivado del sensor ALOS PALSAR, el cual tiene una resolución espacial de 12.5 metros x 12.5 metros y mapas topográficos. (Ilustración 7)

Ilustración 7.

Equipo utilizado en campo.



Nota: Material de equipo utilizado en este proyecto. **Fuente:** Propia.

9.6. Plan de análisis y procesamiento de datos e información

Obtenidas las muestras de campo se procedió al análisis, para obtener la información y poder elaborar resultados finales dividida de la siguiente manera:

Análisis Geológico

En este punto se interpretaron las características geológicas del talud para obtener la litología presente en el área de estudio y elaborar una columna estratigráfica.

Análisis de las propiedades Físico- mecánicas.

Para el análisis geotécnico de las muestras recolectadas en campo se sometieron a pruebas en el laboratorio, serán caracterizadas siguiendo los procedimientos establecidos en las normativas ASTM. Los ensayos estándar de mecánica de suelos a realizar serán los siguientes:

- Análisis granulométrico por tamizado AASHTO T 27.
- Determinación de límites de consistencia ASTM D 4318.
- Gravedad específica de suelos AASHTO T100.
- Determinación de contenido de humedad ASTM D 2216.
- Clasificación de suelos HRB, ASHTO M 145.
- Clasificación de suelos SUCS, ASTM D2487.

Una vez obtenido los resultados dicha información será ploteada en los softwares: AutoCAD, Google Earth, Slide 5.0 y ArcGis 10.5 para la confección de planos y cartas geológicas.

Análisis de Laboratorio:

Las muestras fueron llevadas a laboratorio donde se procedió a realizar las pruebas de propiedades físico-mecánicas de suelos y roca en el laboratorio de Geotécnica del Departamento de Construcción RURMA (Recinto Universitario Ricardo Morales Avilés) UNAN-MANAGUA. Según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). Los ensayos realizados fueron los Siguietes (Tabla 6):

Tabla 6.

Ensayos de mecánica de suelos (SUCS)

Ensayos	Normas estándares
Análisis granulométrico por tamizado	AASHTO T 27
Límites de Atterberg	ASTM D 4318
Porcentaje de humedad	ASTM D 2216
Gravedad específica	AASHTO T100

Nota: Detalle de los ensayos utilizados, descrito según las normas estándar.**Fuente:** Elaboración propia.

Para el análisis de estas muestras se pesaron doscientos gramos de la muestra ya cuarteada, lavando las muestras para eliminar todo limo y arcilla, dejando al horno por 24 horas para luego pasar por un paquete de tamices de diferentes diámetros, para poder clasificar el material al sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

10. Análisis y Resultados.

En este punto se abordan los resultados obtenidos de este trabajo investigativo geológico-geotécnico, realizado a bases de pruebas de campo y laboratorio apropiado a la geomecánica, obteniendo datos para la elaboración de dicha investigación.

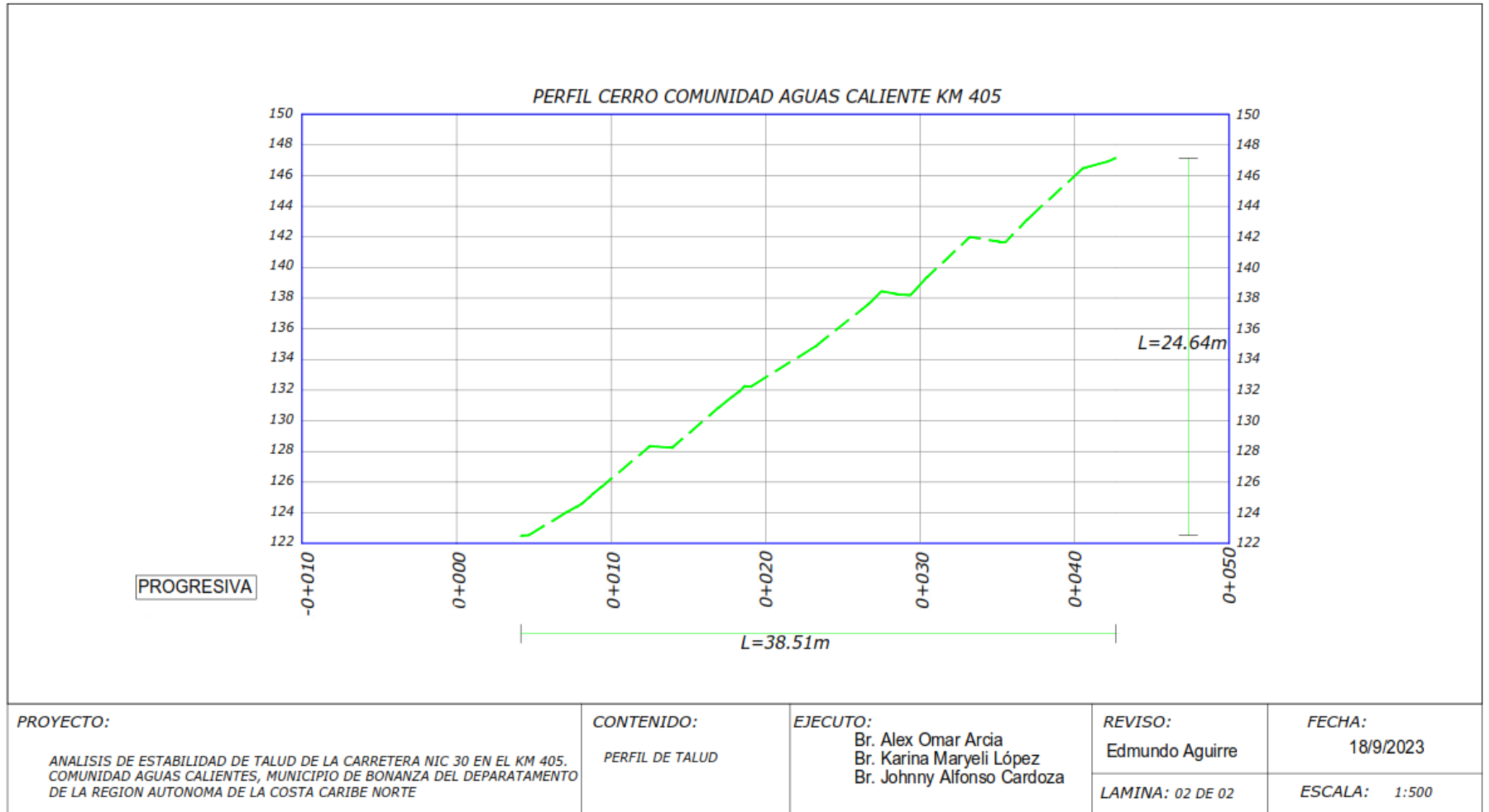
10.1. Planimetría y Altimetría

Se realizó visita de campo para la recolección de datos necesario para el análisis del talud: toma de coordenadas, altitud y longitud.

Para la elaboración de este modelo de elevación digital, obtuvimos datos digitalizados y referenciados satelitalmente; dichos datos fueron proporcionados por: (Contreras , 2022)

Así mismo se realizó un segundo plano que representa el flanco en estudio (perfil 2), donde se muestra la carretera NIC 30, ciertas dimensiones del rio Bambana, y la distribución espacial de dicho talud figurada por curvas de nivel de 5 en 5. Dicho lo anterior, cabe aclarar, que la variación de dichas curvas de nivel corresponde precisamente a dos bermas elaborados en meses anteriores al estudio, demostrando así; la intervención del ser humano, sin tomar los parámetros geotécnicos adecuados. (ver perfil 1.)

Perfil 1. Plano bidimensional del talud.



Perfil 2. Proyección dimensional del talud.



10.2. Análisis Geológico

La zona de estudio pertenece a la provincia geológica "Planicie costera del Atlántico" caracterizada por presentar terrenos bajos, llanos y ondulados, formados por depósitos de rocas sedimentarias del Pleistoceno, debajo de los cuales se encuentran rocas sedimentarias antiguas del Terciario que forman la gran cuenca de sedimentación de la Mosquitia. Donde también sobresalen depósitos volcánicos de la formación Matagalpa y Pre-Matagalpa. Tectónicamente se ubica en el micro bloque terreno Siuna, considerado como un tercer fragmento tectónico de la placa Caribe, localizado entre el bloque Chortis y bloque Chorotega siendo geológica, tectónica y metalogénica mente distinta a los otros bloques, por lo cual se considera como un bloque aislado del Chortis y Chorotega (Hodgson, 2000.)

Las rocas del área de estudio están constituidas por rocas terciarias pertenecientes al Grupo Matagalpa (Figura 2), con características geológicas y morfológicas bien diferenciadas, cerros de mediana altura afectados por la erosión y meteorización de la roca, cuya edad geológica corresponde al Terciario Oligo-Mioceno Matagalpa.

Ilustración 8.

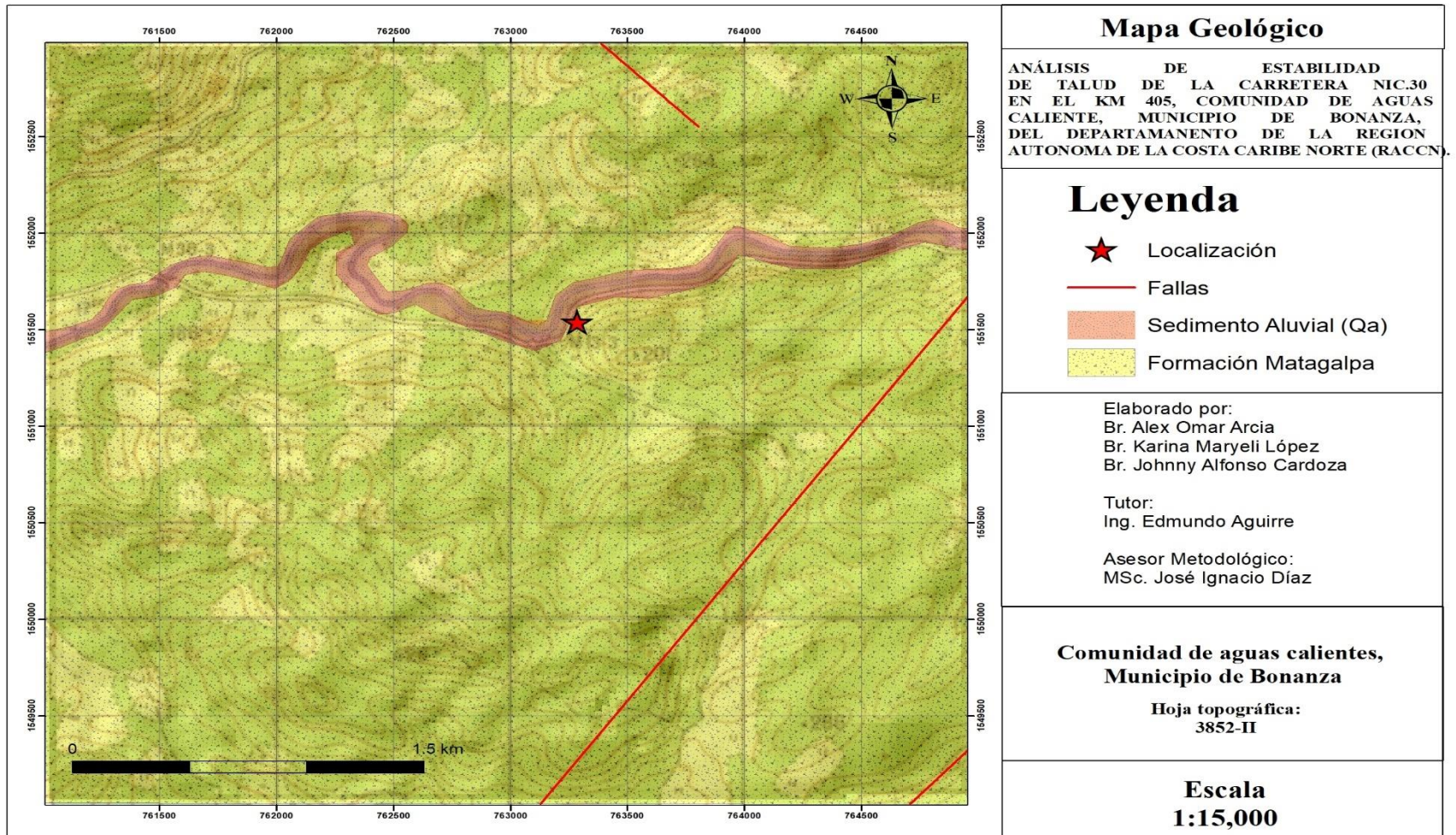
Fotografía panorámica del talud



Nota: Sitio de estudio, Coordenada UTM 1551817N 763270E

Figura 2.

Mapa Geológico.



Según la litología presente en el talud (Ilustración 8: fotografía panorámica del talud e Ilustración 10; pág. 47: columna estratigráfica) se logró determinar que está compuesta por:

Lava andesítica (Tomm)

Se presenta un flujo de lava andesítica relativamente meteorizada, de textura porfírica de tonalidad rojiza, moderado en óxidos de hierro principalmente hematita. Se observan que los cristales de plagioclasas y cuarzo presentes en la andesita se han transformados a minerales de arcillas (Posiblemente montmorillonita). Se logra observar patinas de color negro posiblemente oxido de manganeso. Esta lava andesítica conforma principalmente la composición del talud (Ilustración 9).

Ilustración 9.

Lava andesítica con patinas de color negro.



Nota: Andesita meteorizada encontrada en el talud.

Depósito coluvial:

Se observa material coluvial en la parte superficial, se muestran fragmentos de rocas angulares a subangulares de distintos tamaños depositados a lo largo y ancho del talud, producto de la meteorización, escorrentías superficiales y pequeños deslizamientos presentes en el área de estudio (Ilustración 10).

Ilustración 10.

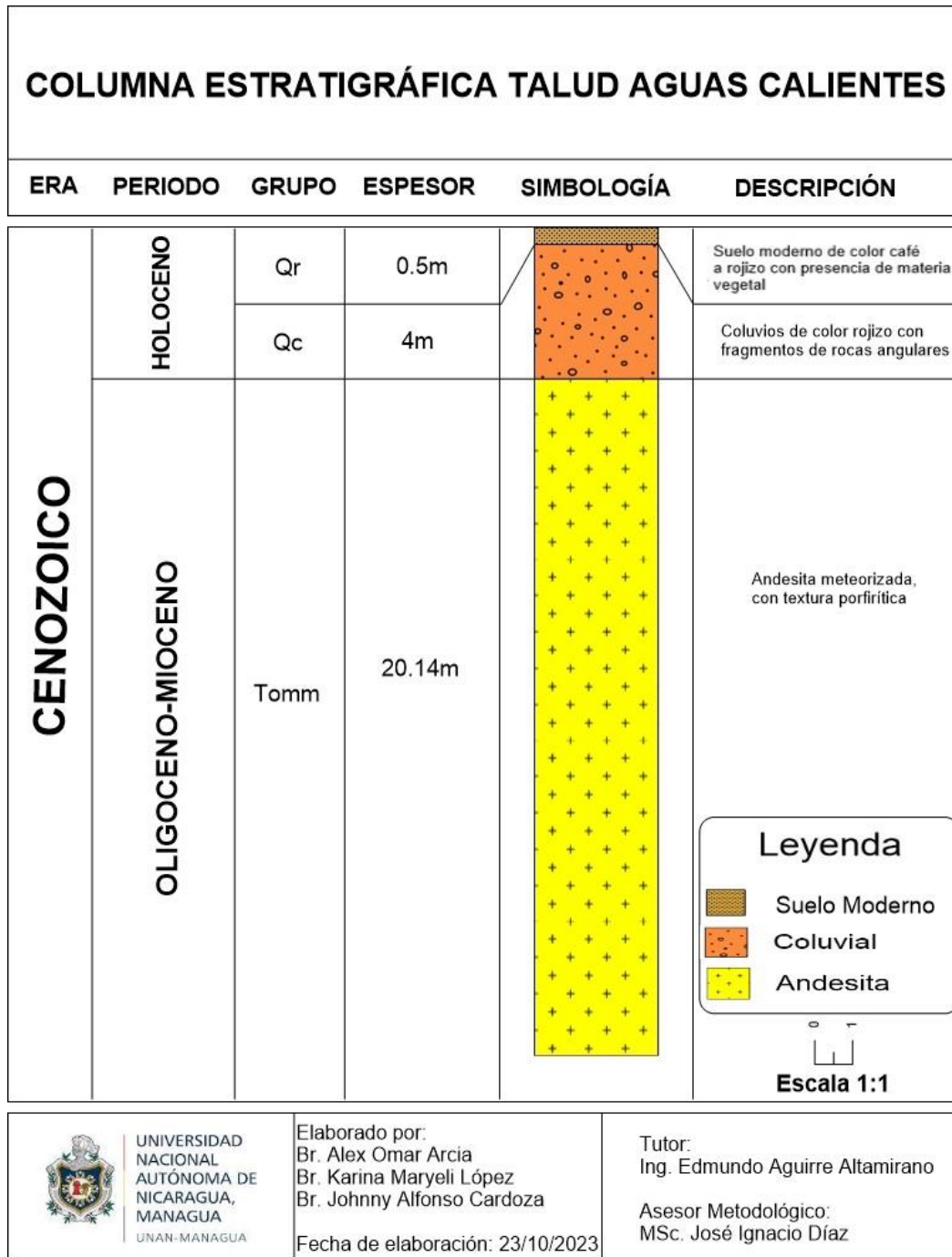
Deposito coluvial, presentes en el área.



Nota: Rocas angulares con alta meteorización.

Ilustración 11.

Columna estratigráfica del talud.



Nota: Columna estratigráfica con los diferentes estratos que forman el talud.

10.3. Factores condicionantes y desencadenantes

Factor Condicionante:

La favorable disposición de los estratos, grado de intemperismo y propiedades físicas mecánicas de los dos tipos de materiales, corresponden en gran parte a un flujo de coluvios de color rojizos con fragmentos de rocas angulares altamente meteorizadas, y con un alto grado de pendiente dando indicios a movimientos gravitacionales.

Factores desencadenantes:

Los factores geotécnicos, junto con factores geométricos y topográficos del talud, han sido afectados por procesos geodinámicos externos e internos, que han modificado sus propiedades geomecánicas, influyendo en la inestabilidad del talud, que incrementa con factores desencadenantes como:

- Sobresaturación de agua en el suelo; producto a las altas precipitaciones las cuales oscilan entre 3500 y 4000 milímetros (Anexo 1), vegetación hidrofílica y halófitas propias del área.
- Material altamente cohesivo definido como: limos arenosos con presencia de arcilla.
- Acumulación de agua presente al pie del talud, generando más infiltración por debajo de la carretera, esto debido a un mal mejoramiento del talud.
- Geomorfológicamente esta zona pertenece a una provincia con relieve fuertemente accidentado resultado de un sistema de fracturas denso y complejo. Las formas de relieves predominantes son altiplanicies, mesas, cuevas, cordilleras, serranías, colinas aisladas, terrenos montañosos quebrados moderadamente hasta muy escapados. (Hodgson G., 2000).

10.4. Análisis Geotécnico

El análisis geotécnico consistió en la elaboración de análisis de muestras de campo, para la evaluación de estabilidad de talud y clasificación del material en laboratorio.

Análisis granulométricos:

En la realización de este ensayo granulométrico, se utilizaron una serie de tamices de distintos diámetros, el cual son ensamblados uno sobre otro, colocando el material en el tamiz superior, para luego ser sometidos a movimientos rotatorios de tal forma que el material pase y se retenga conforme el tamaño.

Los tamices son retirados y se procede a pesar cada material retenido por tamiz, uno por uno, donde al final la sumatoria del material retenido debe de ser el total del material inicial a ensayar.

Una vez realizado este ensayo se elabora la curva granulométrica con los valores obtenidos, para visualizar la tendencia de los tamaños de granos, identificando el tipo de suelo y obtener el porcentaje para interpretación de los resultados. Dicho porcentaje es calculado: peso retenido en el tamiz entre el peso retenido en los tamices superiores por cien.

De igual forma se determinó el porcentaje de fracciones gruesas (Grava) mediante el tamiz No. 4 ASTM, el porcentaje de arena es calculado por los comprendido en los tamices No. 4 y No. 200, y para limo o arcilla únicamente en el tamiz No. 200. Analizando el porcentaje de las partículas que se encuentran en el suelo (anexo 3 y anexo 4).

Dicho análisis está determinado para dos tipos de muestras (tabla 7), detallando que:

➤ Muestra nro. 1:

Según datos de granulometría y plasticidad, conforme al Sistema Unificado De Clasificación De Suelos SUCS la muestra corresponde a una Arcilla de baja plasticidad (CL), estando exenta de Coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura, puesto que esta no cumple con la determinación del diámetro efectivo “D10, D30, Y D60”.

Por otra parte, en la clasificación AASHTO se determinó que el suelo se encuentra en el grupo (A-5) (10) correspondiendo a un material fino de moderada plasticidad, presentando comportamientos mecánicos que van de regular a pobre, por sí solo.

➤ **Muestra nro. 2:**

De conforme a la clasificación AASHTO este material se encuentra en el subgrupo A-7-5 (13) corresponde a un suelo arcilloso de alta plasticidad, clasificado como (CH) según clasificación SUCS, estando exenta de coeficiente de uniformidad y coeficiente de curvatura, puesto que esta no cumple con la determinación del diámetro efectivo “D10, D30, Y D60”.

Análisis Límite líquido y Límite plástico:

El límite líquido se define como el porcentaje de humedad del suelo, por debajo del cual se presenta un comportamiento plástico. El límite además de ser un parámetro esencial para la clasificación de los suelos puede ser útil para determinar problemas de potencial de volumen, para estimar asentamientos en problemas de consolidación y en conjunto con el límite plástico para predecir la máxima densidad en estudios de compactación (Diaz W. A., 2015).

Para la preparación de este ensayo se debe de garantizar que el material sea retenido en el tamiz No. 40, este material se humedece dentro de un recipiente con el fin de llevar el material a una consistencia y evitar que partículas finas se adhieran a partículas gruesas, para luego tener un proceso de reducción de humedad y llegar a los valores indicado para el cierre de la abertura en los tres intervalos (15-20) (20-25) (25-30) de golpe.

Una vez preparado el material se coloca una parte en la cazuela y se extiende sobre la misma de manera que no quede vacío, haciendo una ranura de arriba hacia abajo en línea recta; para que luego cierre la ranura por el flujo del material entre los intervalos de golpes. Posterior a esto, el material se somete a secado al horno y una vez obtenido el valor se registra el peso del suelo seco más recipiente (Anexo: 3 y 4)

La primera muestra de suelo se clasifica como una arcilla de baja plasticidad (CL), con un porcentaje mayor de 91.2% de finos, arena fina en un 5.6% y grava de 3.2%, con un índice de compresión de 0.35%, presentando un límite líquido del 49% y un límite plástico del 39% lo que nos da un IP igual al 10%, puesto que nuestro IP es \leq al 10% podemos deducir que es un material de baja expansibilidad (Anexo 7 y tabla 7).

La segunda muestra de suelo clasifica como una arcilla de alta plasticidad (CH), con un porcentaje mayor de 96.6% de finos, arena fina en un 2.7% y grava de 0.7%, con un índice de compresión de 0.39%. Dicha muestra presenta un límite líquido del 55% y un límite plástico del 41% lo que nos da un IP igual al 14%, puesto que nuestro IP es \geq al 10% podemos deducir que es un material de alta expansibilidad (Anexo 4 y tabla 7).

Gravedad Específica AASHTO T100:

La gravedad específica se define como la relación entre una unidad de volumen de los sólidos de un suelo y la masa de un volumen igual de agua destilada a una temperatura de 20°C. la gravedad específica se representa bajo el símbolo de G_s y se presenta en condición adimensional. En el campo de la geotecnia es utilizado para determinar la relación de vacíos de los suelos y en las ecuaciones de relación de agua, aire y sólidos de un suelo (Diaz, 2015).

Se elaboró un ensayo de gravedad específica por cada muestra tomada del área de estudio. El limo arenoso de baja plasticidad corresponde al 2.581% de gravedad específica (tabla 7), el limo elástico de alta plasticidad nos indica un 2.599% de gravedad específica (tabla 7, Anexo 5 y 6).

El valor de la Gravedad Específica se determina mediante la siguiente ecuación:

$$G_s = \frac{W_s * K}{W_s + W_a + W_b}$$

Donde:

GS: Gravedad Específica

Ws: Masa del suelo seco

Wa: Masa del Picnómetro lleno de agua a la temperatura de calibración.

Wb: Masa del Picnómetro más mezcla (suelo + agua)

K: Factor de corrección. Coeficiente de temperatura.

Análisis de Porcentaje de humedad:

El comportamiento del suelo puede compararse con el de una esponja por su capacidad para retener agua dentro de su estructura y cuya cantidad depende de las características de sus partículas (textura y estructura). El contenido de humedad de un suelo es la relación existente entre la masa de agua que logra alojarse dentro de la estructura porosa del suelo y la masa propia de las partículas de suelo. También se define el contenido de humedad de un suelo como la suma del agua libre, capilar e higroscópica (Diaz W. A., 2015).

Para la preparación de este ensayo se selecciona la muestra con la humedad natural en que se extrae desde el sitio de estudio, manteniendo la humedad almacenada en una bolsa de plástico, el tamaño de la muestra va conforme a la norma ASTM 2216, se deposita la muestra en un recipiente (Ilustración 12, anexo 7) determinado la masa y se procede a dejar en el horno por 24 horas, una vez secado el material se deja secar a temperatura constante para luego determinar su peso seco.

El contenido de humedad del suelo se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$W(\%) = \frac{Wh - Ws}{Ws - Wr} * 100$$

Donde:

W: Humedad

Wh: Suelo húmedo

Ws: Suelo seco

Wr: Masa del recipiente.

Para las muestras analizadas se obtuvieron los siguientes resultados:

Ilustración 12.

Muestra ensayo de humedad natural.



Nota: Fotografía de la muestra: muestra 1 color marrón claro; muestra 2: color marrón oscuro. **Fuente:** Propia.

Tabla 7.

Descripción de resultados según su muestra.

Muestra	Muestra nro. 1	Muestra nro. 2
Identificación de campo	Suelo limoso	Suelo arcilloso
Procedencia	Bonanza, Km 405.	
Humedad In situ (%)	44.70	42.48
Límite líquido (LI)	49	55
Límite plástico (LP)	39	41
Índice de plasticidad (Ip)	10	14
Tamaño máximo (mm)	50	19
Porcentaje que pasa < 0.075 (mm)	91	97
Cu	---	---
Cc	---	---
Clasificación SUCS	Arcilla de baja plasticidad (CL)	Arcilla de alta plasticidad (CH)
Clasificación AASHTO	A-5 (10)	A-7-5 (13)
Gbs	2.58	2.60

10.5. Análisis de datos para el software SLIDE.

Para la determinación del análisis de estabilidad del talud se complementó con el uso del programa Slide y el perfil del área de estudio (Lámina 02 de 02), se utilizaron datos como: cohesión, ángulo de fricción y peso unitario de cada uno de los materiales (tabla 8). Dichos resultados fueron tomados a comparaciones de los resultados de laboratorio conforme a la clasificación e identificación de suelos (Casagrande, 1948) (anexo 8).

Tabla 8.
Propiedades utilizadas en el programa.

Propiedades para utilizar en el programa SLIDE				
Tipo de suelo	Angulo de fricción	Peso unitario (kn/m3)	Cohesión kn/m2	color
Coluvios	28	14.94	18	
Andesita meteorizada	28	14.24	18	

Nota: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos por cada uno de los diferentes ensayos realizados en el laboratorio se recopiló la información necesaria que se utilizó en el programa Slide, para obtener el resultado de modelamiento del talud con cada uno de los métodos empleados al análisis.

Para este análisis se utilizaron cuatro métodos: Fellenius, Bishop Simplified, Janbú Simplified y Spencer, estos métodos analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable y en las fuerzas que actúan sobre el talud y determinan las condiciones de estabilidad, no tomar en cuenta las deformaciones del terreno. El siguiente perfil está basado en los análisis geológicos y geotécnicos (Figura 2).

Adicionalmente se proporciona una tabla (tabla 9) donde se muestran el factor de seguridad por cada método utilizado, tomando como referencia el factor de seguridad por taludes permanentes 1.5 (pág. 27):

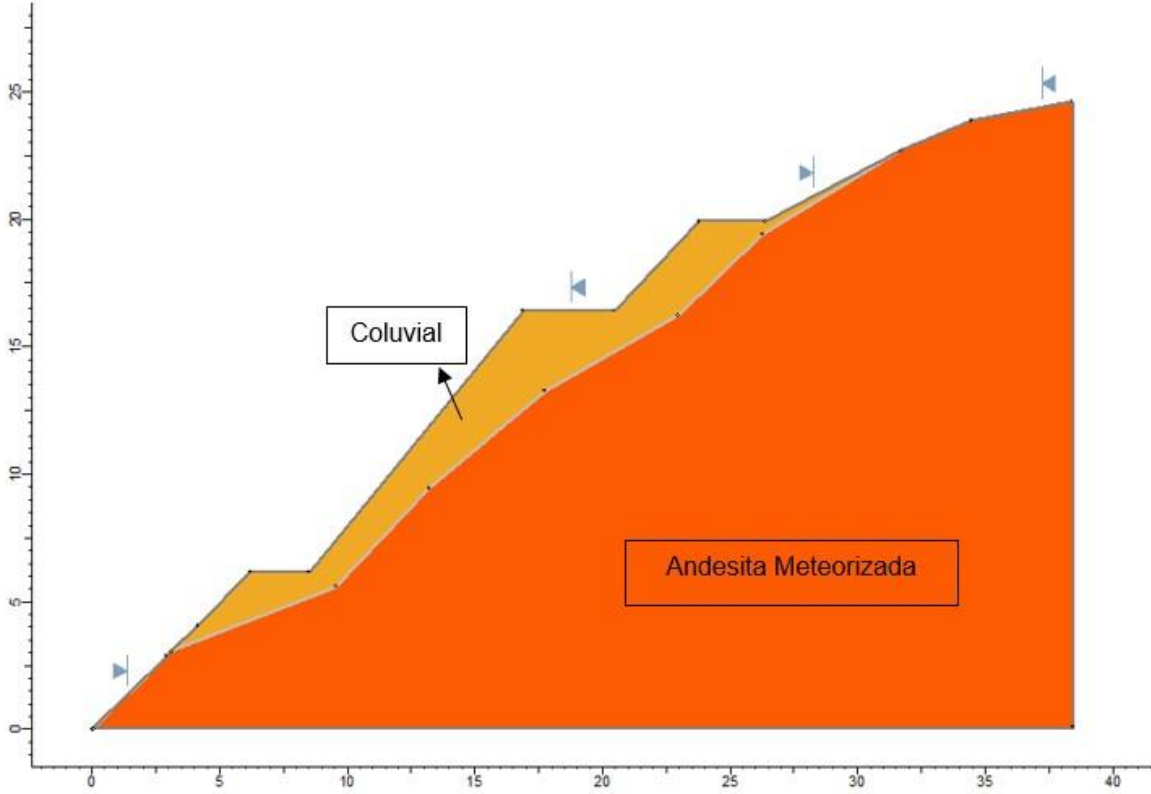
Tabla 9.

Factor de seguridad por cada método utilizado.

Método Utilizado	Factor de seguridad obtenido
Fellenius	1.228
Bishop Simplificado	1.276
Janbú Simplificado	1.215
Spencer	1.271

Nota: Detalle del factor de seguridad obtenido del modelamiento aplicado, de acuerdo a cada uno de los métodos usado. **Fuente:** Elaboración propia.

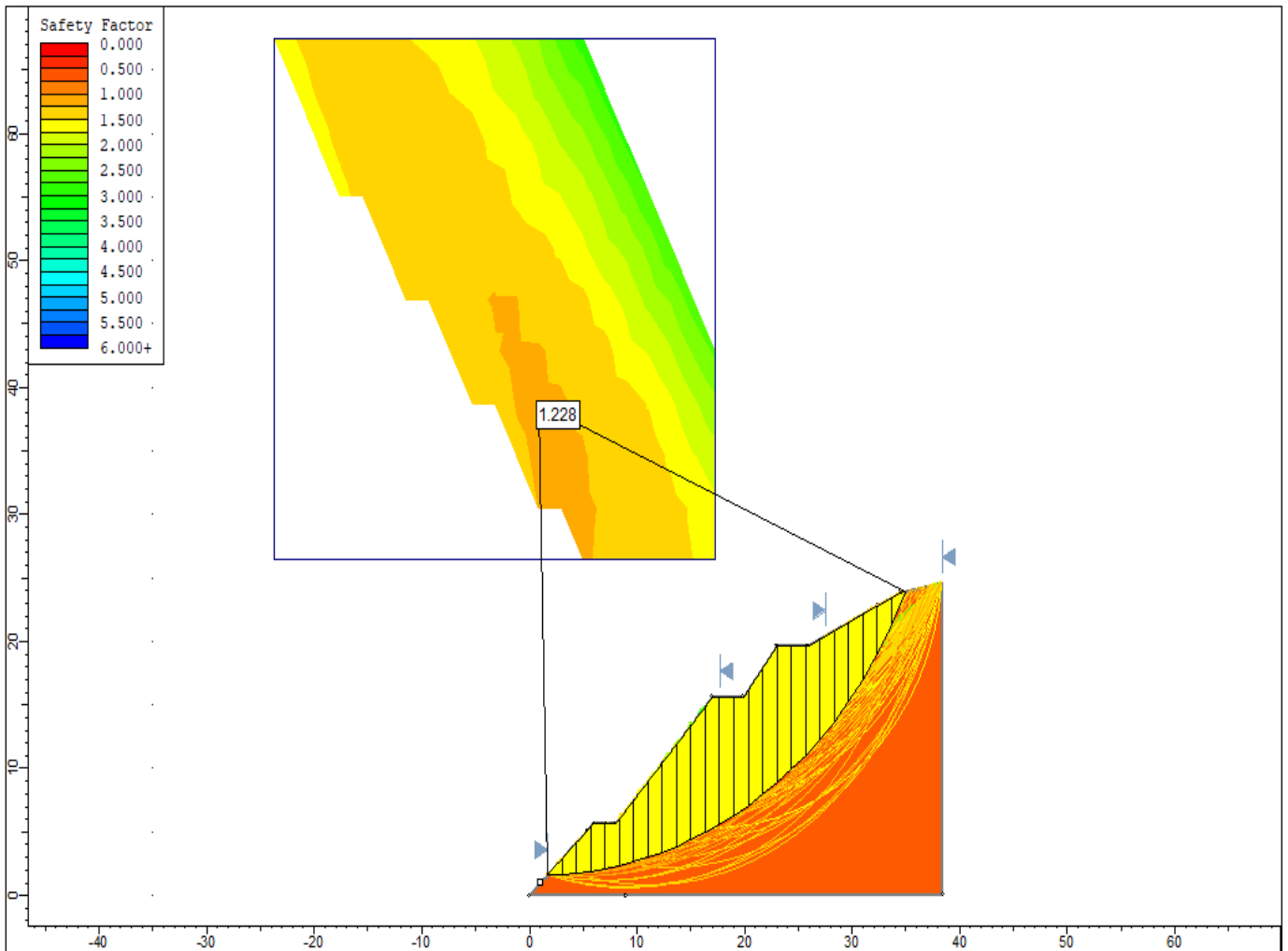
Figura 3.
Modelo del talud en Slide.



Nota: Modelamiento del talud mediante el Slide, representando la litología existente.
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 4.

Análisis del modelamiento, utilizando el método ordinario de Fellenius.

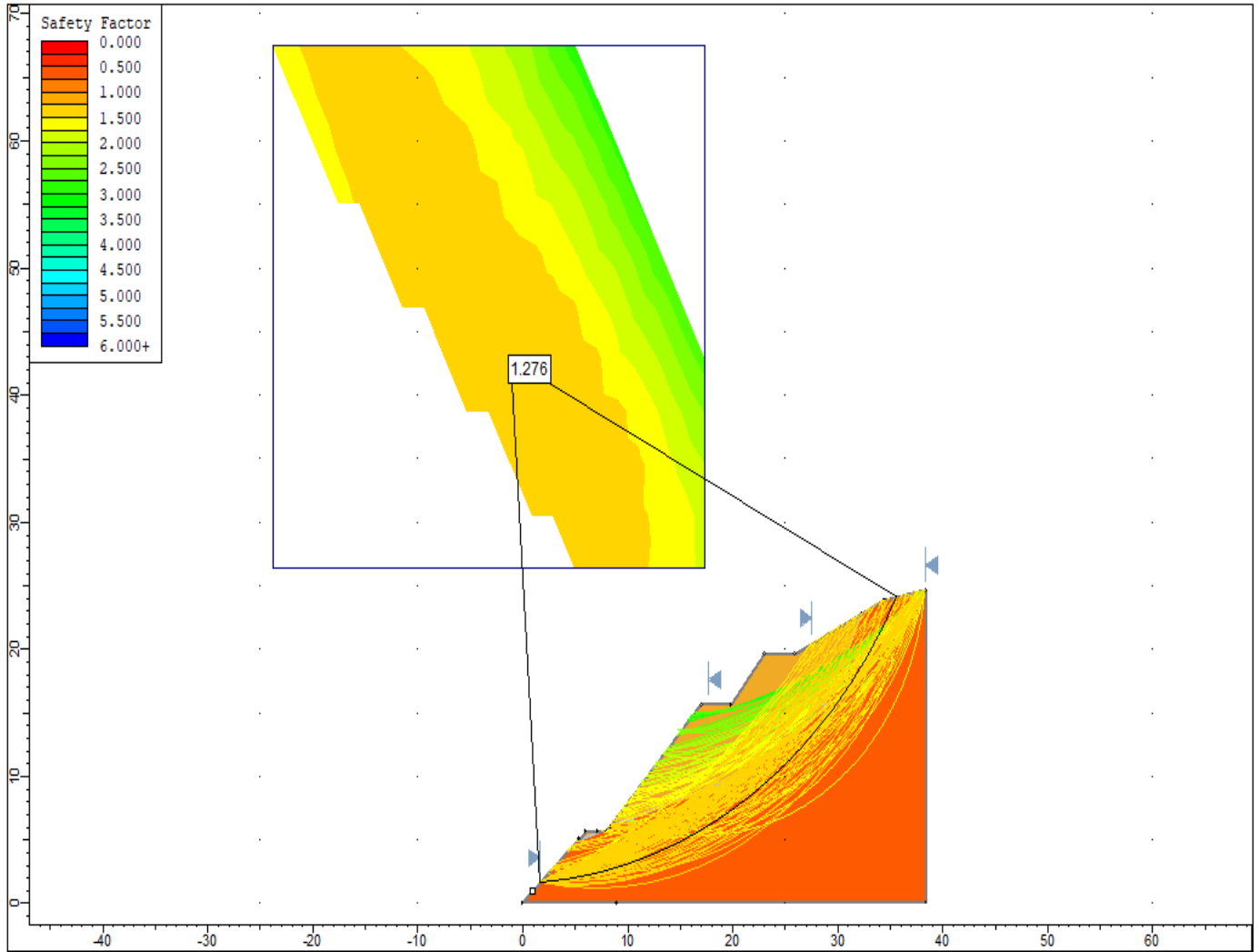


Nota. Método Ordinario de Fellenius. Fuente: Elaboración propia.

El análisis del método de Fellenius o método de las rebanadas o dovelas, nos muestra el cálculo de cada una de las dovelas; obteniendo un equilibrio de forma global. Este método nos muestra la relación que existe entre fuerzas o momentos actuantes, obteniendo un factor de seguridad de 1.228 por lo cual el talud no presenta un factor de seguridad en su estado actual ya que obtuvimos un factor por debajo de 1.5.

Figura 5.

Análisis de modelamiento, utilizando el método de Bishop simplificado.

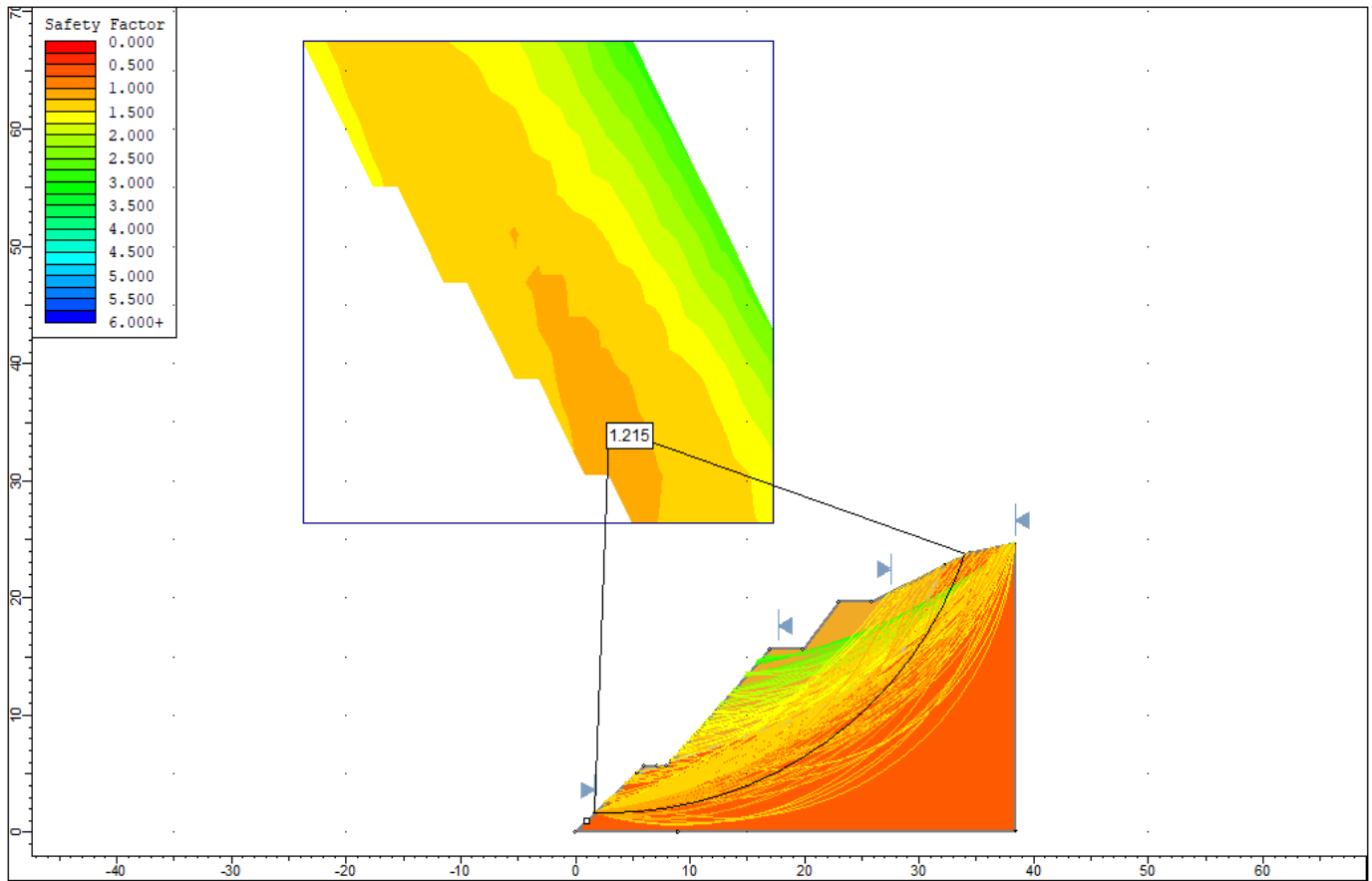


Nota: Método de Bishop simplificado. Fuente: Elaboración Propia.

En esta (Figura 4), se observa el análisis por el método de Bishop simplificado, equilibrio de momentos obteniendo el valor de seguridad de la superficie considerada, con un resultado de FS 1.276, con este resultado el valor obtenido está por debajo de 1.5 para ser un talud seguro. Para los datos de este análisis se tomaron las condiciones actuales del talud.

Figura 6.

Análisis de modelamiento, utilizando el método de Janbú Simplificado.

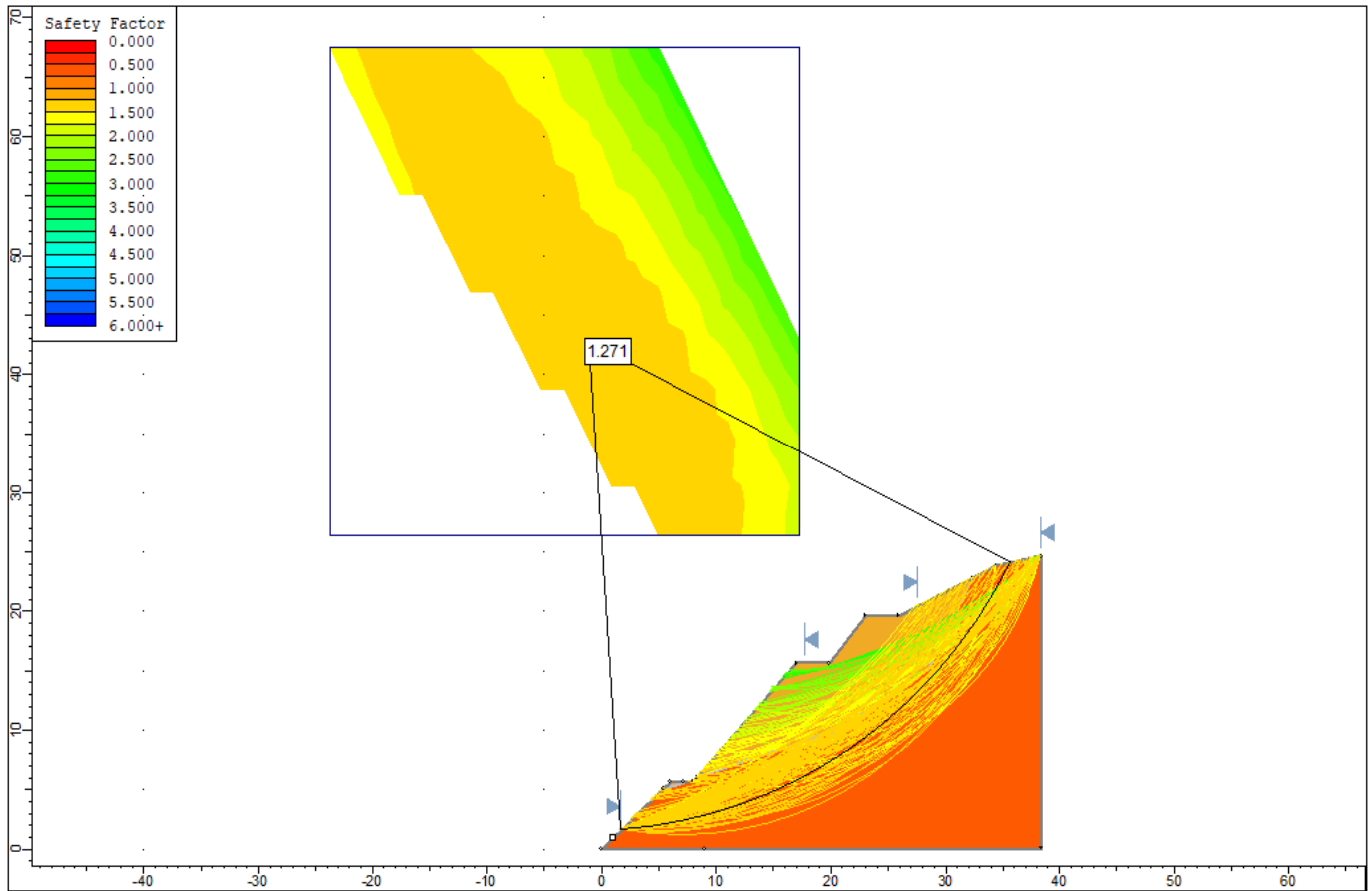


Nota: Método de Janbú Simplificado. Fuente: Elaboración propia.

En esta (Figura 5), se observa el análisis por el método de Janbú simplificado, este método nos presenta el equilibrio total de fuerzas, pero no de momentos a diferencia del anterior, con un resultado de FS 1.215, por lo tanto, no presenta un factor de seguridad ya que el valor obtenido está por debajo de 1.5.

Figura 7.

Análisis de modelamiento, utilizando el método de Spencer.



Nota. Método de Spencer. Fuente: Elaboración propia.

En esta (Figura 6), se observa el análisis por el método de Spencer, este método es el más aplicable ya que supone todas las fuerzas, dando un factor de seguridad de 1.271, demostrando así, que el talud analizado por los métodos citados, siguen siendo inestable; ya que los valores obtenidos corresponden a datos por debajo del valor de seguridad de referencia de 1.5.

11. Recomendaciones para la estabilización del talud.

Mediante los resultados obtenidos se plantea realizar un mejoramiento de acuerdo a diferentes métodos (Construcción de obras ingenieriles, modificación de la geometría del talud, etc.) para la estabilización del talud debido a la inestabilidad presente, tomando en cuenta las condiciones geológicas y geotécnicas del área.

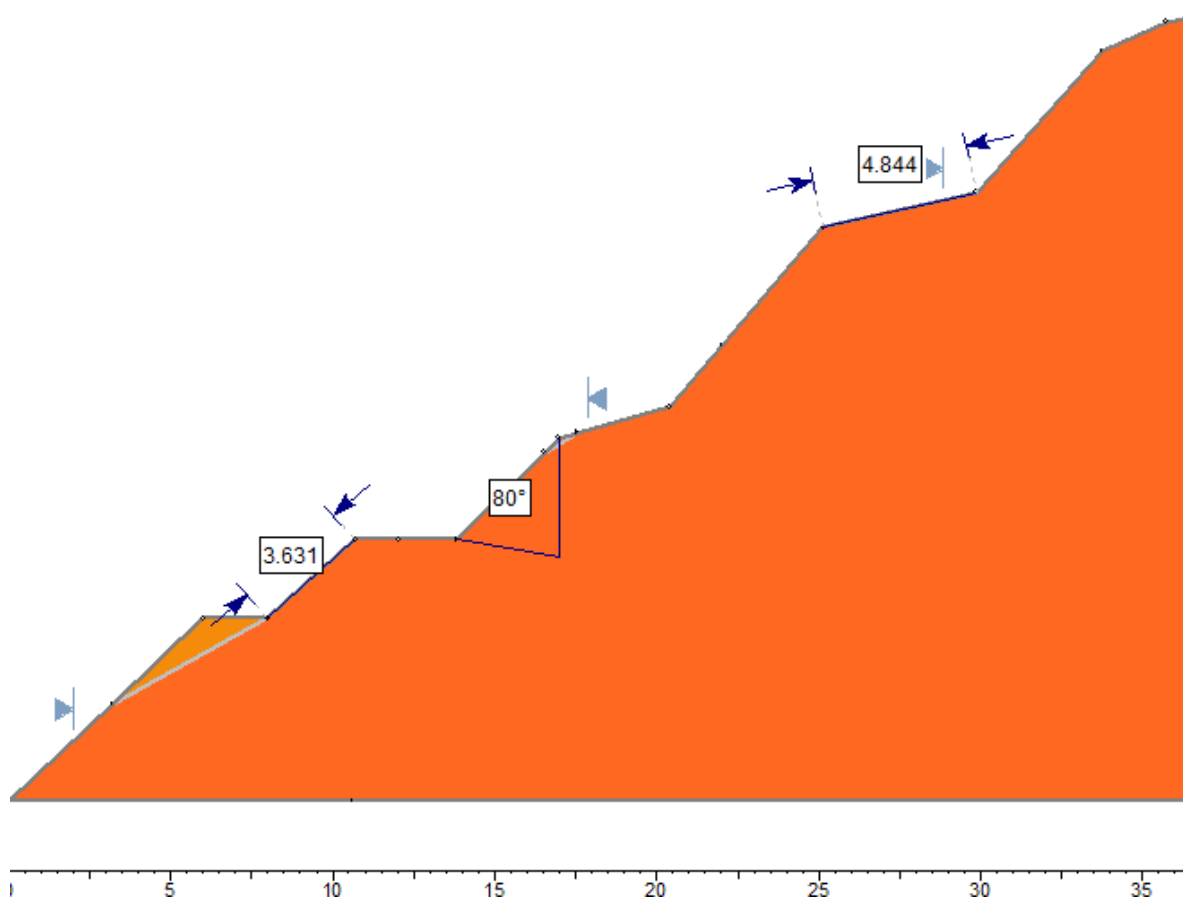
En la modificación de la geometría se utilizó el método de abatimiento logrando reducir la pendiente y el peso de los materiales. El abatimiento de taludes son los trabajos necesarios para mejorar la estabilidad de los cortes, mediante el corte y remoción de material para obtener un talud con menos inclinación que resulte estable (Figura 7).

Además, se recomienda la modificación de la geometría como: crear más bermas entre 3 a 4 metros, para reducir los niveles de altura entre las bermas ya existente, también se pueden aplicar métodos como la implementación de muros verdes, estos pueden construirse con pendientes variables de hasta 80° y sin limitaciones de alturas, con la parte frontal totalmente vegetalizada.

Con el software Slide se modificó la geometría de las secciones del talud, reduciendo la pendiente con ángulos de 80° entre bermas y un ángulo de reposo del talud de 33° y así se obtiene un factor de seguridad estable. Tal y como se demuestra en los métodos utilizados:

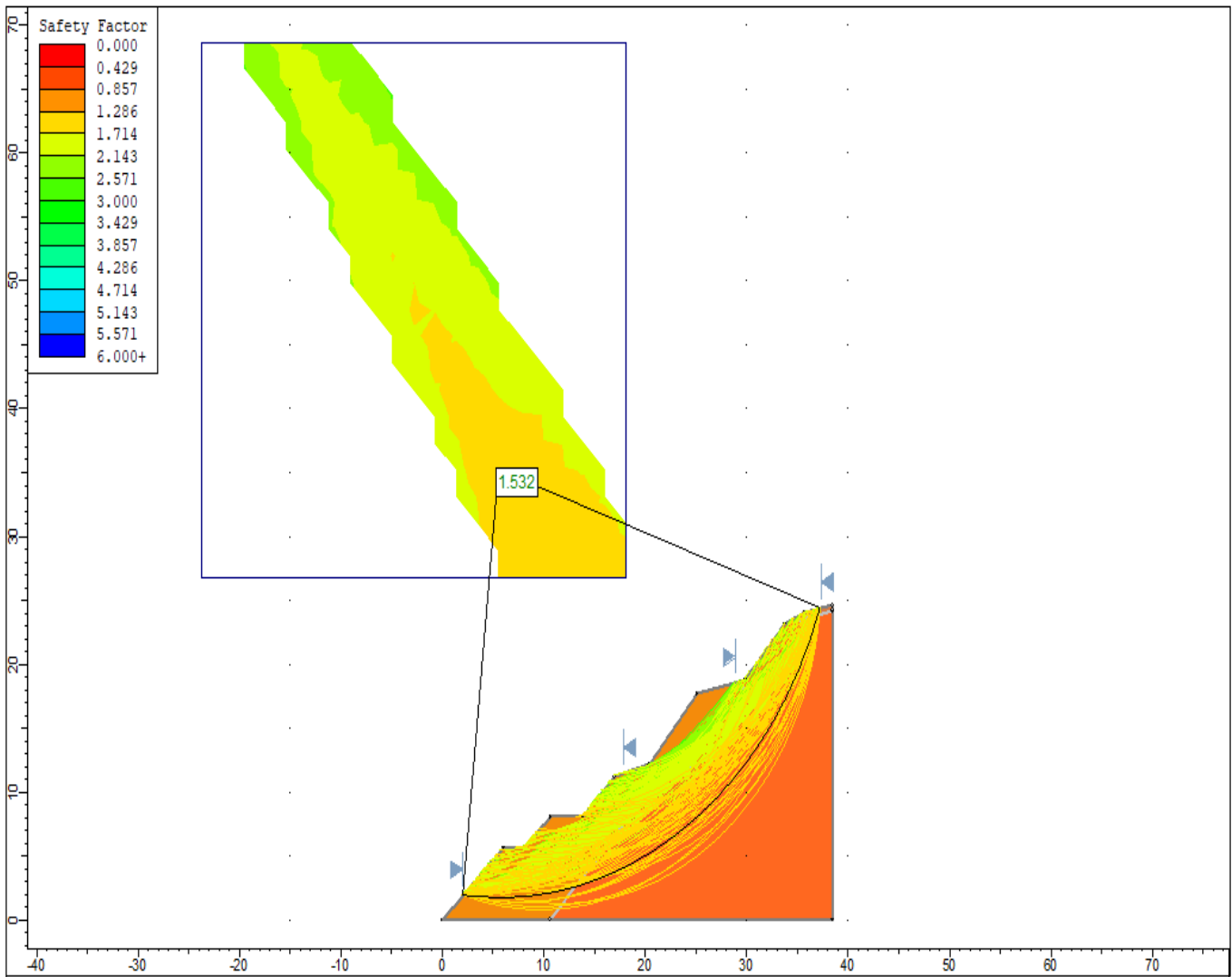
- Método Ordinario de Fellenius obtuvimos un factor de seguridad de 1.532 siendo un FS estable (Figura 8).
- Método Bishop Simplificado, obtuvimos un factor de seguridad de 1.639, para un talud estable (Figura 9).

Figura 8.
Modificación de modelo del talud.



Nota: Modificación geométrica del talud. Fuente: Elaboración Propia.

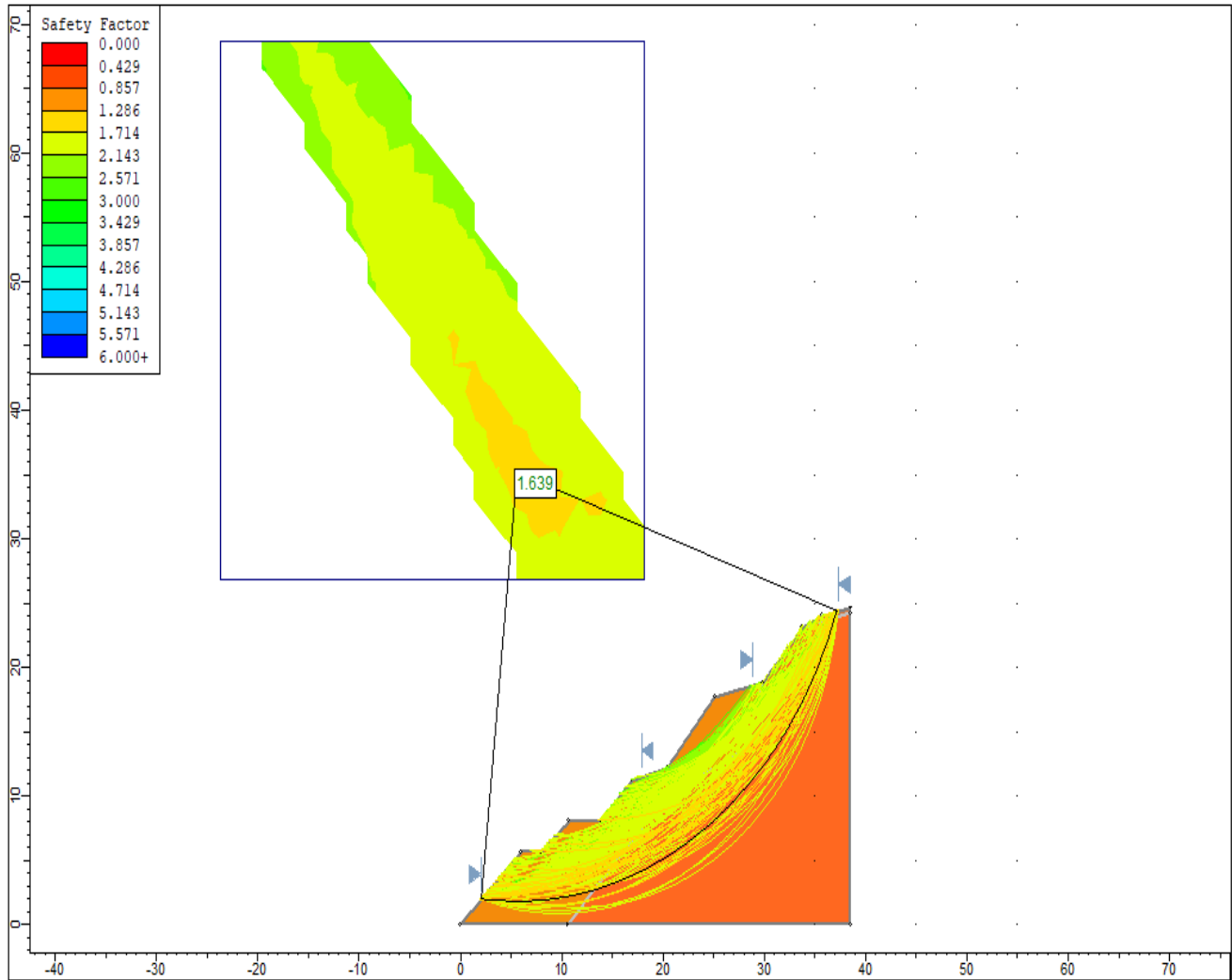
Figura 9.
Análisis de modelamiento, Método de Fellenius.



Nota: Análisis de factor de seguridad. Fuente: Elaboración propia.

Figura 10.

Análisis de modelamiento, Método de Bishop Simplificado.



Nota: Análisis de factor de seguridad. Fuente: Elaboración propia.

12. Discusión de resultados

Las muestras tomadas en campo junto a los ensayos de laboratorio fueron determinantes para definir la clasificación de suelos (SUCS) presentes en el área de estudio. Obteniendo suelos limosos de baja y alta plasticidad. Basándose en esta clasificación junto a otros ensayos, se determinaron otros parámetros importantes para determinar el FS del talud.

A partir de la obtención de los parámetros como ángulo de fricción, cohesión, densidad del suelo, el modelamiento del talud realizado con el Software Slide, y los análisis de los diferentes métodos de equilibrio propuestos, nos indican un FS por debajo de 1.5, lo cual corresponde como un talud inestable. Con el software Slide se modificó la geometría de las secciones del talud, reduciendo la pendiente con ángulos de 80° entre bermas y un ángulo de reposo del talud de 33° para obtener un FS más estable mayor a 1.5.

Se recomienda construcción de drenaje pluvial al pie del talud, también descapotar o modificar la geometría del talud, como la realización de más Bermas generando más niveles para aumentar su estabilización.

13. Conclusiones.

De acuerdo a los objetivos planteado y a la hipótesis, se concluye que:

- Las características geológicas del talud corresponden superficialmente de material coluvial con fragmentos de rocas angulares depositado a lo largo y ancho del talud producto de la meteorización, fragmentación, caída y transporte de materiales y una andesita relativamente meteorizada, de textura porfirítica del terciario conformando el resto de material del talud.
- Los resultados de las propiedades físico-mecánicas realizadas en laboratorio determino que ambas muestras corresponden a suelos arcilla con baja y alta plasticidad CL y CH, suelos que tienen una capacidad de retener agua y por ende aumentar el peso en las paredes del talud.
- Los factores condicionantes presentes en el área de estudio fueron la litología y geomorfología. Mientras que los factores desencadenantes principales se consideraron el clima y la actividad antrópica, el clima con una precipitación media anual de 3850 mm y en la actividad antrópica el circula miento vehicular sobre la carretera Nic.30.
- En el análisis mediante el software Slide, el talud fue modelado con las dimensiones tomadas en el lugar. Teniendo la clasificación de los materiales presentes que se obtuvieron a través de los datos de laboratorio y recopilación de documentos, se identificaron propiedades de suelo estándar que fueron ingresados al programa.
- Los valores de factor de seguridad utilizando los métodos de: Ordinario Fellenius, Bishop simplificado, Janbu simplificado y Spencer son parecidos. Siendo el FS más alto de 1.276 y el más bajo de 1.215, el valor aceptable para talud estable corresponde a 1.5. Bajo estos parámetros se concluyó que el talud es inestable.

14.Recomendaciones.

- Realizar un estudio geotécnico integral donde se incluyan estudios de SPT en diverso punto del talud, así mismo; en diferentes tramos sobre la NIIC-30, para actualizar información más precisa del comportamiento actual y realizar un análisis más detallado de los parámetros físico-mecánicos del suelo y subsuelo del talud.
- Desarrollar estudios geofísicos de resistividad eléctrica en la zona de estudio y sobre la carretera NIC30 para analizar la anomalía presente en el subsuelo.
- Utilización de estaciones totales en los estudios similares a fin de obtener datos con mayor precisión sobre la geometría del talud.
- Se recomienda la construcción de un sistema de drenaje pluvial al pie del talud para evitar la saturación del suelo evitando que surja un efecto desencadenante o establecer sistema de monitoreo de movimientos remotos.
- A la alcaldía dar un seguimiento e implementación de medidas de prevención realizando obras de contención en el talud, ya que la NIC-30 es la vía de acceso principal de Rosita-Bonanza por lo que transitan un índice alto de vehículos tanto livianos como pesados y así mitigar el riesgo ante un evento de deslizamiento.
- Utilizar pluviómetros en el área, para obtener datos precisos de las precipitaciones al fin de recolectar una mayor cantidad de datos que sirvan para generar una correlación entre las precipitaciones del momento, las precipitaciones normales, porcentaje de humedad y escorrentías a lo largo de todo el talud.

15. Referencias

- Alcántara, I., & Echevarría, A. (2001). *Cartilla de Diagnóstico Preliminar de Inestabilidad de Laderas*. México, D.F: Secretaría de Gobernación .
- Alvarado , E. (2016). *Estudio de Zonificación Geológica por Fallamiento Superficial: Proyecto Instalación de Antena de Telefonía Celular Bonanza E-Código TNC15003, Región Autónoma del Caribe Norte*. Telefonía Celular de Nicaragua S.A.
- Álvarez, Á. L. (2015). *Simulación físico numérica para evaluar el comportamiento sísmico resistente en presas de tierra*. . Convención Cubana de Ciencias de la Tierra GEOCIENCIAS.
- Brabb, C. E. (1991). *We Wordl Landslide Problem*. Servicio Geológico de los Estados Unidos. doi:<https://doi.org/10.18814/epiiugs/1991/v14i1/008>
- Contreras , C. (2022). *Proyecto Rosita Bonanza* . Bonanza .
- Corominas. (1987). *Criterios para la confección de mapas de peligrosidad de movimientos de ladera. Riesgos Geológicos, serie medioambiental, curso de Riesgo Geológicos*. Madrid: IGME.
- Cruden, D. M. (1991). *A Simple Definition of Landslide*. Bulletin of the International Association of Engineering Geology 43. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/BF02590167>
- Cruz, L., Bonilla , G., Chavez, G., Castellón , A., Luna, E., Espinoza, L., . . . Fernández, M. (2005). *Mapas de Amenazas por Inestabilidad de Laderas: Recomendaciones Técnicas para su Elaboración*. Managua: Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales (Ineter) & Agencia Suiza para el Desarrollo y Cooperación (Cosude).

- Cuanalo, O. A., Oliva, A. O., & Gallardo, R. (2011). Inestabilidad de laderas: Influencia de la actividad humana. *Researchgate*, 39-41.
- Cuenalo, O. A., González, O., & Gallardo, R. (2011). *Inestabilidad de laderas: Influencia de la actividad humana*.
- Del Guice, D. (1960). *Apuntes sobre la Geología de Nueva Segovia*. Servicio Geológico Nacional, Boletín N° 4.
- Dengo, G. (1983). *Mid America: Tectonic Setting For The Pacific Margin From Southern*. Guatemala: Centros de Estudios Geológicos de América Central.
- Diaz. (2015). *Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de calculo*. Bogota.
- Diaz, W. A. (2015). *Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memorias de calculo*. Bogota.
- Ehrenborg, J. (1968). *A New Stratigraphy for Tertiary Volcanic Rocks of the Nicaragua Highland*. Geological Society of America Bulletin, 830-842.
- Ferrez W., R. (1991). *Evolución Geoestructural del Neogeno de Nicaragua*. I Congreso Nicaragüense de Geología.
- Frischbutter, A. (2002). *Structure of the Managua Graben, Nicaragua, from Remote (Vol. 41)*. Geofisical International.
- Gallegos, F., Leal, J., Rojas, E., & Mora. (2012). *Efecto de la succión en la estabilidad de un talud de arena limosa*. IIT-271-281.
- Garayar, J. (. (1971). *Geología y Depósitos Minerales de una parte de las Mesas de Estelí, Cordillera Norte y Montañas de Dipilto*. Catastro e Inventario de Recursos Naturales.
- Gómez , G. F. (2018). *Análisis de Riesgo por Inestabilidad de Taludes en la Subcuenca Río Canipaco, Tramo Distrito de Colca, Provincia de Huanca, Departamento de Junín*. . Lima, Perú: Universidad Nacional Federico Villarreal. .

- Guada, & Mesa. (2013). *Métodos empírico-mecanista empleados para el cálculo del factor de seguridad en la estabilidad de taludes*. LH:978-9.
- HEMCO Mineros de Nicaragua. . (2021). *Estudio de zonificación geológica por fallamiento superficial*. . HEMCO-Coseción Minera Bonanza.
- INETER. (2000). *Sismicidad en Nicaragua/Placas Tectónicas*. Webserver2.Ineter.
- INIDE. (2008). *Bonanza en cifras*. Inide.gob.ni.
- Kuang, J. (1971). *Geología de la Costa del Pacifico de Nicaragua*. Catastro e Inventario de Recursos Naturales.Open File Report N° 3.
- McBirney, A. &. (1965). *Volcanic History of Nicaragua*. Uniiversity Of California. Publications in Geological Sciences. (Vol.55).
- Miller, H. H., & Hugh, K. (1971). *Reconnaissance geologic map of Mosquitia region, Honduras and Nicaragua Caribbean coast, in Transactions of the Caribbean*. . Geological Conference. V-5.
- Montero, W., & Rojas, W. (2014). *Las fallas de Purires y Picagres, y su relación con la secuencia sísmica de Puriscal de 1990*. Revista Geológica de América Central, 36-69.
- Morales, H., & Valiente, M. (2017). *Evaluación Geotecnica de Inestabilidad de Talúd*. Universidad de Cartagena.
- Muñoz , A. (2021). *Estudio de Zonificación Geológica por Fallamiento Superficial*. . Telefonía Celular de Nicaragua S.A.
- Noriega, I., Alcántara, I., Echevarría, A., Gutiérrez, C., Domínguez, I., & Noriega, I. (2001). *Inestabilidad de Laderas* (Vol. 1). México, Distrito Federal : Centro Nacional de Prevención de Desastres, Secretaría de Gobernación.
- Ortiz, W., & Portilla, E. (2014). *Estudio de estabilidad de los taludes de las presas del proyecto Pacalori, teniendo en cuenta la acción sísmica*. Universidad de cuenca; facultad de ingeniería. .

- Paz Rivera, N. (1964). *Reconocimiento geológico de la costa del pacífico de Nicaragua*. Boletín del Servicio Geológico Nacional N° 8.
- Soto L. , J. E. (2018). *Análisis de la Peligrosidad Frente a los Movimientos de Ladera en la Cuenca de Loja (Ecuador)*. Granada, España: Universidad de Granada-España.
- Suarez, J. (1998). *Deslizamiento y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. . Colombia: Ingeniería de Suelos. Ltda. .
- Suarez, J. (1998). *Estabilidad de talud en zonas tropicales*. Ingeniería de suelos Ltda.
- TORRECIM. (2016). *Estudio de mecánica de suelos (cimentación): Bonanza E (TCN15003) Operador Claro. B°. Copitasandro, contigo a la disco El Encuentro M/D, Bonanza RAAN*. . CMW Consultores.
- TORRECOM PARTNERS . (2017). *Estudio de Zonificación Geológica por Fallamiento Superficial*. . TORRECOM PARTNERS LLC T CIA, LTDA.
- Varnes, D. J., & Cruden, D. M. (1993). *Landslide types and Processes*. . Alberta, Canadá: National Academy of Sciences.
- Velásquez, G., Alcántara, I., Hernández, J. R., & Garnica , R. (2013). *La zonificación morfoestructónica-volcánica en el análisis morfoestructural del relieve: el caso del municipio de Managua, Nicaragua*. Mexico: Investigaciones Geográficas, Boletín de Geografía UNAM. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/287489213_La_zonificacion_morfotectonica-volcanica_en_el analisis_morfoestructural_del_relieve_el_caso_del_municipio_de_Managua_Nicaragua
- Zhao, Z., Wang, W., & Yan , J. (2014). *Análisis cuantitativo de la influencia de los parámetros en la estabilidad de la calzada de carbón sujeta por roca blanda superior e inferior con espesor adicional*. . Revista Internacional de Modelado, Simulación y Computación Científica.

Zoppis Bracci, L., & Del Guidice, D. (1958). *Geología de la costa del pacífico de Nicaragua*. . Informe Ministerio de Economía, Boletín del Servicio Geológico Nacional de Nicaragua.

16. Anexos.

Anexo 1. Tabla de precipitaciones anuales del municipio de Bonanza

Código	Estación	Tipo	Coordenada		Coordenada			Elevación			Método	
10	Bonanza	PV	da-X	da-Y	da-X	da-Y	(MSNM)	288 msnm			Correlación	Lineal
Año	ENE	FE	MA	AB	MA	JU	JU	AGO	SE	OC	NO	DI
		B	R	R	Y	N	L		P	T	V	C
1971	131	118	57	82	85	572	51	243	32	23	13	22
							2		2	6	0	9
1972	209.3	10	34.	104	345	178	50	320.6	30	25	26	17
		9.1	8		.4	.8	8.4		5.6	6.8	3.7	1
1973	111.7	28.	39.	12.	353	431	51	257.3	27	49	26	98.
		6	5	8	.3	.3	6.9		9.5	1.9	8.6	2
1974	261.6	12	116	102	222	286	42	334	14	33	12	16
		5.6	.3		.8	.3	6.3		6.3	2.5	5	8.1
1975	270.3	39	8.4	65.	64.	347	22	324.5	45	43	36	13
				7	1	.8	1.3		3.2	7.8	5.4	4.1
1976	207.1	50.	41.	70	229	423	67	323.5	24	13	36	19
		3	8		.2		5		6.6	4.2	0.3	4.7
1977	52.6	93.	7.8	184	236	597	32	278.2	22	21	26	19
		7	.7		.7		8.6		8.3	6.9	7.6	3.3
1978	85.8	61.	116	51.	385	381	60	419	25	26	23	24
		6	.2	8	.7		3.8		9.9	6.9	6.3	0.7
1979	69.4	66.	152	230	184	533	32	530.3	33	33	15	22
		3	.8		.1	.6	3		4.2	3.9	4.5	1.8
1980	122.4	58.	37.	102	400	462	45	362.6	56	38	19	19
		4	8	.8	.2	.7	1.9		6.5	0.6	7.9	7
1981	20.1	23	70.	265	195	624	36	443.4	30	37	94.	25
		0.4	6	.6	.1	.8	1.1		1	8.3	1	3.3
1982	161.9	20	58	72.	573	218	47	383.5	37	23	12	19
		1.9		8	.1	.9	2.1		0.8	2.9	1.4	9.3
1983	99.5	42.	0	7	93.	235	56	397.9	43	42	18	26
		5			9	.5	4.1		6.8	4	4.5	4.3
1984	153.8	97.	85.	8.7	159	365	38	476.8	29	42	14	19
		8	3		.3	.9	3		3.9	8.4	4.2	2.5
1985	106.3	15	121	66.	177	528	38	301.4	12	8.4	19	18
		9.5	.1	2	.3	.8	2.4		9.8		0.4	8.2
1986	123.6	38.	65.	64.	269	481	52	549.1	35	29	23	13
		4	4	2	.8	.4	1.7		9.2	4	9.4	8.5
1987	80.8	10.	32.	44	249	579	71	478.6	41	18	17	16
		4	4		.4	.9	5.9		2.8	2.1	3.9	7.2
1988	208.3	21	10.	0	192	429	34	517.9	411	46	17	17
		8.6	3		.1	.1	9.1		.8	4.5	6.4	1.5
1989	283.3	16	99.	78.	205	466	45	80.1	21	22	23	15
		8.3	6	5	.5	.4	4.4		8.0	5.9	9.9	6.1
1990	242.1	98.	37.	103	166	303	27	385.3	27	31	25	15
		7	1	.4	.2	.1	6.2		0.8	6.0	0.6	4.9

199	89.3	33.	22.	30.	181	419	27	376.1	38	26	25	25
1		9	0	3	.1	.6	1.7		7.3	8.1	3.6	3.5
199	31.7	116	34	62	19.	545	63	500.1	42	25	34	24
2		.4			2		6.6		2.7	6.3	4.3	2.4
199	122.7	96.	41.	35.	273	566	29	670	41	34	26	15
3		5	2	5	.5	.8	3.5		2.1	2.4	9.6	6.4
199	181.1	64.	10.	18.	269	300	28	421.3	30	21	27	19
4		1	9	3	.7	.8	3.9		4.5	2	5.7	9.1
199	76.9	80.	37.	92.	154	378	52	217.4	25	32	18	17
5		3	3	8	.8	.9	7.5		4.1	4.6	2.8	9.4
199	123.5	111	42.	65.	494	216	611	330.1	28	16	35	13
6		.7	8	2	.1	.3	.4		9.8	9.5	2.7	6.9
199	169.4	14	93.	28.	10.	430	44	316.4	25	23	32	33.
7		4.7	2	7	4	.7	6.2		7.8	2.6	3.3	6
199	60.4	0	112	6.1	53.	227	34	158.3	99.	32	18	14
8			.4		8	.6	4.5		5	8	2.8	0.8
199	131.9	111	79.	10.	135	358	34	353.2	21	31	10	81.
9		.9	2	3	.4	.5	7.7		7.2	5.8	1.1	4
200	103.3	83.	46.	63.	266	257	29	445.2	23	23	14	117
0		3	9	3	.9	.1	6.3		0.4	4.6	1.8	.7
200	84.3	10	7.4	42.	153	222	33	508.8	36	48	118	21
1		3.3		1	.2	.5	9.4		3.2	2.4	.3	3.6
200	169.1	111	71.	186	455	477	41	419.9	18	43	17	22
2		.2	9	.4	.6	.5	8.5		1.0	6.1	7.6	4.6
200	124.9	63.	6.2	43.	298	255	59	259.6	41	28	38	62.
3		9		3	.2	.8	3.3		3.0	9.8	5.8	0
200	105.3	66.	144	26.	423	390	32	371.3	37	22	18	14
4		6	.5	0	.8	.2	7.0		5.4	9.8	2.8	6.8
200	177.0	21.	128	3.5	259	465	48	364.9	25	25	42	19
5		4	.5		.7	.7	5.1		6.3	4.8	9.2	9.4
200	223.7	110	76.	75.	104	395	53	345.0	34	30	19	37
6		.4	1	1	.9	.0	2.6		7.3	2.8	5.7	2.5
200	87.0	18.	192	72.	149	257	34	352.9	56	18	37	69.
7		5	.4	6	.6	.4	7.0		1.1	4.0	2.1	4
200	223.4	17	83.	75.	182	536	49	265.1	32	36	13	19
8		2.4	6	3	.7	.4	5.7		6.2	2.5	1.4	1.8
200	124.5	20	31.	123	302	249	56	391.2	35	33	33	10
9		0.0	7	.2	.5	.3	3.3		5.7	8.1	4.1	3.2
201	137.2	20.	12.	107	537	253	53	393.8	37	13	20	36.
0		2	2		.2	.3	4.7		7.4	8.4	5.2	7

Anexo 2 Documentación fotográfica



Anexo 2.1 Toma de muestras en sitio de estudio.



Anexo 2.2 Cuarteo de muestra para preparación de ensayos en laboratorio.


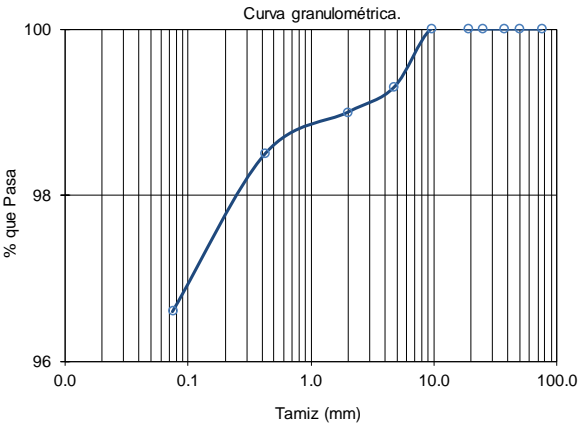



Anexo 2.3 Fotografías panorámicas del talud.


Anexo 3. Memoria de cálculos AG y LA, muestra 1

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA UNAN - MANAGUA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONTRUCCIÓN ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO Y LÍMITES DE ATTERBERG													
Proyecto: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.30 EN EL KM 405, COMUNIDAD DE AGUAS CALIENTE, MUNICIPIO DE BONANZA, DEL DEPARTAMENTO DE LA REGION AUTONOMA DE LA COSTA CARIBE NORTE (RACCN).													
Muestra de talud No. 1 Descripción de material: Limo arenoso, color marron claro.	Fecha: 13/10/2023												
PESO DE MUESTRA PARA GRANULOMETRIA													
Identificación de Tara: _____	Peso de Tara = 0.0 g												
Tara + Material humedo = 1,602.6 g	P. seco lavado												
Material seco sucio = 1,110.6 g	97.6 g												
CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA MUESTRA													
Identificación de Tara: _____	Peso de Tara = 70.5 g												
Tara + Material humedo = 281.3 g	w = 44.3%												
Tara + Material seco = 216.6 g													
LIMITES DE ATTERBERG													
LIMITE LIQUIDO													
17 golpes	L.Liquido = 49												
Id. Tara: 1	P. Tara = 26.72												
T+M.h = 40.25	w = 51.3%												
T+M.s = 35.66													
24 golpes	L.Liquido = 50												
Id. Tara: 2	P. Tara = 26.76												
T+M.h = 45.77	w = 50.3%												
T+M.s = 39.41													
26 golpes	L.Liquido = 48												
Id. Tara: 3	P. Tara = 26.50												
T+M.h = 39.72	w = 48.2%												
T+M.s = 35.42													
LIMITE PLASTICO													
Id. Tara: 4	P. Tara = 26.99												
T+M.h = 32.19	w = 39.8%												
T+M.s = 30.71													
Id. Tara: 5	P. Tara = 27.01												
T+M.h = 30.15	w = 38.9%												
T+M.s = 29.27													
LIMITE LIQUIDO = 49													
INDICE PLASTICO = 10													
CLASIFICACION HRB A-5 (14)													
<i>Módulo de Plásticidad = 948</i>													
CLASIFICACION SUCS ML													
GRAFICA PARA LIMITE LIQUIDO													
Indice de compresión $C_c = 0.35$ Compresibilidad media													
Curva granulométrica.													
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 33%; border: none;">D 10 = No Aplica</td> <td style="width: 33%; border: none;">D 30 = No Aplica</td> <td style="width: 33%; border: none;">D 60 = No Aplica</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Indeterminado debe ser > 1 y < 3</td> <td style="border: none;">Indeterminado debe ser > 6</td> <td style="border: none;"></td> </tr> <tr> <td style="border: none;">Fragmentos de Roca = 0.0%</td> <td style="border: none;">Grava = 3.2%</td> <td style="border: none;">Arena = 5.6%</td> </tr> <tr> <td style="border: none;"></td> <td style="border: none;">Limo o Arcilla = 91.2%</td> <td style="border: none;"></td> </tr> </table>		D 10 = No Aplica	D 30 = No Aplica	D 60 = No Aplica	Indeterminado debe ser > 1 y < 3	Indeterminado debe ser > 6		Fragmentos de Roca = 0.0%	Grava = 3.2%	Arena = 5.6%		Limo o Arcilla = 91.2%	
D 10 = No Aplica	D 30 = No Aplica	D 60 = No Aplica											
Indeterminado debe ser > 1 y < 3	Indeterminado debe ser > 6												
Fragmentos de Roca = 0.0%	Grava = 3.2%	Arena = 5.6%											
	Limo o Arcilla = 91.2%												


Anexo 4. Memoria de cálculos AG y LA, muestra 2

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA UNAN - MANAGUA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONTRUCCIÓN ANALISIS GRANULOMETRICO Y LIMITES DE ATTERBERG																																																																																																																
Proyecto:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.30 EN EL KM 405, COMUNIDAD DE AGUAS CALIENTE, MUNICIPIO DE BONANZA, DEL DEPARTAMENTO DE LA REGION AUTONOMA DE LA COSTA CARIBE NORTE (RACCN).																																																																																																															
Muestra de talud No. 2 Descripción de material:	Limo elástico arenoso, color rojo marrón claro.		Fecha: 13/10/2023																																																																																																													
PESO DE MUESTRA PARA GRANULOMETRIA		CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA MUESTRA																																																																																																														
Identificación de Tara:	Peso de Tara = 0.0 g		Identificación de Tara:																																																																																																													
Tara + Material humedo = 1,666.1 g	P. seco lavado = 40.4 g		Peso de Tara = 70.8 g																																																																																																													
Material seco sucio = 1,176.6 g			Tara + Material humedo = 285.0 g																																																																																																													
			Tara + Material seco = 222.0 g																																																																																																													
			w = 41.6%																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Tamiz</th> <th rowspan="2">Retenido Acumulativo</th> <th rowspan="2">% Retenido Acumulativo</th> <th rowspan="2">% que Pasa</th> </tr> <tr> <th>Pulg.</th> <th>mm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3"</td><td>75.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100</td></tr> <tr><td>2"</td><td>50.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100</td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>37.5</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100</td></tr> <tr><td>1"</td><td>25.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9.50</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>100</td></tr> <tr><td>No. 4</td><td>4.75</td><td>7.9</td><td>0.7</td><td>99</td></tr> <tr><td>No. 10</td><td>2.00</td><td>12.2</td><td>1.0</td><td>99</td></tr> <tr><td>No. 40</td><td>0.425</td><td>18.1</td><td>1.5</td><td>99</td></tr> <tr><td>No. 200</td><td>0.075</td><td>40.0</td><td>3.4</td><td>97</td></tr> <tr><td colspan="2">Fondo (pasa tamiz No. 200) =</td><td>40.3</td><td>Precisión =</td><td>-0.3</td></tr> <tr><td colspan="2">D 50 =</td><td colspan="3">D 90 =</td></tr> </tbody> </table>		Tamiz		Retenido Acumulativo	% Retenido Acumulativo	% que Pasa	Pulg.	mm						3"	75.0	0.0	0.0	100	2"	50.0	0.0	0.0	100	1 1/2"	37.5	0.0	0.0	100	1"	25.0	0.0	0.0	100	3/4"	19.0	0.0	0.0	100	3/8"	9.50	0.0	0.0	100	No. 4	4.75	7.9	0.7	99	No. 10	2.00	12.2	1.0	99	No. 40	0.425	18.1	1.5	99	No. 200	0.075	40.0	3.4	97	Fondo (pasa tamiz No. 200) =		40.3	Precisión =	-0.3	D 50 =		D 90 =			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2">LIMITES DE ATTERBERG</th> </tr> <tr> <th colspan="2">LIMITE LIQUIDO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>28 golpes</td> <td>L.Liquido = 53</td> </tr> <tr> <td>Id. Tara: 8</td> <td>P. Tara = 26.18</td> </tr> <tr> <td>T+M.h = 38.05</td> <td rowspan="2">w = 51.8%</td> </tr> <tr> <td>T+M.s = 34.00</td> </tr> <tr> <td>22 golpes</td> <td>L.Liquido = 54</td> </tr> <tr> <td>Id. Tara: 9</td> <td>P. Tara = 26.46</td> </tr> <tr> <td>T+M.h = 40.39</td> <td rowspan="2">w = 54.8%</td> </tr> <tr> <td>T+M.s = 35.46</td> </tr> <tr> <td>19 golpes</td> <td>L.Liquido = 52</td> </tr> <tr> <td>Id. Tara: 10</td> <td>P. Tara = 25.84</td> </tr> <tr> <td>T+M.h = 40.25</td> <td rowspan="2">w = 53.6%</td> </tr> <tr> <td>T+M.s = 35.22</td> </tr> <tr> <td colspan="2">LIMITE PLASTICO</td> </tr> <tr> <td>Id. Tara: 11</td> <td>P. Tara = 26.74</td> </tr> <tr> <td>T+M.h = 31.30</td> <td rowspan="2">w = 38.6%</td> </tr> <tr> <td>T+M.s = 30.03</td> </tr> <tr> <td>Id. Tara: 12</td> <td>P. Tara = 25.93</td> </tr> <tr> <td>T+M.h = 29.97</td> <td rowspan="2">w = 42.8%</td> </tr> <tr> <td>T+M.s = 28.76</td> </tr> </tbody> </table>		LIMITES DE ATTERBERG		LIMITE LIQUIDO		28 golpes	L.Liquido = 53	Id. Tara: 8	P. Tara = 26.18	T+M.h = 38.05	w = 51.8%	T+M.s = 34.00	22 golpes	L.Liquido = 54	Id. Tara: 9	P. Tara = 26.46	T+M.h = 40.39	w = 54.8%	T+M.s = 35.46	19 golpes	L.Liquido = 52	Id. Tara: 10	P. Tara = 25.84	T+M.h = 40.25	w = 53.6%	T+M.s = 35.22	LIMITE PLASTICO		Id. Tara: 11	P. Tara = 26.74	T+M.h = 31.30	w = 38.6%	T+M.s = 30.03	Id. Tara: 12	P. Tara = 25.93	T+M.h = 29.97	w = 42.8%	T+M.s = 28.76
Tamiz		Retenido Acumulativo	% Retenido Acumulativo				% que Pasa																																																																																																									
Pulg.	mm																																																																																																															
3"	75.0	0.0	0.0	100																																																																																																												
2"	50.0	0.0	0.0	100																																																																																																												
1 1/2"	37.5	0.0	0.0	100																																																																																																												
1"	25.0	0.0	0.0	100																																																																																																												
3/4"	19.0	0.0	0.0	100																																																																																																												
3/8"	9.50	0.0	0.0	100																																																																																																												
No. 4	4.75	7.9	0.7	99																																																																																																												
No. 10	2.00	12.2	1.0	99																																																																																																												
No. 40	0.425	18.1	1.5	99																																																																																																												
No. 200	0.075	40.0	3.4	97																																																																																																												
Fondo (pasa tamiz No. 200) =		40.3	Precisión =	-0.3																																																																																																												
D 50 =		D 90 =																																																																																																														
LIMITES DE ATTERBERG																																																																																																																
LIMITE LIQUIDO																																																																																																																
28 golpes	L.Liquido = 53																																																																																																															
Id. Tara: 8	P. Tara = 26.18																																																																																																															
T+M.h = 38.05	w = 51.8%																																																																																																															
T+M.s = 34.00																																																																																																																
22 golpes	L.Liquido = 54																																																																																																															
Id. Tara: 9	P. Tara = 26.46																																																																																																															
T+M.h = 40.39	w = 54.8%																																																																																																															
T+M.s = 35.46																																																																																																																
19 golpes	L.Liquido = 52																																																																																																															
Id. Tara: 10	P. Tara = 25.84																																																																																																															
T+M.h = 40.25	w = 53.6%																																																																																																															
T+M.s = 35.22																																																																																																																
LIMITE PLASTICO																																																																																																																
Id. Tara: 11	P. Tara = 26.74																																																																																																															
T+M.h = 31.30	w = 38.6%																																																																																																															
T+M.s = 30.03																																																																																																																
Id. Tara: 12	P. Tara = 25.93																																																																																																															
T+M.h = 29.97	w = 42.8%																																																																																																															
T+M.s = 28.76																																																																																																																
 <p style="text-align: center;">Curva granulométrica.</p>		 <p style="text-align: center;">GRAFICA PARA LIMITE LIQUIDO</p>																																																																																																														
D 10 = No Aplica D 30 = No Aplica D 60 = No Aplica		LIMITE LIQUIDO = 53 INDICE PLASTICO = 12																																																																																																														
Indeterminado debe ser > 1 y < 3 Indeterminado debe ser > 6		CLASIFICACION HRB A-7-5 (18)																																																																																																														
Fragmentos de Roca = 0.0% Grava = 0.7% Arena = 2.7% Limo o Arcilla = 96.6%		Módulo de Plásticidad = 1182 CLASIFICACION SUCS MH																																																																																																														
		Índice de compresión Cc = 0.39 Compresibilidad media																																																																																																														


Anexo 5. Gravedad específica, M1

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA UNAN - MANAGUA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONTRUCCIÓN GRAVEDAD ESPECIFICA AASHTO T 100				
Proyecto:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.30 EN EL KM 405, COMUNIDAD DE AGUAS CALIENTE, MUNICIPIO DE BONANZA, DEL DEPARTAMENTO DE LA REGION AUTONOMA DE LA COSTA CARIBE NORTE (RACCN).			
Muestra de talud No. 1		Descripción de material: Limo arenoso, color marron claro.		
Pasa el tamiz: No.10	ENSAYOS			DIFERENCIA ACEPTADA ENTRE DOS RESULTADOS PARA SUELOS NO COHESIVOS (PRECISION DE UN OPERADOR): 0.05
	1	2	Promedio	
Masa de muestra seca (g)	90.06	98.41	94.24	
Masa de picnometro+ Muestra de suelo y agua (g)	629.93	634.72	632.33	
Masa de picnometro y muestra de suelo (g)	338.75	346.54	342.65	
Masa del Picnometro (g)	248.32	248.32	248.32	
Masa del Picnometro + agua (g)	574.61	575.61	575.11	
Volumen (cm3)	34.74	38.30	36.52	
Gravedad específica	2.592	2.569	2.581	

Anexo 6. Gravedad específica, M2

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA UNAN - MANAGUA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONTRUCCIÓN GRAVEDAD ESPECIFICA AASHTO T 100				
Proyecto:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.30 EN EL KM 405, COMUNIDAD DE AGUAS CALIENTE, MUNICIPIO DE BONANZA, DEL DEPARTAMENTO DE LA REGION AUTONOMA DE LA COSTA CARIBE NORTE (RACCN).			
Muestra de talud No. 2		Descripción de material: Limo elástico arenoso, color rojo marron claro.		
Pasa el tamiz: No.10	ENSAYOS			DIFERENCIA ACEPTADA ENTRE DOS RESULTADOS PARA SUELOS NO COHESIVOS (PRECISION DE UN OPERADOR): 0.05
	1	2	Promedio	
Masa de muestra seca (g)	90.32	97.29	93.81	
Masa de picnometro+ Muestra de suelo y agua (g)	609.38	613.79	611.59	
Masa de picnometro y muestra de suelo (g)	320.81	327.61	324.21	
Masa del Picnometro (g)	230.01	230.01	230.01	
Masa del Picnometro + agua (g)	553.88	553.88	553.88	
Volumen (cm3)	34.82	37.38	36.10	
Gravedad específica	2.594	2.603	2.599	

Anexo 7. Porcentaje de Humedad.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA UNAN - MANAGUA LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE CONTRUCCIÓN PORCENTAJE DE HUMEDAD ASTM 2216			
Proyecto:	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DE TALUD DE LA CARRETERA NIC.30 EN EL KM 405, COMUNIDAD DE AGUAS CALIENTE, MUNICIPIO DE BONANZA, DEL DEPARTAMENTO DE LA REGION AUTONOMA DE LA COSTA CARIBE NORTE (RACCN).		
Muestra No.1	Clasificacion AASHOT: A-5	Fecha: 27/9/2023	
Cod. De tara:	G1		
Masa de tara (g):	71.74	Masa humedad (g):	361.66
Masa humedad + tara (g):	433.40	Masa seca (g):	249.94
Masa seca + tara (g):	321.68	% de humedad:	44.7
Muestra No.2	Clasificacion AASHOT: A-7-5	Fecha: 27/9/2023	
Cod. De tara:	B-v2		
Masa de tara (g):	70.81	Masa humedad (g):	230.56
Masa humedad + tara (g):	301.37	Masa seca (g):	161.82
Masa seca + tara (g):	232.63	% de humedad:	42.48

Anexo 8: Resumen de datos sobre ángulos de fricción.

Tabla 11.3 Resumen de datos sobre ángulos de fricción para su utilización en anteproyectos

Clasificación	Ángulos de fricción							
	Ángulo de talud natural		Para la resistencia residual		Para la resistencia máxima			
	$i(^{\circ})$	Talud (vert. a hor.)	$\phi_{or}(^{\circ})$	$tg \phi_{or}$	Compacidad media		Compacta	
				$\phi(^{\circ})$	$tg \phi$	$\phi(^{\circ})$	$tg \phi$	
Limo (no plástico)	26	1: 2	26	0.488	28	0.532	30	0.577
	a		a		a		a	
Arena uniforme fina	30	1: 1.75	30	0.577	32	0.625	34	0.675
	26	1: 2	26	0.488	30	0.577	32	0.675
a media	a		a		a		a	
	30	1: 1.75	30	0.577	34	0.675	36	0.726
Arena bien graduada	30	1: 1.75	30	0.577	34	0.675	38	0.839
	a		a		a		a	
Arena y grava	34	1: 1.50	34	0.675	40	0.839	46	1.030
	32	1: 1.60	32	0.625	36	0.726	40	0.900
	a		a		a		a	
	36	1: 1.40	36	0.726	42	0.900	48	1.110

Según B.K. Hough, *Basic Soils Engineering*. Copyright © 1957, The Ronald Press Company, Nueva York.

Nota. Dentro de cada gama se asignan los valores menores si las partículas son redondeadas y si existe un contenido importante de lutita blanda o mica, mientras que los valores más elevados corresponden a partículas duras, angulosas. Utilícense menores valores para presiones normales altas que para presiones moderadas.