



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Estudios de Postgrado
Maestría en Ingeniería Geotécnica

**CAUSAS DEL DESLIZAMIENTO DEL KM. 78+600 AL KM. 78+800 DE LA
RUTA CENTROAMERICANA CA-9 NORTE, MUNICIPIO DE GUASTATOYA,
DEPARTAMENTO EL PROGRESO**

Ing. Luis Héctor Reyes Reyes

Asesorado por el Msc. Ing. Sergio Antonio Castellanos López

Guatemala, junio de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CAUSAS DEL DESLIZAMIENTO DEL KM. 78+600 AL KM. 78+800 DE LA
RUTA CENTROAMERICANA CA-9 NORTE, MUNICIPIO DE GUASTATOYA,
DEPARTAMENTO EL PROGRESO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ING. LUIS HÉCTOR REYES REYES

ASESORADO POR EL MSC. ING. SERGIO ANTONIO CASTELLANOS LÓPEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA GEOTÉCNICA

GUATEMALA, JUNIO 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
DIRECTOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	MSc. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Dr. Ing. Nick Kenner Estrada Orozco
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**CAUSAS DEL DESLIZAMIENTO DEL KM. 78+600 AL KM. 78+800 DE LA
RUTA CENTROAMERICANA CA-9 NORTE, MUNICIPIO DE GUASTATOYA,
DEPARTAMENTO EL PROGRESO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 29 de octubre de 2016.


Ing. Luis Héctor Reyes Reyes



Decanato
Facultad de Ingeniería
21159101 21159102

DTG 172.2020

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **CAUSAS DEL DESLIZAMIENTO DEL KM. 78+600 AL KM. 78-800 DE LA RUTA CENTROAMERICANA CA-9 NORTE, MUNICIPIO DE GUASTATOYA, DEPARTAMENTO EL PROGRESO**, presentado por el **Ingeniero Luis Héctor Reyes Reyes**, estudiante de la **Maestría en Ciencias en Ingeniería Geotécnica** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRIMASE:


Inga Anabela Cordova Estrada
Decana

Guatemala, agosto de 2020.

AACE/asga

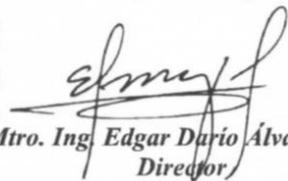
Guatemala, Junio de 2020

EEPTI-646-2020

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado: **“CAUSAS DEL DESLIZAMIENTO DEL KM.78+600 AL KM.78+800 DE LA RUTA CENTROAMERICANA CA-9 NORTE, MUNICIPIO DE GUASTATOYA DEPARTAMENTO EL PROGRESO”** presentado por el Ingeniero **Luis Héctor Reyes Reyes** quien se identifica con Carné **201590722**, correspondiente al programa de **Maestría en Ciencias en Geotécnica**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Coti
Director

Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



Guatemala, Junio de 2020

EEPFI-645-2020

Como Coordinador de la **Maestría en Geotecnia** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“CAUSAS DEL DESLIZAMIENTO DEL KM.78+600 AL KM.78+800 DE LA RUTA CENTROAMERICANA CA-9 NORTE, MUNICIPIO DE GUASTATOYA DEPARTAMENTO EL PROGRESO”** presentado por el Ingeniero **Luis Héctor Reyes Reyes** quien se identifica con Carné **201590722**.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador de Maestría
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala



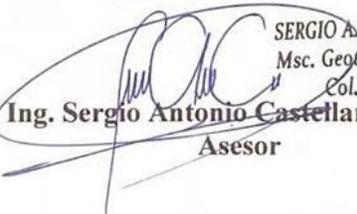
Guatemala, junio de 2020

EEPM-647-2020

En mi calidad como Asesor del Ingeniero **Luis Héctor Reyes Reyes** quien se identifica con carné **201590722** procedo a dar el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“CAUSAS DEL DESLIZAMIENTO DEL KM.78+600 AL KM.78+800 DE LA RUTA CENTROAMERICANA CA-9 NORTE, MUNICIPIO DE GUASTATOYA, DEPARTAMENTO EL PROGRESO”** quien se encuentra en el programa de **Maestría en Ciencias en Geotécnica** en la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


SERGIO A. CASTELLANOS LÓPEZ
Msc. Geotécnica / Ingeniero Civil
Col. CIG No. 11959
Mtro. Ing. Sergio Antonio Castellanos López
Asesor

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por todas sus bondades hacia nosotros, la gloria pertenece a Él.
- Mis padres** Héctor Aroldo Reyes Orozco e Ingrid Giovana Reyes Barquín, por su amor, apoyo y motivación.
- Mis hermanos** Gerardo, Diego y Ximena Reyes porque la unión hace la fuerza.
- Mi abuelo** Hernán Reyes porque, aunque ya no estés presente, este éxito hubiese llenado tu corazón de alegría.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por abrir sus puertas al conocimiento y extenderlo con excelencia.
Mi asesor	Ing. Sergio Antonio Castellanos López por haberme brindado la oportunidad de llevar a cabo esta investigación y hacerme crecer profesionalmente.
Overseas Engineering & Construction Co. S.A. GUATEMALA	En especial a Mr. Tony Chang y a todo el equipo, por facilitar todas las herramientas para realizar esta investigación.
Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC	Por el apoyo en los ensayos de laboratorio.
Catedráticos	Por compartir su conocimiento y experiencias para formar mejores profesionales.
Compañeros de estudio	Por todas las experiencias compartidas, apoyo y alegrías durante el tiempo como estudiantes.

Inga. Julia Ramos

Por su apoyo en la formación de este trabajo, gracias por su valioso tiempo y dedicación, es un placer para mí tenerla como compañera de profesión y de vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XI
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XIX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXV
HIPÓTESIS.....	XXVII
RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO.....	XXIX
INTRODUCCIÓN.....	XXXIII
1. MARCO DE REFERENCIA.....	1
1.1. Descripción del sitio.....	1
1.2. Municipio de Guastatoya.....	2
1.2.1. Ubicación.....	2
1.2.2. Demografía.....	3
1.2.3. Clima.....	3
1.2.4. Sistema vial.....	4
1.3. Red hidrográfica.....	5
1.4. Cuenca.....	6
1.4.1. Características hidrográficas de la cuenca.....	8
1.4.2. Geología general.....	9

1.4.3.	Geomorfología general	9
1.5.	Recursos naturales.....	10
1.5.1.	Recursos forestales	11
1.6.	Amenaza y vulnerabilidad.....	11
1.7.	Suelos	12
1.7.1.	Usos del suelo	13
1.8.	Geología regional y tectónica	14
1.9.	Geología local	19
1.9.1.	Geomorfología local.....	19
1.9.2.	Formación Subinal	21
1.9.3.	Región fisiográfica: depresión del Motagua.....	23
1.9.4.	Subregión: zona de desborde	23
1.9.5.	Gran paisaje: terrazas antiguas del río Motagua	24
1.10.	Dimensionamiento del deslizamiento.....	25
2.	MARCO TEÓRICO	27
2.1.	Talud	27
2.2.	Pliegue	30
2.2.1.	Tipos de pliegue.....	30
2.3.	Falla	31
2.3.1.	Tipos de falla.....	31
2.3.2.	Fallas más comunes en los taludes de carreteras....	32
2.3.3.1	Fallas ligadas a la estabilidad de las laderas naturales	33

2.3.3.2	Deslizamiento superficial asociado a la falta de resistencia por baja presión de confinamiento (Creep)	34
2.3.3.3	Fallas asociadas a los procesos de deformación acumulativa, generalmente relacionada con perfiles geológicos desfavorables	34
2.3.3.	Falla por deslizamiento superficial	35
2.3.4.	Deslizamiento en laderas naturales sobre superficie de falla preexistente	36
2.3.5.	Falla por movimiento del cuerpo del talud	36
2.3.6.	Flujos.....	36
2.3.7.	Fallas por erosión	37
2.3.8.	Fallas por licuación.....	37
2.3.9.	Falla rotacional	37
2.3.10.	Falla traslacional.....	38
2.3.11.	Falla múltiple	38
2.4.	Suelos residuales.....	39
2.4.1.	Características de un suelo residual	40
2.5.	Procesos de meteorización	42
2.5.1.	Meteorización física.....	42
2.5.2.	Meteorización química.....	42
2.5.3.	Factores que influyen en la meteorización.....	43
2.6.	Medición del grado de meteorización.....	45

2.6.1.	Color y decoloración	45
2.6.2.	Estado de las fracturas	45
2.6.3.	Arenosidad.....	46
2.6.4.	Ensayo de penetración estándar (SPT).....	46
2.6.5.	Índice micro-petrográfico.....	47
2.6.6.	Martillo de Schmidt.....	47
3.	MARCO METODOLÓGICO	49
3.1.	Ensayos de laboratorio y campo.....	49
3.1.1.	Clasificación del suelo.....	50
3.1.1.1	Análisis granulométrico (ASTM D 6913-04)	53
3.1.1.2	Análisis granulométrico por sedimentación (ASTM D 422-02)	54
3.1.1.3	Límites de Atterberg (AASHTO T89 y T90).....	54
3.2.	Ensayo de medición de la conductividad hidráulica (permeabilidad) (ASTM D 5856-00).....	55
3.3.	Ensayo de gravedad específica (ASTM D 854-05)	56
3.4.	Ensayo de corte directo (ASTM D 3080-98)	56
3.5.	Sondeo de penetración estándar (SPT) (ASTM D 1586-11) .	57
3.6.	Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW).....	58
3.7.	Tomografías eléctricas	59
3.8.	Inclinómetro.....	60
3.9.	Índice de calidad de roca.....	60
4.	RESULTADOS OBTENIDOS.....	63

4.1. Exploración geotécnica y de laboratorio.....	63
4.1.1. Resultados de la exploración geotécnica.....	64
4.2. Estudio geofísico.....	66
4.2.1. Toma de datos	67
4.2.2. Análisis de datos e interpretación	70
4.3. Fotointerpretación, evidencia de terreno y perforaciones	73
4.3.1. Tomografía	76
4.3.2. Inclínómetros	78
4.4. Muestreo de suelos y análisis de laboratorio.....	82
4.4.1. Análisis granulométrico.....	83
4.4.2. Ensayo de contenido de humedad natural.....	86
4.4.3. Ensayo de permeabilidad	87
4.4.4. Límites de Atterberg	88
4.4.5. Ensayo de gravedad específica.....	89
4.4.6. Ensayo de corte directo	91
4.4.7. Medición del grado de meteorización (Martillo de Schmidt)	93
5. DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS	97
5.1. Causa 1: flujo de agua	99
5.2. Causa 2: factor geológico.....	109
5.3. Causa 3: factor antrópico	114
CONCLUSIONES	121
RECOMENDACIONES.....	123
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	125

APÉNDICE..... 133
ANEXOS..... 134

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Mapa de ubicación del tramo de interés, en el municipio de Guastatoya.....	1
2. Vista panorámica del Valle del Motagua, Km. 78+600 ruta CA-9 Norte	2
3. Mapa del municipio de Guastatoya	3
4. Mapa de cuencas hidrográficas – cuenca río Motagua.....	7
5. Ubicación del cuadrángulo El Progreso respecto de los bloques maya y chortís, así como las fallas asociadas.....	19
6. Mapa de provincias geomorfológicas del departamento de El Progreso.....	20
7. Formación subinal con su prominente estratificación	22
8. Vista del área del deslizamiento del Km.78+600 al Km.78+800 ruta CA-9 Norte	25
9. Muestras de roca aparentemente meteorizadas, deslizamiento Km. 78+600 al 78+800 CA-9 Norte.....	40
10. Efecto de la heterogeneidad del macizo de suelos residuales en las acumulaciones de agua (Hencher y Mcnicholl, 1995).....	41
11. Toma de muestras inalteradas, Km.78+700 CA-9	50
12. Gráfica de plasticidad.....	51
13. Gráfico de los márgenes de variación más comunes en algunas rocas, minerales y químicos.....	59
14. Maquinaria con tubería de recuperación de núcleo, sondeo de penetración estándar, SPT Km.78+800.....	61

15. Muestras recuperadas para RQD, km.78+800	62
16. Ubicación de sondeos SPT, km.78+600 al 78+800 CA-9 Norte	64
17. GEODE en toma de datos, Km.78 ruta Sanarate – El Rancho.....	67
18. Ubicación de las 3 líneas geofísicas MASW y sondeos ejecutados en el área de estudio (Km.78+600 al 78+800)	68
19. Perfiles de sísmica MASW a lo largo de las 3 líneas.....	71
20. Interpretación estructural de los perfiles de sísmica MASW.....	72
21. Izquierda: modelo 3D de un movimiento de masa típico; derecha: deslizamiento Km.78+600 al 78+800 en 3D con ubicación de las discontinuidades y de las líneas de geofísica.....	74
22. Panorama de los escarpes secundarios y de fracturas de expansión general (vista frontal)	75
23. Panorama de los escarpes secundarios y de fracturas de expansión general (vista posterior)	75
24. Bordes (inicio y fin) del área con movimientos constantes en proximidad a la carretera	76
25. Tomografía eléctrica línea 01.....	77
26. Tomografía eléctrica línea 02.....	77
27. Perfiles de VS en la ortofoto interpretada.....	78
28. Gráfico desplazamiento (mm) – tiempo.....	82
29. Ubicación de muestras para laboratorio.....	83
30. Gráfica de distribución granulométrica por tamizado y sedimentación, muestra No.1	84
31. Gráfica de distribución granulométrica por tamizado y sedimentación, muestra No.2	85
32. Ubicación de las muestras de medición	94
33. Mapa de pendientes, área del deslizamiento Km.78+600 al 78+800 ruta CA9 Norte.....	101
34. Evidencia del brote de agua en km 78+600	102

35. Evidencia del brote de agua en km 78+600.....	102
36. Histograma de precipitación, departamento de El Progreso, septiembre 2016.....	103
37. Histograma de precipitación departamento de El Progreso, octubre 2016	104
38. Brote de agua en km 78+600	105
39. Brote de agua en km 78+600	105
40. Agua acumulada Km. 78+750	106
41. Limpieza y remoción del deslizamiento	107
42. Expansión de arcillas Km. 78+700	107
43. Patrón de fractura en las unidades litológicas (a-b capas rojas y c-d areniscas y conglomerados).....	110
44. Testigos de suelo recuperados en los sondeos con perforación rotativa.....	111
45. Talud de formación Subinal, diciembre 2016.....	113
46. Talud de formación subinal, abril 2018	113
47. Efectos de la modificación de la topografía	115
48. Comparación de imágenes satelitales del área del deslizamiento (2011, 2014 y 2017 según el orden)	119

TABLAS

I. Infraestructura vial y longitudes según categoría Guastatoya, El Progreso.....	5
II. Medición del grado de descomposición de feldespatos mediante el ensayo de arenosidad	46
III. Relación entre el grado de meteorización y el índice de rebote del martillo de Schmidt.....	48
IV. Criterios para la clasificación de suelos por sistema unificado	52
V. Tabla de numeración y abertura de tamices.....	53

VI. Calidad de roca según RQD	61
VII. Coordenadas de sondeos	63
VIII. Tabulación de datos obtenidos en sondeos verticales SF-1.....	65
IX. Tabulación de datos obtenidos en sondeos verticales SF-2.....	65
X. Tabulación de datos obtenidos en sondeos verticales SF-3.....	66
XI. Coordenadas en sistema GTM de los sondeos de inicio y fin de 3 líneas	69
XII. Resumen de la cantidad de metros procesados	70
XIII. Detalle de los Inclínómetros	79
XIV. Valores de desplazamiento máximo para inclinómetro 1	81
XV. Valores de desplazamiento máximo para inclinómetro 2	81
XVI. Resultados de ensayo de contenido de humedad.....	86
XVII. Resultados de ensayo de límites de Atterberg	89
XVIII. Resultados de ensayo de gravedad específica.....	90
XIX. Resultados de ensayo de corte directo, muestra No.1	92
XX. Resultados de ensayo de corte directo, muestra No.2.....	93
XXI. Relaciones entre el grado de meteorización y el índice de rebote del martillo de Schmidt de las muestras existentes en la ladera del Km.78+600 al 78+800 de la ruta CA-9 Norte	96

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Φ	Ángulo de fricción interna
C	Cohesión
T	Esfuerzo de corte
σ	Esfuerzo normal

GLOSARIO

Aluvión	Sedimentos arrastrados por una corriente de agua, que quedan depositados en un terreno.
Ángulo de fricción interna	Propiedad de los materiales granulares el cual tiene una interpretación física sencilla, al estar relacionado con el ángulo de reposo o máximo ángulo posible para la pendiente de un conjunto de dicho material granular.
Arenisca	Roca sedimentaria formada por pequeños granos de arena compactados, cuya dureza depende del tamaño de los granos que la componen.
Caliza	Roca sedimentaria formada principalmente por carbonato de calcio y que se caracteriza por presentar efervescencia por acción de los ácidos diluidos en frío.

Cohesión	Es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas.
Conglomerado	Es una roca sedimentaria clástica. Se forma generalmente en el ambiente fluvial.
Cuenca	Es una depresión en la superficie de la tierra, un valle rodeado de alturas.
Derrumbe	Es un fenómeno natural donde la tierra se mueve o se desplaza porque ha perdido su estabilidad en lugares montañosos.
Deslizamiento	Es un tipo de corrimiento o movimiento en masa de tierra, provocado por la inestabilidad de un talud.
Discontinuidad	Variaciones en la velocidad y dirección de avance de las ondas, que se observan al estudiar la organización del interior de la Tierra por el método sísmico.
Escarpe	Pendiente o inclinación muy pronunciada de un terreno.

Estrato	Masa de sedimentos, de espesor más o menos uniforme y escaso, extendida en sentido horizontal y separada de otras por capas paralelas.
FSs	Factor de seguridad respecto de la resistencia.
Formación	Es una unidad litoestratigráfica formal que define cuerpos de rocas caracterizados por unas propiedades litológicas comunes (composición y estructura) que las diferencian de las adyacentes.
Gravedad específica (Gs)	Relación entre la densidad de una sustancia y la de otra, tomada como patrón.
IMP	Índice micro petrográfico
Intrusión (geología)	Afluencia o infiltración de una masa magmática entre dos estratos sólidos, o a través de ellos, sin alcanzar la superficie terrestre.
Litología	Parte de la geología que estudia las rocas.

Lulitas

Es una roca sedimentaria clástica de grano muy fino, textura pelítica, variopinta, es decir, integrada por detritos clásticos constituidos por partículas de los tamaños de la arcilla y del limo.

MASW

Análisis multicanal de ondas superficiales.

Módulo elástico

Es un tipo de constante elástica que involucra una medida relacionada con la tensión y una medida relacionada con la deformación.

Nivel freático

Corresponde al nivel superior de una capa freática o de un acuífero en general.

Onda *Rayleigh*

Es un tipo de onda acústica superficial que viaja a lo largo de la superficie de los sólidos.

Resistividad

Resistencia proporcional de un material conductor según su longitud y anchura.

Roca metamórfica

Rocas sometidas a calor y presión diferencial durante el metamorfismo que se caracterizan por presentar alineación paralela de minerales.

Roca sedimentaria

Rocas que se forman por acumulación de sedimentos, los cuales son partículas de diversos tamaños que son transportadas por el agua, el hielo o el viento, y son sometidas a procesos físicos y químicos (diagénesis), que dan lugar a materiales consolidados.

RQD

Rock quality designation (índice de calidad de la roca).

Sedimentación

Proceso en el cual los materiales procedentes de la erosión y de la meteorización de las rocas son transportados por distintos agentes (escorrentía, glaciares, viento) y son depositados.

Sondeo

Exploración de un terreno, especialmente haciendo perforaciones, con máquinas especiales para averiguar datos sobre los mismos.

Suelo residual

Son los que se forman en el sitio por procesos de meteorización física y química.

Tamiz

Malla metálica de diferentes aberturas empleada para selección de áridos, arenas y gravas según su granulometría.

RESUMEN

Esta investigación incluye los conceptos generales sobre los movimientos de ladera, su naturaleza, comportamiento general y características de acuerdo con las condiciones, tanto naturales como antrópicas a las que pueden estar sometidas.

Así mismo, se estudian las condiciones geotécnicas de la zona del deslizamiento situado en Km. 78+600 al 78+800 de la ruta CA-9 Norte, departamento de El Progreso, basados en la exploración de campo realizada y en el análisis de las muestras obtenidas.

Se realizaron ensayos de laboratorio para la clasificación del suelo de la zona en dos puntos diferentes (cuerpo y pie del deslizamiento) a fin de comparar las características físicas y mecánicas y la medición del grado de meteorización. Las bases del estudio fueron los principios aplicados por Suárez Díaz (1998), adaptados a las rocas existentes, mediante el uso del martillo de Schmidt. Este método de medición aporta criterios útiles para ser implementados en futuras investigaciones de tipo geotécnico.

Por último, esta investigación tendrá como resultado la interpretación de los resultados que permitirán determinar las causas del deslizamiento del macizo en estudio.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y FORMULACIÓN DE PREGUNTAS ORIENTADORAS

Descripción del problema

El desarrollo de la infraestructura vial, específicamente en el departamento de El Progreso, tiene lugar en suelos de depósitos lacustres formados por mantos de suelo arcillosos profundos en secuencia con estratos conformados por areniscas y conglomerados con una geología muy marcada por discontinuidades y fallas. Las formaciones arcillosas pueden encontrarse en grandes cantidades de suelo o pequeñas formaciones dispersas en estratos variables, que dependen de su formación y estructura geológica, por lo que su comportamiento ante diversos factores la hace de interés desde el punto de vista geotécnico.

Los movimientos de ladera no son sucesos aislados, sino que están relacionados con los factores que los causan. Estos movimientos pueden ser por causas naturales, pero también pueden ser resultado de acciones del ser humano.

Formulación del problema

El desarrollo de la geotecnia proporciona herramientas aplicables a diferentes realidades físicas de los problemas de ingeniería, que permiten interpretar sus causas. Esto encamina la presente investigación hacia la formulación de una pregunta principal.

¿Cuáles son las causas del deslizamiento de la ladera del Km.78+600 al 78+800 de la ruta CA-9 Norte, departamento de El Progreso?

Al profundizar esta investigación, surgirán preguntas secundarias que requerirán ser contestadas:

- ¿De qué manera la geología de los suelos de la formación Subinal afecta la estabilidad de la ladera?
- ¿Cuál es la incidencia de la actividad antrópica en la zona y de qué manera la afecta?
- ¿Qué influencia tiene el grado de meteorización de la roca por factores hídricos?

La falta de respuestas concretas a las interrogantes planteadas, sumado a la información escasa de la geología de la zona, hace de la metodología para la determinación de las causas del deslizamiento y la evaluación de las condiciones del lugar y búsqueda de recomendaciones geotécnicas, partes fundamentales en todo análisis de esta investigación.

Delimitación del problema

- ¿Cuándo? Las muestras de suelo deben ser tomadas, ensayadas e interpretadas durante un período no mayor de 6 meses, la zona del deslizamiento deberá ser observada periódicamente para conocer su comportamiento.

- ¿Dónde? En la zona del deslizamiento ubicado en el Km. 78+600 al 78+800 de la ruta CA-9 Norte del departamento de El Progreso.
- ¿Cómo? Las muestras deben ser tomadas en el deslizamiento en al menos dos puntos diferentes;

Alcances y limitaciones del tema

Alcances: la investigación tiene como finalidad analizar y fundamentar las características físico-mecánicas de suelo, mediante la exploración de campo y trabajo de gabinete en la zona del deslizamiento. Al concluir se obtendrá información para comparar e interpretar los valores cuantitativos de las variables que afectan las propiedades del suelo del macizo. Los resultados de las variables cualitativas que las diferencian podrán determinar las causas del movimiento de la ladera estudiada.

Limitaciones: al ser la formación Subinal tan variable geológicamente, los resultados obtenidos no representan en su totalidad el comportamiento que puede generar cada uno de los rasgos dispersos del macizo, por lo que valores mecánicos presentados en esta investigación como resultado de las muestras propuestas, deben ser evaluados con cuidado a fin de proponer recomendaciones para la estabilización del movimiento.

OBJETIVOS

General

Determinar las causas del deslizamiento en la ladera ubicada en el Km.78+600 al 78+800 de la carretera Centroamericana CA-9 Norte, en el municipio de Guastatoya, departamento de El Progreso.

Específicos

1. Determinar mediante la obtención de información geológica y geotécnica, la existencia de fallas, pliegues y discontinuidades en la formación del macizo rocoso, a fin de evidenciar la influencia del factor geológico en el deslizamiento.
2. Evaluar la incidencia de la actividad antrópica en la zona y de qué forma ha afectado al macizo rocoso.
3. Realizar ensayos que permitan conocer el grado de meteorización de la roca por factores hídricos y su influencia en el movimiento de la ladera.

HIPÓTESIS

Las causas del deslizamiento en el km. 78+600 a 78+800 son principalmente de tipo geológico e hidrogeológico, debido a los fenómenos que se encuentran en el lugar. La topografía abrupta del sector creada por la actividad geológica de la región y la meteorización del suelo la hace susceptible a los deslizamientos, por lo que se plantea la siguiente hipótesis:

“El deslizamiento en el km. 78+600 al 78+800, se debe a una combinación de un movimiento de falla activo y cambio de volumen de arcillas por factor hidrogeológico”.

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

Tipos de estudio

La investigación presenta los siguientes tipos de estudio:

- Retrospectivo: “los datos (secundarios) son recogidos de ensayos publicitarios, bases de datos o de cualquier otro tipo de registro en los cuales el investigador no ha participado, ocasionando que no se pueda dar fe de la exactitud de las mediciones.” (Huacho, 2011)
- Experimental: se cuenta con una planificación preliminar de los resultados esperados, la medición se encuentra en función de las características del suelo existente en la región de estudio, se analizarán los datos y las relaciones de las variables cuantitativas.
- Correlacional: mide dos o más variables que se pretenden investigar y comprobar si están correlacionadas o no, con el mismo sujeto para después ser analizadas.
- Mixto: los suelos existentes en la zona del deslizamiento son el elemento principal del estudio y se tienen como variables principales sus características físico-mecánicas y las condiciones del sitio. Se evaluarán aspectos cualitativos tales como granulometría, y aspectos cuantitativos como su resistencia al corte, límites de plasticidad, entre otros.

Análisis teórico retrospectivo

- Recopilación y análisis de información de bibliografía e investigación científica relacionada con las propiedades físicas y mecánicas del suelo de la formación Subinal, en específico de la zona de Guastatoya en bibliotecas y centros de información virtual.
- Consulta de especificaciones de las normas para efectuar los ensayos mecánicos de las propiedades de las muestras de la zona de estudio.
- Consulta de mapas y base de datos para interpretar la zona de estudio, localizables en instituciones gubernamentales o privadas que los tengan.

Experimental

La variable independiente es la formación geológica (Subinal), cuya variabilidad de la estratigrafía y condiciones físicas existentes serán evaluadas mediante ensayos por métodos geofísicos y exploración geotécnica. Una vez identificados los suelos que conforman la zona del deslizamiento, serán interpretados los resultados con el fin de obtener parámetros (variable dependiente) que permitan determinar las causas del deslizamiento.

La validez interna del proyecto será comprobada toda vez que se demuestre que la variable independiente (macizo rocoso), al ser analizada demuestre de qué manera los factores planteados inciden en la afectación, mientras que, la validez externa del estudio probará las causas del deslizamiento.

A través de dos muestras que se realizan con perforación mecánica y dos muestras mediante pozos a cielo abierto (extraídas manualmente); además, tres sondeos de exploración geofísica en distintas áreas de la zona de estudio para evaluar las diferencias y determinar las causas del deslizamiento.

- Trasladar las muestras a un laboratorio de suelos certificado para los ensayos de caracterización e identificación de parámetros físicos y mecánicos, (Suárez, 2009, p. 188), que permitan identificar las condiciones del suelo del deslizamiento.
- Obtener mediciones de la resistividad del suelo mediante la práctica de ensayos geofísicos, así como profundidades de los estratos; también mediciones topográficas e inclinómetros para el monitoreo del deslizamiento.
- Determinar, una vez recopilados todos los resultados, los elementos que inciden directamente en las propiedades del suelo con fin de determinar las causas del deslizamiento.

Variables de estudio

Se consideran los elementos involucrados a la formación geológica de la zona de estudio (variable independiente, cuantitativa y cualitativa).

Los indicadores de la variable independiente son:

- Suelos pertenecientes a la formación geológica
- Características físico-mecánicas asociados a dicha formación

Los indicadores de la variable dependiente, causas del deslizamiento de la ladera (variable dependiente, cualitativa).

Los indicadores de la variable dependiente son:

- Factor hidrogeológico
- Factor geológico
- Factor antrópico

Fases del desarrollo de la investigación

- Fase preliminar: análisis documental, basado en los datos recopilados en campo.
- Fase experimental: análisis cualitativo y cuantitativo basado en la interpretación de resultados de los ensayos realizados en laboratorio.
- Fase final: análisis cualitativo y cuantitativo de los valores obtenidos para la determinación de los posibles factores causantes del deslizamiento.

INTRODUCCIÓN

La compleja geología de la región cercana a la falla del Motagua en conjunto con los factores externos, hacen de la ruta CA-9 Norte, una complicada zona por el constante tema de los movimientos de ladera. Estos factores afectan la estabilidad de los macizos, alterando las propiedades físico-mecánicas del suelo. Tal es el caso de la ladera existente en el Km 78+600 al Km 78+800, ubicada geográficamente en el municipio de Guastatoya.

La investigación de las características del suelo incluye: primero, la caracterización de la muestra por medio de un análisis cualitativo; segundo, la determinación de las cantidades relativas de la muestra por análisis cuantitativo; por último, se interpretan los resultados apoyado también en herramientas de campo.

Estos procesos, para llevarse a cabo en forma conjunta, requieren equipo geotécnico de laboratorio y campo. Los cuales aporten las herramientas necesarias para obtener resultados más precisos e interpretar el movimiento de la ladera colindante a la carretera.

Como aporte a esta investigación se aplica la medición del grado de meteorización de las rocas de la zona en estudio, de acuerdo con los principios presentados por Suárez Díaz (2009) referente a los estudios previos de Irfan y Powel (1985), Cascini y otros (1991), utilizando el martillo de Schmidt, procedimiento que permite ser aplicado a cualquier clase de material para su respectiva caracterización.

No es la finalidad de este trabajo presentar soluciones, pero sí determinar las causas del deslizamiento, si se conocen los factores que afectan la estabilidad, se analizará la incidencia de cada uno de ellos con la finalidad de establecer su afectación a la ladera. Al momento de esta investigación, no se contó con referencia alguna sobre la afectación de la ladera sobre su comportamiento mecánico al estar sometida a condiciones naturales y fuerzas inducidas por factor antrópico.

La síntesis de la investigación se presenta a continuación:

Capítulo 1	Capítulo 2	Capítulo 3	Capítulo 4	Capítulo 5
Descripción de la zona de estudio. Entorno geológico regional. Entorno geológico local (formación Subinal).	Definiciones básicas. Generalidades de las fallas y sus características. Medición de grado de meteorización de las rocas.	Metodología y aplicación de laboratorios de campo y laboratorio. Geofísica aplicada.	Presentación de resultados de exploración geotécnica. Interpretación de estudio geofísico. Fotointerpretación. Aplicación del método de medición de meteorización.	Discusión de resultados. Determinación de las causas del deslizamiento.

Fuente: elaboración propia.

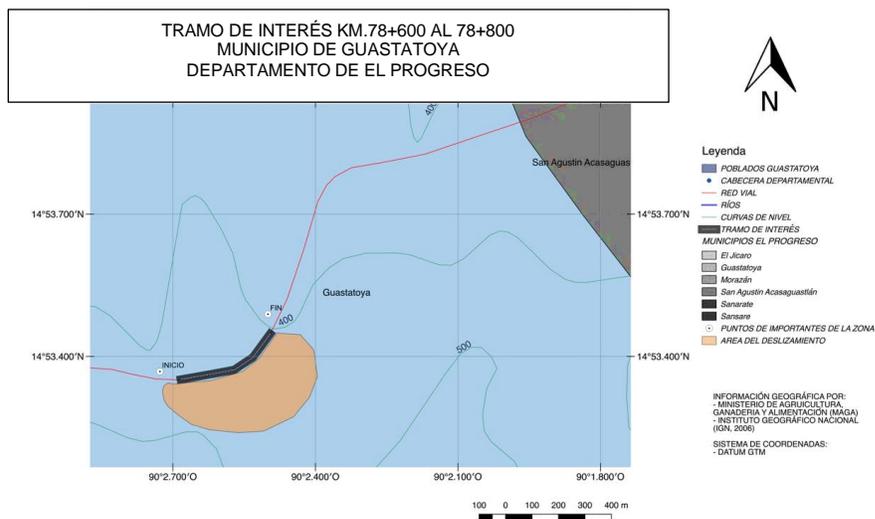
1. MARCO DE REFERENCIA

1.1. Descripción del sitio

La carretera centroamericana CA-9 Norte o ambiguamente conocida como ruta al Atlántico o Jacobo Árbenz, pertenece a la red de infraestructura vial de mayor importancia para el territorio nacional, a través de ella se comunican los departamentos de Guatemala, El Progreso, Zacapa e Izabal.

El punto de interés se ubica dentro de la CA-9 Norte, entre los kilómetros 78+600 al 78+800 que comunican al municipio de Guastatoya con aldea El Rancho, departamento El Progreso.

Figura 1. Mapa de ubicación del tramo de interés, en el municipio de Guastatoya



Fuente: elaboración propia, software gratuito QGis.

Figura 2. **Vista panorámica del Valle del Motagua, km. 78+600 ruta CA-9**
Norte



Fuente: elaboración propia.

1.2. Municipio de Guastatoya

El área de influencia del problema geotécnico se ubica en el municipio de Guastatoya, departamento de El Progreso, el cual se encuentra a 74 km de la ciudad capital.

1.2.1. Ubicación

Guastatoya es la cabecera departamental del municipio de El Progreso posee una extensión territorial de 262 km², se localiza a una altitud de 515 msnm, con una latitud Norte de 14°51'14" y una longitud oeste de 90°04'07 (Plan de Desarrollo Municipal, SEGEPLAN, 2010).

Colinda al norte con los municipios de Morazán y San Agustín Acasaguastlán; al sur con el departamento de Jalapa; al este con el municipio del Júcaro y al oeste con los municipios de Sansare y Sanarate.

Figura 3. Mapa del municipio de Guastatoya



Fuente: elaboración propia, software gratuito QGIS.

1.2.2. Demografía

El Instituto Nacional de Estadística ha publicado de manera oficial que el municipio de Guastatoya, para el 31 de diciembre de 2002, contaba con un total de 17 279 habitantes, de los cuales 8 994 son de sexo femenino y 8 659 son de sexo masculino (PDM SEGEPLAN, 2010).

1.2.3. Clima

De acuerdo con la información de Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2001), Guastatoya es considerada como una de las zonas más secas de Centroamérica.

Según el INSIVUMEH la altitud del municipio varía de 100 a 700 msnm; la temperatura máxima es de 34,6°C y la mínima de 20,38°C; de acuerdo con la posición geográfica en que se encuentra el municipio, el Plan de Desarrollo Municipal (PDM SEGEPLAN, 2010), tiene diferenciado dos tipos de climas, pese a no estar perfectamente marcadas las diferencias (p.34):

- Templado: en la parte alta del municipio, donde se localizan las comunidades de Santa Rita, San Rafael, Anshagua, El Infiernillo, El Naranja y la Campana.
- Cálido: en las partes bajas del municipio, donde se ubican las comunidades de: El Subinal, Las Morales, Tierra Blanca, Casas Viejas, Santa Lucía, Palo Amontonado, Piedra Parada, El Callejón, La Libertad, El Obraje. Patache, y la cabecera municipal.

1.2.4. Sistema vial

En la ruta CA-9 Norte circulan un promedio de 25 000 vehículos diarios, es una de las principales vías de comunicación del país, en ella transita un importante sector que aporta a la economía nacional.

La red vial del municipio está compuesta por la carretera asfaltada, que conduce desde la ciudad capital hacia la cabecera municipal, mediante la CA-9 Norte. Así mismo, cuenta con una vía asfaltada que conduce hacia la aldea Santa Rita con una longitud de 6 km aproximados. Además, posee caminos de terracería que se dirigen a distintas aldeas y los cuales son transitables en todas las épocas del año (PDM SEGEPLAN, 2010).

Tabla I. **Infraestructura vial y longitudes según categoría**
Guastatoya, El Progreso

CATEGORÍA	LONGITUD (Km)	COMUNIDADES QUE COMUNICA
Carretera asfaltada	26,00	Cabecera Municipal con la ciudad capital (ruta al Atlántico 19 km.) y de la cabecera municipal hacia la aldea Santa Rita (6 km. aproximadamente)
Carretera de terracería	46,52	Aldeas San Rafael, Anshagua, El Infiernillo, El Naranjo, El Subinal, las Morales, Tierra Blanca. Casa Viejas, Santa Lucía, Palo Amontonado, Piedra Parada, La Libertad, El Obraje
Camino vecinal	31,75	Distintos caseríos del municipio.

Fuente: SEGEPLAN. (2010). *Plan de Desarrollo Municipal*.

1.3. Red hidrográfica

El municipio de Guastatoya se ubica en área de influencia de la cuenca del río Motagua, con una extensión de 1 264 095,49 Ha, representando el 1,51 % del 13,47 % que abarca la cuenca a nivel departamental. Se caracteriza por una precipitación anual de 1 530 mm, evapotranspiración de 1 703 mm, escorrentía de 679mm y disponibilidad de 6 545 m³ (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Alimentación, 2004; Instituto Nacional de Estadística, 2007).

Por su ubicación geográfica, el municipio está irrigado por dos ríos principales y otros que, en época de verano, tienden a mantenerse secos por la escasez de agua de la región. (PDM SEGEPLAN, 2010, p.35).

Los ríos que se encuentran en el municipio son los siguientes:

- Anshagua
- Ayansagua
- El Carrizal
- Motagua
- Guastatoya
- El Potrero

1.4. Cuenca

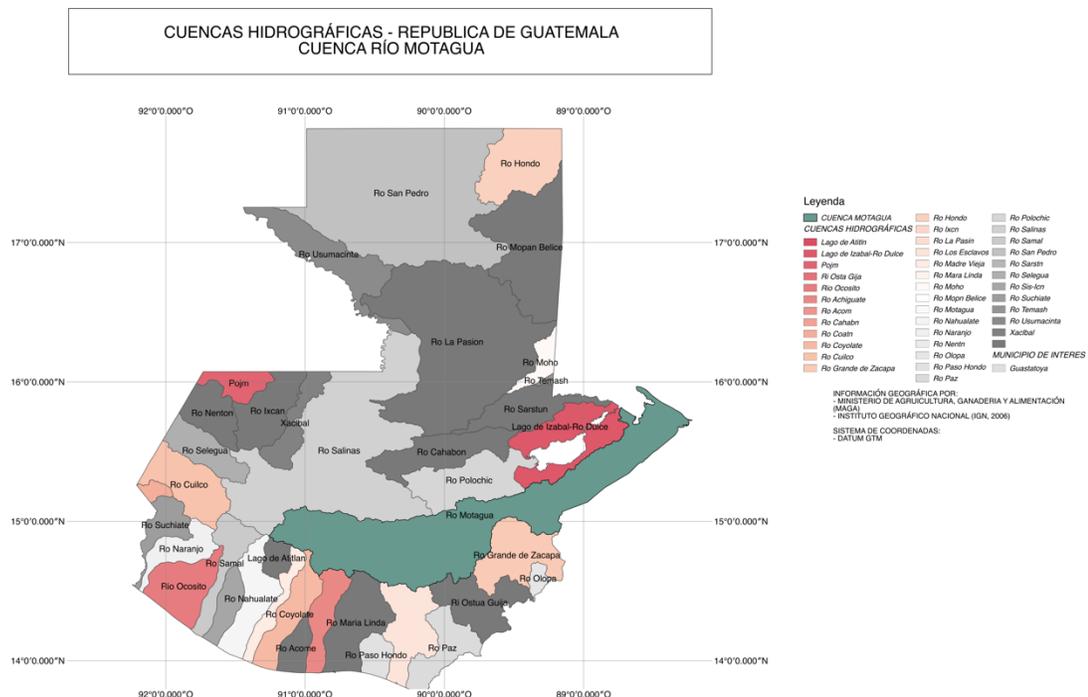
El diagnóstico preliminar de la situación de la cuenca del río Motagua, elaborado por la Fundación para la Conservación de los Recursos Naturales y Ambiente en Guatemala (FCG, 2012), afirma que “la cuenca del río Motagua es una de las más grandes y relevantes. Abarca 14 jurisdicciones departamentales y 95 municipales del país, se localiza en la vertiente del océano Atlántico, en el sureste de Guatemala y noroccidente de Honduras; posee una longitud de 486 km, abarcando un área que supera los 15 000 km²”(p.17).

“Esta cuenca tiene su origen en el altiplano occidental de Guatemala y es uno de los accidentes geográficos de mayor importancia del país por el aporte hídrico de las montañas del altiplano, sierra del Merendón, sierra de Las Minas y Chuacús.” (FCG, 2012, p.17).

La extensión total de la cuenca es reportada con diferentes valores; por ejemplo, Gonzáles (1988) indica que “la cuenca posee un área de 17 670 km² y forma parte de la vertiente del mar de las Antillas o del Atlántico y está ubicada en los países de Guatemala y Honduras, ocupando en Guatemala una extensión de 15 190 km² y en Honduras 2 480 km². Su altitud va desde el nivel del mar hasta los 3 315 m en la zona más alta a lo largo de su trayecto.” (p.23)

Se estima que “el caudal del Motagua alcanza los 6 500 millones de m³ anuales (IARNA/URL, 2006). Mientras tanto De León (2003) indica que el río Motagua ocupa alrededor del 8,50 % del total del país, extendiéndose de occidente a oriente.” (FCG, 2012, p.17).

Figura 4. Mapa de cuencas hidrográficas – cuenca río Motagua



Fuente: elaboración propia, software gratuito QGIS.

1.4.1. Características hidrográficas de la cuenca

El río Motagua posee una longitud de 486 km y un área estimada de 12 670 km², de acuerdo con datos de algunos autores, dentro de la cual existen varias divisiones de cuenca.

“El análisis generado con la capa digital de microcuencas de Guatemala (mapa de cuencas hidrográficas a escala 1:50,000, República de Guatemala, método de Pfafstetter – primera aproximación – MAGA), indica que a lo largo de la cuenca del Motagua se tiene alrededor de 563 microcuencas.” (FCG, 2012 p.19).

“La cuenca del Motagua se encuentra rodeada de las cuencas: Polochic – Cahabón - lago de Izabal - Río Dulce, Río Salinas o Chixoy, Salamá, Nahualate, Lago de Atitlán - Madre Vieja, ríos Coyolate - Acomé, Achíguate, María Linda, Los Esclavos, Ostúa-Guija y Olopa.” (MAGA, 2009).

Según indica González (1988), el río Motagua, recibe una serie de afluentes y ríos contribuyentes a lo largo de su recorrido. Sin embargo, entre los que sobresalen está el río Grande que drena en Chiquimula y recibe agua de los ríos San José, Shutaque y Camotán. Mientras que en la ribera norte recibe las aguas de los ríos Hato, Huijo, La Palmilla, Teculután y San Francisco, en la ribera sur recibe las aguas de los ríos Pixcayá, El Tambor, San Vicente, Lajillal, Managua, Chinamito, Lobo, Animas y Negro. Así mismo, entre los contribuyentes se encuentran numerosos riachuelos y quebradas que desembocan en el mismo, fortaleciendo su caudal a lo largo del trayecto. (FCG, 2012, p.20).

1.4.2. Geología general

Según el diagnóstico preliminar de la cuenca hidrológica binacional Motagua (1998), las formaciones geológicas de la cuenca del río Motagua se clasifican en dos grandes grupos de acuerdo con su ubicación.

- a) Al norte el material geológico es fundamentalmente, rocas metamórficas sin dividir del paleozoico, rocas volcánicas sin dividir del terciario, rellenos y cubiertas gruesas de cenizas pómez de origen diverso del cuaternario, formaciones Ríos Dulce, Lacatun y desempeño del terciario superior oligoceno mioceno, carbonatos neocomiano campiano del cretáceo, incluye también áreas de aluvión cuaternario en la llanura costera.
- b) Al sur el material geológico está formado por rocas metamórficas sin dividir, filitas, esquistos cloróticos y granatíferos, gneises de cuarzo mica, feldespatos, mármol y magmatitas con inclusiones de aluviones del cuaternario; así como, rocas plutónicas sin dividir incluyendo granitos y dioritas de edad pérmica y terciaria, incluye también tobas, coladas de lava, material laharico y sedimentos volcánicos, rocas metamórficas sin dividir del paleozoico, carbonatos neocomiano campiano ultrabásicos de edad desconocida. (FCG, 2012, p.21-22)

1.4.3. Geomorfología general

Según Gonzáles (1988) los rasgos geomorfológicos presentan una diversidad de formas de la tierra, principalmente terrenos quebrados, escarpados, ondulados y planos, los cuales exhiben un paisaje diverso en toda la región.

El estudio de impacto ambiental realizado por la empresa propietaria de la red (1997), define los rasgos morfológicos principales de la región de la cuenca del río Motagua, controlados fuertemente por el sistema de fallas del Motagua. Siendo los que detallan a continuación.

- a) Depresión del Motagua: este es el valle más extenso del país, el cual es recorrido por el río Motagua, desde el departamento del Quiché hasta su desembocadura en la costa Atlántica, con una dirección NO-NE, con una forma arqueada, con la parte convexa al sur.

- b) Montañas del Sur del Valle Motagua: esta es una cadena montañosa de mediana a baja altura que oscila entre los 800 y 1,200 msnm; conformada por otras cadenas montañosas como las montañas de Jalapa y Sanarate. Estas conforman las estribaciones norte de la Provincia Cadena Volcánica. (EPR, 1997, p.77)

1.5. Recursos naturales

El municipio de Guastatoya se ubica en las regiones semiáridas, zona de valles interiores discontinuos del valle medio del río Motagua. Algunas especies características de esta región son los cactus y los zarzales. El municipio, además, cuenta con diversidad de recursos naturales, comprendiendo entre especies de fauna silvestre y doméstica. Así mismo, diversidad de flora típica del lugar, seco, árido y caluroso. (PDM SEGEPLAN, 2010, p.33).

1.5.1. Recursos forestales

Guastatoya se encuentra ubicado en la región semiárida del país, parte de valles interiores, discontinuos del valle medio del río Motagua.

Según datos del Instituto Nacional de Áreas Boscosas (INAB), acerca de la dinámica de la cobertura forestal del municipio, indica que en el periodo 2006 contaba con 1,157.31 Ha de bosque, sin embargo, para el año 2010 se reportó una cobertura forestal de 743.22 Ha, lo que permite establecer que durante el periodo 2006 - 2010, hubo una pérdida de 414.09 Ha de bosque, que representan una deforestación del 3.78% del bosque que existía en 2006 lo que proyecta una tasa de perdida de cambio anual del 8.18%. (Payés Vásquez, 2014, p.8)

1.6. Amenaza y vulnerabilidad

Guastatoya al igual que el resto de municipios del departamento de El Progreso, posee un alto índice de amenazas, vinculadas directamente con el agua como principal causante de desastres. Por una parte, está la escasez que provoca sequías y por otra, el exceso de lluvias generando inundaciones y meteorización de las rocas. (PDM SEGEPLAN, 2010).

Guastatoya posee un alto índice de vulnerabilidad debido a que se encuentra situado sobre la falla del Motagua, la cual lo hace propenso a sufrir daños al momento de un movimiento sísmico, tal como sucedió en el terremoto de 1976, siendo el municipio de Guastatoya de los más afectados del departamento; sin embargo, existen comunidades que debido a su condición topográfica poseen baja vulnerabilidad como lo son: San Rafael, Anshagua, El Naranjo, El Subinal y Patache. (PDM SEGEPLAN, 2010).

Es importante mencionar que la mayor parte de la Ruta CA-9 Norte que atraviesa el municipio es propensa a derrumbes y deslizamientos.

1.7. Suelos

Los suelos de la región de Guastatoya poseen bajo contenido de nutrientes, estos se clasifican desde el punto de vista genético – geológico en:

- Suelos desarrollados sobre material volcánico
- Suelos desarrollados sobre material sedimentario y metamórfico
- Clases misceláneas de terreno

La actividad agrícola del municipio se torna difícil debido a sus características, el rendimiento se encuentra bajo el promedio de los estándares normales de producción, la mayor parte de la actividad se realiza sobre las riberas del río Motagua y del río Guastatoya (PDM, SEGEPLAN 2010).

El municipio posee una topografía irregular, debido a la presencia de fallas en la zona del Motagua. El suelo se ha desarrollado sobre material sedimentario y metamórfico, poco profundo.

La mayor parte del suelo es rojizo con espesores de 0,10 a 0,15 m, el subsuelo es de color café rojizo oscuro con espesor aproximado de 0,15 a 0,25 m. El suelo en su mayoría se considera de vocación forestal, sin embargo, no todos los suelos son aptos para el uso agronómico, por su parte los más aptos son los situados en las riberas de los ríos.

Según Payes Vásquez (2014), en el municipio de Guastatoya se encuentran los siguientes tipos de suelos:

- Altombran, de color grisáceo, con textura franco arcillo arenosa fina a franco limosa, tiene una profundidad de 1,00 m y una extensión de 17 km².
- Sholanima, es de color café muy oscuro, con textura arcillosa, tiene poca profundidad y una extensión de 3 km².
- Sansare, es sin color, con textura franco arcillo esquistosa o gravosa su profundidad es de 0,40 m a 0,50 m y una extensión de 156 km².
- Subinal, es de color rojizo, con textura arcilla, tiene una profundidad de 50cm y una extensión de 61 km². (p.9).

1.7.1. Usos del suelo

La totalidad en uso del suelo del municipio es de 18 199,20 Ha de las cuales el 41,50 % son utilizadas para la producción de productos agrícolas, el 14,23 % destinadas a la crianza y pastoreo de ganado y un 31,90 % para uso forestal. Así mismo, existe un 12,37 % que tiene diversos usos. (PDM, SEGEPAN, 2010, p.33).

1.8. Geología regional y tectónica

De acuerdo con el mapa fisiográfico – geomorfológico de la república de Guatemala, realizado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA, 2001), “Guatemala posee una superficie geográfica de 108 889 km².” (Instituto Geográfico Nacional, 1974); “presenta un relieve diverso y complejo, en donde se distinguen desde altas montañas, pie de montes, hasta planicies coluvio – aluviales”. (p.1)

El estudio presentado por EPR (1997) indica que, pocas regiones en el planeta han experimentado la complejidad geológica y geodinámica que ha resultado en la formación actual del istmo centroamericano. Desde los primeros estudios (Schucher, 1935; Sapper, 1937) “se han reconocido dos grandes segmentos con distintas historias tectónicas y estructuras geológicas, como lo son el núcleo centroamericano (sureste de México hasta el sur de Nicaragua); y el eslabón del istmo (sur de Nicaragua hasta el noroeste de Colombia).” (p.76)

El núcleo centroamericano posee un basamento metamórfico e ígneo (probablemente de edad Precámbrica), el cual forma la región montañosa alta del sureste de México, la parte central de Guatemala y Honduras y la parte Norte de Nicaragua. En la parte norte de la Cordillera Central de Guatemala, este basamento está cubierto por una potente secuencia de rocas carbonáticas y clásticas del Paleozoico Superior. Estas a su vez son sobreyacidas por capas rojas continentales del Jurásico Superior y por una gruesa secuencia de carbonatos y evaporitas cuyas edades van del Cretácico al Eoceno. (EPR, 1997, p.77)

Al sur de la cordillera central de Guatemala el basamento metamórfico está cubierto por rocas sedimentarias del Mesozoico como rocas clásticas del Triásico Tardío y Jurásico y carbonatos y capas rojas del Cretácico. La parte central presenta constantes intrusiones y flujos de edad Terciaria. Aproximándose a la costa pacífica, una serie de edificios y coladas eruptivas cuaternarias controladas por la zona de subducción pacífica forman un cinturón de dirección NO-SE.

La estructura geológica al norte de la Cordillera Central está fuertemente dominada por un cinturón plegado laramídico que se extiende del sureste de México a través de Guatemala y el sur de Belice, conformando un arco abierto hacia el norte. Hacia el norte, estas estructuras se suavizan hasta alcanzar niveles casi horizontales. (EPR, 1997, p.77)

Geográficamente está localizada entre los paralelos de 13°49' a los 18°30' de latitud norte y entre los meridianos 87°30' a 92°13', al oeste de Greenwich. colinda al oeste y al norte con la república de México, al este con el océano Atlántico, Honduras, El Salvador y al sur con el océano Pacífico (MAGA, 2001).

Su superficie está ubicada en el extremo sur del Sistema Montañoso del Oeste de América del Norte, es geológicamente compleja. El sistema que penetra en el país se eleva en el Istmo de Tehuantepec, pasa a través del Estado de Chiapas (México), Guatemala y Honduras, para terminar en Nicaragua. Las diferentes regiones de formas de la tierra que corresponden a Guatemala están, por lo tanto, íntimamente relacionados a los procesos y desarrollo geológico, propios del complejo montañoso. (MAGA, 2001, p.1)

En ese sentido, se tienen dos orientaciones estructurales y fisiográficas, las cuales se conocen como: Sierra del norte de Centroamérica y la provincia volcánica.

Según el Atlas Nacional de Guatemala (IGN, 1974), en el país se distinguen cuatro provincias geológicas, que, desde el sur del país hacia el norte, se denominan como:

- Planicie costera del Pacífico
- Tierras volcánicas
- Cordillera central
- Tierras bajas de Petén

De acuerdo con los estudios realizados, entre las tierras volcánicas y la cordillera central, se podría definir una superficie más: las tierras metamórficas.

La diversidad observada tanto en su fisiografía y/o en las diferentes formas del relieve, se debe fundamentalmente a su complejo proceso geológico, así como a su ubicación natural, dentro de una de las superficies geográficas del planeta que experimenta continua actividad sísmica. Dentro de esta diversidad fisiográfica, destaca el Volcán de Tajumulco, cuya cima se encuentra a 4 272 msnm, por lo cual constituye el relieve más alto del país y de Centro América. (MAGA, 2001, p.2)

Según Chiquin Yoj (2003) el departamento de El Progreso posee una topografía variable, compuesta por una combinación de montañas y cerros con planicies, siendo la altura máxima del relieve es de 1 940 msnm y la más baja es 280 msnm. El rasgo orográfico más sobresaliente al norte es la ladera sur de la sierra de Las Minas, la cual está dividida por el río Motagua, de otro conjunto de cerros que se encuentran alineados en la parte sur y que más al este conforman la sierra del Merendón.

El área de drenaje es variada, existen diversos tipos de configuraciones que son producto tanto del control estructural como del litológico. El rastro hidrográfico más sobresaliente es el río Motagua, mismo que se extiende desde el departamento de Chimaltenango hasta su desembocadura en el Océano Atlántico, siguiendo la traza del sistema de falla Motagua. (Chiquin Yoj, 2003, p.3)

El cuadrángulo El Progreso, se ubica en lo que se conoce como Zona de Sutura del Motagua, la cual es una zona producto de la colisión de dos bloques tectónicos; al norte se ha definido como Bloque Maya y al sur Bloque Chortís.

Cada uno de estos bloques tiene una historia geológica esencialmente diferente, por lo menos antes de la colisión, compartiendo actualmente diversos rasgos producto de su disposición a diferentes procesos, como el movimiento continuo a lo largo del sistema de falla del Motagua y la subducción de la placa de Cocos al sur.

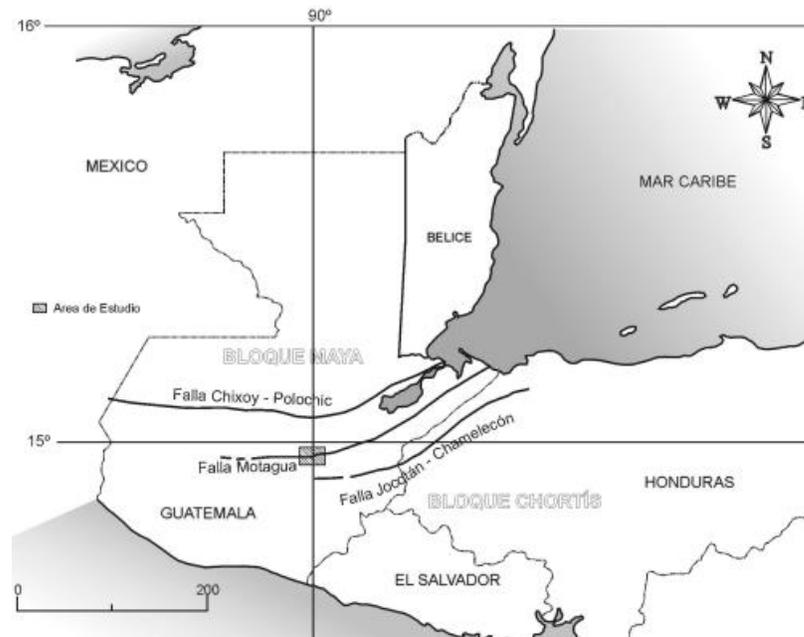
El bloque Maya comprende el margen sur de la placa Norteamericana, tiene un basamento Paleozoico sobre el cual se encuentra una gruesa sedimentación marina que va del Pensilvaniano al Cenozoico, luego aparece una sedimentación continental que va del Jurásico al Cretácico Temprano; desde este tiempo hasta el Cretácico Tardío se dio la deposición de carbonatos, evaporitas y sedimentos clásticos, hasta darse el evento de sutura entre el Cretácico Tardío y Terciario temprano, lo cual se presenta principalmente con el emplazamiento de cuerpos ofiolíticos.

En el Terciario tardío se depositó una variedad de sedimentos predominantemente continentales. En la historia geológica reciente sobresale el movimiento de tipo transformante en el borde sur del bloque.

El bloque Chortís geográficamente forma parte de la placa del Caribe, limita al norte con la zona de falla del Motagua y al sur con la fosa Mesoamericana, que lo separa de la placa de Cocos. El basamento de este bloque se compone principalmente de dos unidades, una de alto grado metamórfico más antigua de probable edad Carbonífero inferior, el complejo Las Ovejas, y otra de bajo grado metamórfico más reciente, de probable edad Pérmico, las filitas de San Diego.

Desde el Jurásico tardío hasta el Eoceno existe un registro sedimentario complejo, que combina sedimentación continental y marina, incluyendo el Grupo Honduras, sobre el cual se depositó el grupo Yojoa, luego el grupo Valle de Ángeles y finalmente la formación Subinal la cual se describe en la sección 1.9.2. Posteriormente existe una gruesa acumulación de material volcánico que revela los procesos que han afectado este bloque (Chiquin Yoj, 2003, p.7).

Figura 5. Ubicación del cuadrángulo El Progreso respecto de los bloques maya y chortís, así como las fallas asociadas



Fuente: Chiquin. (2003). *Cartografía geológica del cuadrángulo El Progreso Escala 1:50,000*.

1.9. Geología local

El departamento de El Progreso está ubicado en una región controlada tectónicamente por fallas de gran magnitud, lo cual provoca que las formas del relieve sean muy variadas.

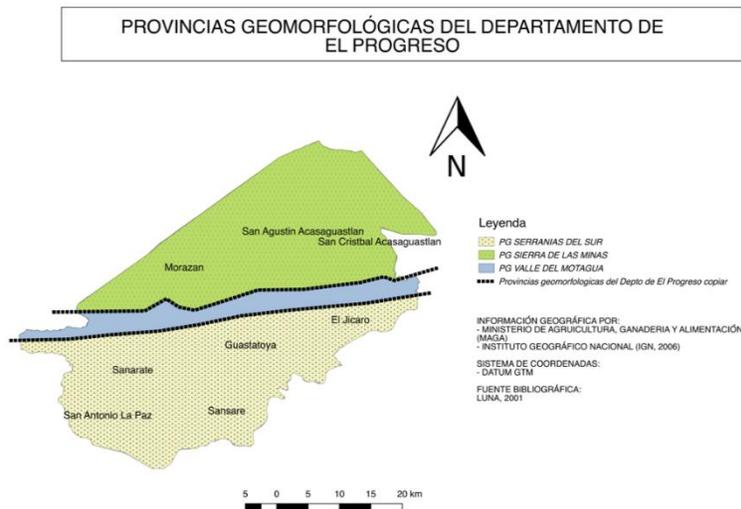
1.9.1. Geomorfología local

Guastatoya se ubica en una de las provincias geomorfológicas denominada como “Las Serranías del Sur”, la cual consiste en una serie de elevaciones que varían desde los 500 hasta los 1 000 msnm.

“La provincia Serranías del Sur, está compuesta por una gran variedad litológica en la que se presentan: Rocas metamórficas del Complejo Las Ovejas, las filitas San Diego (ambas del Paleozoico) y calizas recristalizadas y filitas de edad Cretácica” (Luna, 2001, p.14).

En lo que respecta a rocas sedimentarias, se tienen calizas en el grupo Yoja y rocas clásticas de las formaciones Subinal y Guastatoya; además existen afloramientos de rocas volcánicas terciarias y cuaternarias e intrusivos de composición árida, básica e intermedia de diferentes edades (Luna, 2001, p.14).

Figura 6. **Mapa de provincias geomorfológicas del departamento de El Progreso**



Fuente: Luna. (2001). *Estudio geológico - minero del departamento de El Progreso, Guatemala, Centro América.*

La unidad litológica presente en el área de estudio se describe a continuación, la cual será citada según su tipo y orden cronológico.

1.9.2. Formación Subinal

La formación Subinal, se encuentra ubicada en el cuadrángulo El Progreso, forma parte de una de las diecinueve unidades litológicas. De acuerdo con Chiquin Yoj (2003), la geología estructural es muy compleja, considerando que en el cuadrángulo existen tres unidades tectónicas: el bloque maya, la zona de sutura del Motagua y el bloque chortí; cada una con su propia historia geológica y de deformaciones.

La localidad inicia cerca del poblado de Subinal, el cual se ubica entre los municipios de Guastatoya, San Agustín Acasaguastlán y Morazán, todos ellos pertenecientes al departamento de El Progreso.

El nombre Subinal, fue propuesto por Hirschmann (1963) (como se citó en Luna, 2001), refiriéndose a una secuencia de capas rojas que afloran en el Valle del Motagua y en una pequeña parte de las Serranías del Sur. Sin embargo, se presenta en varios cuadrángulos a lo largo de la zona de la falla del Motagua, desde Pachalum, Quiché, hasta Los Amates, Izabal.

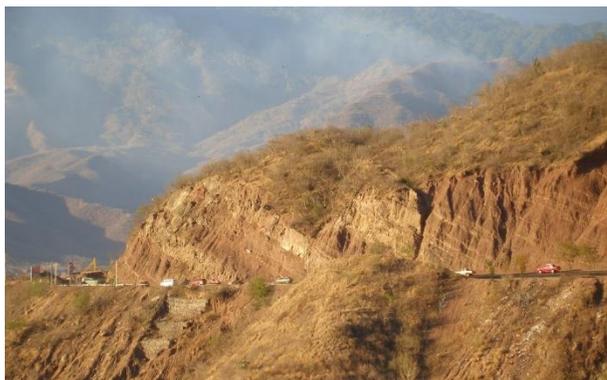
Muller (1979) (como se citó en Luna, 2001), divide la formación Subinal en dos unidades, la formación Subinal inferior, compuesta de conglomerados y areniscas compuestas de serpentinitas, diabasa pobremente clasificada y estratificada, contiene lentes y capas irregulares de dolomita marrón de grano fino a grueso, menos chert rico en fragmentos de plantas, lodolita, limolita y areniscas ricas en serpentinita, de color negro o gris olivo. La formación Subinal superior consiste en una interestratificación de limolita, arenisca y lutita, y areniscas con lentes de gravas. La mayoría de las unidades de grano fino está cementada por calcita y moderadamente clasificada.

Hirschmann (1963), afirmó que consiste predominantemente de lutitas rojas y verdes, limolitas, areniscas micáceas, areniscas arcósicas y conglomerados pobremente clasificados, los cuales consisten en fragmentos de cuarzo, roca volcánica, calizas, serpentinitas, dioritas, granitos y esquistos.

La edad de la formación Subinal parece más posible del Cretácico Superior a Terciario Medio (mioceno medio o más antiguo). Hirschmann (1963) dio a la formación Subinal una edad post-Cenomaniaco y pre-Pleistoceno con base en los fragmentos de caliza y de rocas volcánicas que componen algunos de sus estratos. Reves (1967) encontró e identificó fósiles de *Glonotruncana Contura Stuartiformis* (de edad Cenomaniaco-Mastrichtiano) en los fragmentos carbonatados de la unidad (Chiquin Yoj, 2003, p.52).

“Estratigráficamente la formación Subinal se ubica sobre la unidad Calizas recristalizadas y Filitas, y subyace a las rocas de la formación Guastatoya” (Luna, 2001, p.35).

Figura 7. Formación Subinal con su prominente estratificación



Fuente: Gutiérrez. (2016). *High-pressure belts of Central Guatemala: The Motagua Suture and the Chuacús Comple*. Recuperado de http://www.ugr.es/~agcasco/igcp546/Guate07/Guate_2007_Schedule.htm

1.9.3. Región fisiográfica: depresión del Motagua

Ocupada principalmente por el río Motagua, formada en una gran llanura de inundación establecida por un aluvión cuaternario con meandros bien desarrollados, abandonados y meandros fósiles que caracterizan el paisaje fisiográfico en la sección baja de la región.

“Debido al grado de desarrollo de estas características y a la llanura de inundación aquí constituida, el Motagua se caracteriza como un río de perfil equilibrado y estable” (MAGA, 2001, p.54).

Así mismo, el río ha formado un delta sobre el golfo de Honduras y el banco de arena que separa la bahía de Amatique del golfo en sí, también está constituida tanto por material transportado por el citado río, como por otros fluvios. Las corrientes costeras han trasladado aún más este material dentro de la boca del río en dirección noreste y de su deposición subsecuente ha resultado la formación de dicha característica. (MAGA, 2001, p.54)

1.9.4. Subregión: zona de desborde

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (2001), la unidad fisiográfica se localiza desde las poblaciones de Morazán y El Júcaro en el departamento de El Progreso, abarca una franja a lo largo del río Motagua, El Rancho, Gualán y Loa Amates entre los departamentos de Zacapa y Puerto Barrios. El relieve de la zona oscila de 50 a 500 msnm, el drenaje superficial es de tipo paralelo, subparalelo y trenzado. Geológicamente esta región posee rocas sedimentarias, clásticas, lutitas y conglomerados, material piroclástico y ceniza volcánica, de fines de Mioceno – principios de Plioceno y Cuaternario.

1.9.5. Gran paisaje: terrazas antiguas del río Motagua

Según el mapa fisiográfico - geomorfológico de la República de Guatemala realizado por el MAGA (2001), se describen las características del gran paisaje en el cual se delimita la zona de estudio.

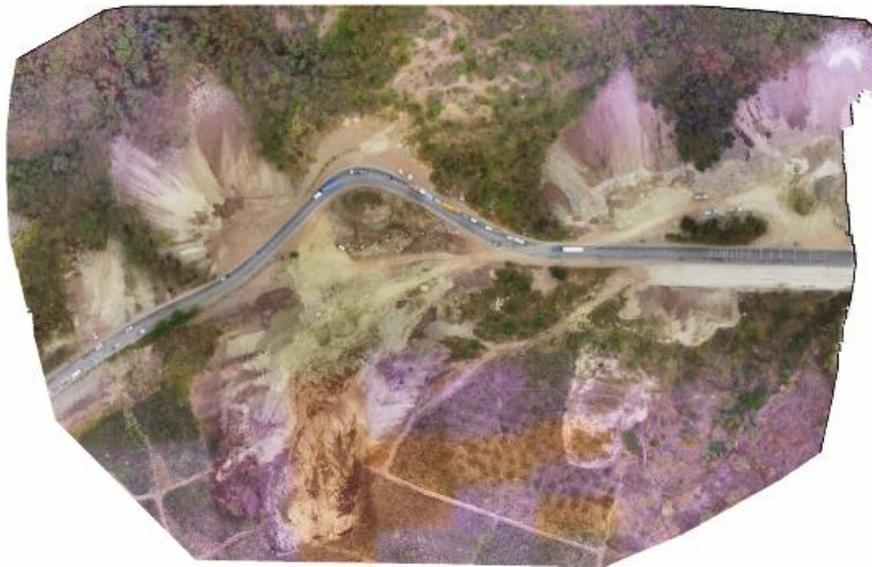
- **Ubicación y localización:** es la franja alargada que se encuentra repartida a lo largo del río Motagua, desde el límite departamental de Guatemala y Baja Verapaz, donde se une el río Pixcayá con el río Motagua, pasando por los poblados de El Rancho y Gualán hasta Los Amates en Izabal.
- **Morfografía:** son pequeñas extensiones de depósitos de ladera que se inclinan hacia el río Motagua, con elevaciones de 50 msnm a 400 msnm. Las laderas son de topografía moderada con pendientes entre 8 y 18 %.
- **Tipo de roca:** las rocas son sedimentarias clásticas, lutitas, areniscas y conglomerados de las formaciones Subinal, conocidas como capas rojas.
- **Morfogénesis:** las terrazas son de origen coluvio-aluvial, situadas en un valle más antiguo formado por el río Motagua. Posteriormente, el río cortó los sedimentos hasta construir las terrazas. Esta unidad se originó por la erosión, transporte y deposición de fragmentos de rocas de la Sierra de las Minas situada al norte y del Espíritu Santo situada al sur. Este proceso de erosión dio origen a fracciones redondeadas de arena y gravas de cuarzo, serpentinita y restos de rocas metamórficas.

- Morfocronología: la sedimentación de las partículas ocurrió a partir del Mioceno, por lo que es posible que la unidad se formara a fines del Mioceno o principios del Plioceno. (pp.54-55).

1.10. Dimensionamiento del deslizamiento

La ladera ubicada en el Km.78+600 al Km.78+800 de la ruta CA-9 Norte físicamente está formada en un área de 37 321,36 m² (3,74 Ha), las elevaciones oscilan entre los 510 msnm a 572 msnm, posee una pendiente máxima de 40,9 %; en lo que respecta al volumen de la masa de suelo se estima entre 300 000 m³ a 350 000 m³ de material perteneciente a la curva de falla del deslizamiento.

Figura 8. Vista del área del deslizamiento del km.78+600 al km.78+800 ruta CA-9 Norte



Fuente: elaboración propia, software Pix4D versión gratuita.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Talud

Braja M. Das (2015) define como talud una superficie de suelo expuesto que se sitúa en un ángulo con la horizontal. En muchos casos se espera que los especialistas en suelos realicen cálculos para verificar la seguridad de las laderas, taludes de excavaciones y terraplenes compactados. Este proceso, llamado análisis de estabilidad de taludes, involucra la determinación y comparación del corte desarrollado a lo largo de la superficie de ruptura más probable con la resistencia del suelo al corte.

No es una tarea fácil, sin embargo, la evaluación de las variables como la estratigrafía del suelo del suelo y los parámetros de resistencia al corte del suelo *in situ*; así como, las infiltraciones a través del talud y la elección de una superficie de deslizamiento potencial, añaden complejidad al problema.

Cuando el talud se produce de forma natural, sin intervención antrópica, se denomina ladera, mientras que cuando son realizados por el hombre se denominan cortes o taludes artificiales, según sea la génesis de su formación.

Braja M. Das (2015) afirma que, los factores que determinan la estabilidad de una ladera se clasifican en internos y externos, la estabilidad está relacionada a la movilización de la masa de suelo a lo largo de una superficie de falla por cambios en el estado de esfuerzos.

Los factores internos están directamente asociados al suelo y sus propiedades y la presión de confinamiento de la masa de suelo, los cuales son los que aportan los esfuerzos resistentes del material que compone el talud.

Autores como Sánchez y Urrego (2011), definen los factores internos:

- Geomorfológicos: la morfogénesis, morfometría (pendiente, forma de la ladera) y morfodinámica (procesos de estabilidad y de erosión).
- Geotécnicos: relacionados principalmente a las propiedades físicas como la densidad, la humedad y el grado de saturación; propiedades mecánicas las cuales definen el estado de esfuerzos y deformaciones de la masa de suelo y las propiedades hidráulicas de permeabilidad y difusividad.
- Geológicos: litología, estructura y grado de meteorización. Igualmente, importante es la génesis de los diferentes depósitos o materiales, ya que algunos de estos pudieron haberse depositado en estado muy suelto, posibilitando una susceptibilidad alta a deslizamientos de algunos tipos de depósitos.
- Hidrogeológicos: asociada al tipo y densidad del drenaje de la cuenca y régimen de flujo, los cuales pueden ser en forma de flujo superficial, subsuperficial y subterráneo.

Por su parte, los factores externos están asociados al medio ambiente y acción del ser humano:

- **Clima:** entre los factores que más contribuyentes a los procesos de inestabilidad en taludes o laderas está la lluvia, ya que esta tiene un efecto de saturación del terreno, lo que favorece al aumento en el peso volumétrico y una reducción en la resistencia al corte del material debido a los cambios en las presiones de poros, igualmente la escorrentía superficial puede propiciar socavación de la pata del talud, deslaves y cambios en la geometría de las laderas (Morales y López, 2003).
- **Sismos:** ejercen un lugar muy importante dentro de los factores externos que activan la inestabilidad de las laderas. De acuerdo con estadísticas mundiales sobre los 25 deslizamientos más catastróficos ocurridos en el siglo XX, el 36 % de ellos fue desatado por acciones sísmicas. El efecto que tienen las ondas sísmicas sobre el macizo tiende a hacerse aún más crítico debido a los efectos de amplificación que se producen por la topografía y el tipo de material a través del cual viajan las ondas (Morales y López, 2003).
- **Factores antrópicos:** están asociados con los efectos que las acciones del hombre tienen sobre las condiciones naturales de una ladera, como son los cortes, las sobrecargas, la tala de árboles, la obstrucción de drenajes, el uso del suelo y los desembalses (Sánchez y Urrego, 2011).

2.2. Pliegue

Son deformaciones producidas en los estratos de roca mientras se encuentran en su estado plástico, la magnitud puede variar entre centímetros a cientos de kilómetros. Se producen principalmente en bordes compresivos de las placas. Según Duque Escobar (2017) muchas rocas que en la superficie terrestre se comportan frágiles, pasan en la profundidad al comportamiento dúctil, plegándose frente a esfuerzos de compresión y cizalla, ya que la mayor presión y temperatura existen en el subsuelo favorecen la deformación plástica de las rocas.

2.2.1. Tipos de pliegue

Duque Escobar (2017) clasifica los pliegues de la siguiente manera:

- Pliegue de flexión: se conforman de rocas competentes (duras).
- Pliegues de flujo: se forman en donde hay rocas incompetentes (blandas), estas rocas se comportan como una pasta espesa y suelen formar muchos pliegues menores.
- Pliegues de cizalladura o deslizamiento: se producen en rocas frágiles por la formación de pequeñas fracturas laminares. (p.234).

2.3. Falla

La interpretación de las condiciones geológicas de un talud o una ladera permite identificar las causas del movimiento de laderas y su interacción con los factores que modifican su naturaleza.

El origen de una falla o diaclasa, supone un origen en común, debido a la liberación de energía de presión por encima del límite plástico de las rocas, las fallas se definen como fracturas o zona de fracturas a lo largo de la cual ha ocurrido un desplazamiento relativo de los bloques paralelos de la fractura.

A diferencia de las diaclasas en las fallas existe desplazamiento importante de una masa con respecto a otra. Autores como Bates y Jackson (1980) indican que la zona de ruptura tiene una superficie generalmente bien definida denominada plano de falla y su formación acompañada de un deslizamiento tangencial de las rocas respecto de ese plano.

2.3.1. Tipos de falla

El Instituto Nacional de Preservación Sísmica (INPRES, 2016) define tres tipos de fallas:

- Falla normal: se genera por tensión horizontal. Las fuerzas inducidas en la roca son perpendiculares al acimut de la falla, y el movimiento es predominantemente vertical respecto del plano de falla.

- Falla inversa: generada por compresión horizontal. El movimiento es perfectamente horizontal y el plano de falla tiene típicamente un ángulo de 30° respecto de la horizontal. Cuando las fallas inversas presentan un buzamiento inferior a 45°, estas también toman el nombre de cabalgamiento.
- Falla de desgarre o de desplazamiento de rumbo: se desarrolla a lo largo de planos verticales y el movimiento de los bloques es horizontal, son típicamente de límites transformantes de placas tectónicas. (p.3).

2.3.2. Fallas más comunes en los taludes de carreteras

Las vías terrestres en Guatemala debido a la complejidad del relieve se han construido a través del tiempo desafiando la topografía y geomorfología de las distintas regiones, a continuación, Navarro (2009) enumera los factores más importantes que afectan principalmente a las laderas y taludes:

- Factores geomorfológicos
 - Topografía en el entorno de los taludes
 - Distribución de las discontinuidades y estratificaciones
- Factores internos
 - Propiedades mecánicas de los suelos
 - Estados de esfuerzos actuantes
 - Factores climáticos e hidrológicos (p.6):

A continuación, se describen las fallas más comunes de las laderas y taludes en carreteras.

2.3.3.1 Fallas ligadas a la estabilidad de las laderas naturales

Dentro de los peligros naturales ligados a la geodinámica externa o dinámica terrestre superficial, los movimientos de ladera constituyen el peligro natural más importante tras las inundaciones, los cuales son muy comunes en Guatemala.

De acuerdo con Crozier (1986), un movimiento de ladera es una masa de suelo, derrubio y/o roca que se mueve pendiente abajo impulsado por fuerzas gravitacionales. En ellos confluyen un gran número de factores condicionantes y desencadenantes, tipologías y mecanismos de rotura; todo ello, dificulta notablemente la determinación de las causas y el planteamiento de medidas para su prevención y corrección.

Por su parte, Navarro (2009) indica que “se agrupan en esta división las fallas que ocurren comúnmente en las laderas, aun cuando de un modo u otro también pudiera presentarse de manera ocasional en taludes.” (p.6)

2.3.3.2 Deslizamiento superficial asociado a la falta de resistencia por baja presión de confinamiento (Creep)

Navarro (2009) menciona dos clases de creep, según Terzaghi; “el estacionario, que afecta solo a la corteza superficial de la ladera que sufre la influencia de los cambios climáticos en forma de expansiones y contracciones térmicas, y el masivo que afecta a estratos de tierra más profundas, no interesadas por los efectos ambientales y que en consecuencia solo se puede atribuir a efecto gravitacional.” (p.7)

2.3.3.3 Fallas asociadas a los procesos de deformación acumulativa, generalmente relacionada con perfiles geológicos desfavorables

Navarro (2009) afirma que, este tipo de fallas comúnmente ocurren en las laderas originadas de procesos de deformación acumulativa, por la tendencia de las masas de tierra a moverse ladera abajo. “Este tipo de fallas quizá es típico de laderas en depósitos de talud o en otras formaciones análogas en cuanto a la génesis geológica, formada por materiales bastante heterogéneos, no consolidada y bajo la acción casi exclusiva de la acción de la gravedad.” (p.8)

Dado el largo tiempo que tales esfuerzos gravitacionales actúan en los materiales del interior de la ladera, la resistencia al esfuerzo cortante podrá degradarse por procesos de deformación acumulativa y en ciertas zonas dentro de la ladera, se desarrollarán estados de *creep* profundo. Según autores como Goldstein y Ter-Stepanian (1957) “se desarrollan estados de deformación continua muy lenta en aquellas zonas del interior de la ladera en que existan concentraciones locales de esfuerzos cortantes.” (p.8)

En tales condiciones, “la ladera puede deformarse durante largo tiempo, hasta que eventualmente, tal acumulación de deformación desenlace la ruptura del suelo y la formación de una superficie de falla generalizada en el interior de la propia ladera.” (p.8)

La superficie de falla típica de un proceso de deformación progresiva es de forma casi plana. A ello pueden contribuir varios factores, entre ellos:

- La geología de la zona, pues en una ladera natural las estratificaciones tienden a seguir la forma de la frontera exterior de la ladera.
- Los procesos de deformación lenta anteriores a la falla estimulan más bien la generación de planos de deslizamiento.
- La inclinación del plano es superior al ángulo de fricción, que pueda atribuirse a la masa deslizante respecto de las masas fijas.

La presencia de agua de los estratos de suelo próximos a la superficie de falla desempeña un papel fundamental en la estabilidad del macizo.

2.3.3. Falla por deslizamiento superficial

Navarro (2009) indica que “cualquier talud está sujeto a presiones naturales que tienden a hacer que las partículas y porciones del suelo próximas a su frontera deslicen hacia abajo; el fenómeno es más intenso cerca de la superficie inclinada del talud de la falta de presión normal confinante que allí existe.” (p.9).

2.3.4. Deslizamiento en laderas naturales sobre superficie de falla preexistente

En la mayor parte de laderas existe movimiento hacia debajo de una porción importante del material; producido por un proceso de deformación lento bajo esfuerzos cortantes en partes más profundas, que en muchas ocasiones llega a producir una verdadera superficie de falla.

2.3.5. Falla por movimiento del cuerpo del talud

En los taludes y laderas pueden darse movimientos bruscos que afectan gran parte de masas de suelo, con superficies de falla que penetran profundamente en su cuerpo. A diferencia de los movimientos superficiales lentos, estos pueden originar inestabilidad en el cuerpo del macizo y provocar deslizamientos de considerables proporciones.

Estos fenómenos reciben comúnmente el nombre de deslizamiento de tierras, entre ellos existen dos tipos, en primer lugar, el que se define como falla curva o fallas de rotación y el segundo las fallas que se producen a lo largo de superficies débiles. (Navarro, 2009, p.10)

2.3.6. Flujos

El material susceptible de fluir puede ser cualquier formación no consolidadas y se puede presentar variación en su composición (fragmentos de roca, depósitos de talud, suelos granulares finos o arcillas francas); son frecuentes los flujos, en lodo cuando existe saturación presente en el macizo.

Este tipo de falla se caracteriza por presentar un movimiento más o menos rápido de una parte de la ladera, de tal manera que el movimiento en sí y la distribución aparente de velocidades y desplazamientos es similar al comportamiento de un líquido viscoso. (Navarro, 2009, p.11).

2.3.7. Fallas por erosión

Estas fallas en taludes son de tipo superficial producidas por arrastres de viento, agua, factores antrópicos, entre otros. El fenómeno es más notorio cuando la topografía de la zona es variada y los efectos de la meteorización perjudican al suelo.

2.3.8. Fallas por licuación

Este fenómeno conocido como “licuefacción”, ocurre cuando en la zona de deslizamiento el suelo pasa rápidamente de una condición firme a una suspensión, obteniendo una casi total de la capacidad portante del suelo.

Navarro (2009) afirma que “estos fenómenos ocurren principalmente en arcillas extrasensitivas y arenas poco compactas, las cuales al ser perturbadas pasan rápidamente de una condición a otra, lo cual se debe al aumento de la presión de poros, por consiguiente, la pérdida de la resistencia al cortante.” (p.11).

2.3.9. Falla rotacional

Las fallas rotacionales son movimientos instantáneos que se dan en taludes y laderas. Regularmente se conforman por materiales arcillosos homogéneos o en suelos cuyo comportamiento mecánico es controlado por su fracción arcillosa.

Afectan masas profundas a lo largo de una superficie de falla desarrolladas en el interior del cuerpo del talud.

Por su parte las fallas rotacionales de forma distinta a la circular parecen estar asociadas sobre todo a arcillas sobre consolidadas que se presentan en taludes no homogéneos, por diferencias en la meteorización, por influencia de la estratificación o por pocas causas que se reflejan en discontinuidades. (Navarro, 2009, p.12).

2.3.10. Falla traslacional

Casi siempre estas fallas son asociadas a la presencia de estratos débiles conformados por arcillas blandas, arenas finas o limos no plásticos sueltos, localizados a poca profundidad bajo el talud; consiste en movimientos traslacionales importantes en el macizo sobre superficies de falla principalmente planas, paralelas al estrato débil y se remata en sus extremos, usualmente formados por agrietamientos.

Frecuentemente la debilidad está relacionada a las elevadas presiones de poros en el agua contenida en las arcillas o al fenómeno de elevación de los acuíferos. Por tal motivo, estas fallas pueden estar íntimamente ligadas a la temporada de lluvias de la región. (Navarro, 2009.p.12).

2.3.11. Falla múltiple

En taludes y laderas afectados por fenómenos de tipo natural y antrópico, pueden originarse diferentes tipos de fallas con varias superficies de deslizamientos que pueden ser simultáneas o de rápida sucesión.

Es importante enfocarse en las causas en detalle que ocasionan las fallas del suelo, que son originadas por fallas geológicas y que deben ser entendidas desde el punto de vista de su origen, interacción y comportamiento para identificar los focos que afectan las zonas de estudio.

2.4. Suelos residuales

Suárez (2009) expone que “los suelos residuales son los que se forman en el sitio producto de procesos de meteorización física y química y se desarrollan principalmente, en condiciones tropicales húmedas, de meteorización química intensa” (p.389).

Se conoce que el comportamiento ingenieril de los suelos residuales es muy diferente al de los suelos transportados y depositados. Sus propiedades son una respuesta a la combinación de los ambientes encontrados en los trópicos, relacionados con factores como el clima, la lluvia, los regímenes de temperatura, la litología del material de roca parental, el movimiento del agua, las condiciones de drenaje, el relieve, la vegetación, la edad y los niveles de meteorización, entre otros. (Suárez, 2009, p.389)

La meteorización o la falta de litificación traen como resultado, un material con discontinuidades o superficies de debilidad y una alta probabilidad del movimiento por deslizamiento a lo largo de dichas discontinuidades o por falla por cortante o tensión a través de la matriz del material.

**Figura 9. Muestras de roca aparentemente meteorizadas, deslizamiento
km. 78+600 al 78+800 CA-9 Norte**

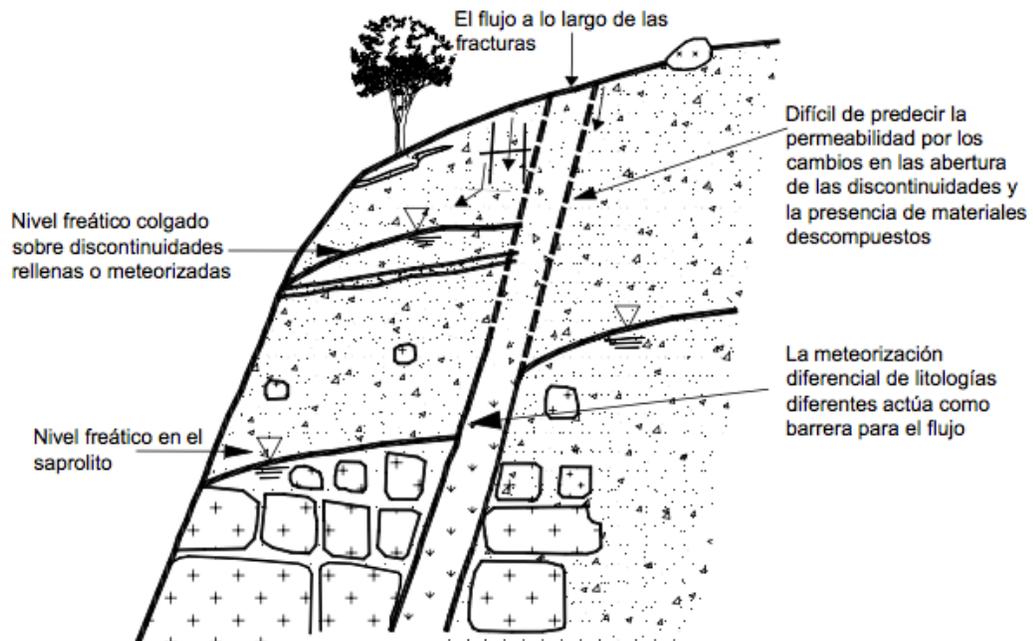


Fuente: elaboración propia.

2.4.1. Características de un suelo residual

Como lo define Blight (1997) un suelo residual varía de una región a otra, pero una definición razonable podría ser la de un suelo derivado de la meteorización y descomposición de la roca en el sitio, el cual no ha sido transportado de su localización original.

Figura 10. Efecto de la heterogeneidad del macizo de suelos residuales en las acumulaciones de agua (Hencher y McNicholl, 1995)



Fuente: Suárez. (2009). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*.

La heterogeneidad de un suelo residual afecta principalmente el régimen de aguas subterráneas (figura 11). Hencher y otros autores (1984), concluyen que las condiciones hidrogeológicas relacionadas con las diferencias de conductividad hidráulica, son muy difíciles de plasmar en los análisis de estabilidad, en ocasiones, se presentan deslizamientos relacionados con aguas subterráneas no identificadas las cuales no fueron posibles de modelar.

El comportamiento de los suelos residuales está influido por las estructuras heredadas de la roca madre. La litología tiene una influencia determinante sobre la meteorización. La resistencia a la descomposición química varía según el tipo de roca, siendo las cuarcitas las más resistentes por su parte las calizas, lutitas y granitos las rocas de descomposición rápida (Suárez, 2009).

2.5. Procesos de meteorización

Gidigasú (1972) (como se citó en Suárez, 2009) afirma que, en los ambientes tropicales dominados por temperaturas altas y cambiantes, así como lluvias abundantes, la meteorización de los materiales puede ser alta, caracterizándose por la descomposición rápida de feldespatos y minerales ferromagnesianos, la concentración de óxidos de hierro y aluminio y la remoción de sílice.

2.5.1. Meteorización física

Suárez (2009) indica que este proceso de fragmentación consiste en la apertura de diminutas discontinuidades, las cuales se desintegran formando nuevas discontinuidades por fracturación; aumentando la relación de vacíos y permeabilidad y disminuyendo la cohesión del suelo.

2.5.2. Meteorización química

Esta puede ser ocasionada por procesos químicos o biológicos, dependen de los procesos hídricos, en algunos casos, de la saturación del suelo para mantener activo el proceso químico.

“La meteorización generalmente avanza hacia debajo de la superficie y a través de las juntas y demás conductos de percolación, produciendo variaciones de intensidad, de meteorización y dejando bloques internos de material no descompuesto” (Suárez, 2009, p.395).

Los procesos químicos más sobresalientes son los siguientes:

- Hidratación
- Hidrólisis
- Remoción de minerales por acción de los ácidos
- Lavado de cementantes
- Intercambio catiónico
- Oxidación
- Disolución

En la meteorización química, las sales o silicatos se descomponen a arcillas. Se incrementa el contenido de arcilla y de suelo en general y se disminuye por fricción. Es muy común que los silicatos se descompongan en arcillas expansivas, lo cual hace que se reduzca la densidad y la resistencia del suelo.

2.5.3. Factores que influyen en la meteorización

Son muchos los factores que actúan de forma coordinada para producir la meteorización. Cada uno precisa condiciones importantes para incidir en este proceso, de acuerdo con Suárez (2009), son los siguientes:

- Efecto de la litología: la susceptibilidad de las rocas a la acción química es una función de su descomposición mineralógica, textura y presencia de fracturas. El proceso de meteorización incrementa con la proporción de finos de los granos, con la porosidad y con la permeabilidad.

- Efecto de la permeabilidad del perfil de suelo: la conductividad hidráulica, según Jadobeyoff (2004), del suelo residual se puede dividir en dos subsistemas. Zona de alta permeabilidad, está compuesta por la red de fracturas, permite el paso rápido del agua y la disolución debe también ser rápida. Zona de baja permeabilidad, permite los cambios mineralógicos tales como la precipitación y la disolución de minerales en condiciones de saturación.
- Efecto del clima: ejerce influencia importante en la meteorización, especialmente la humedad relativa y la temperatura. Las reacciones químicas aumentan a cada 10° C de temperatura.
- Efecto del relieve: en zonas de topografía abrupta predominan los procesos de la meteorización mecánica, especialmente por acción del alivio a descargue de geopresiones, cambios de temperatura, procesos de hundimiento, secado y cristalización de los materiales.
- Otros factores: la frecuencia de discontinuidades, efectos ambientales ya que inciden en la meteorización, sobre todo, por las condiciones de humedad y temperatura.

2.6. Medición del grado de meteorización

Los trabajos publicados referentes al tema de la medición del grado de meteorización, utilizan prácticas de campo tanto de inspección como procedimientos mecánicos para caracterizar los suelos residuales. Esto debido, a que los suelos residuales son heterogéneos, estructurados y pueden contener grandes bloques de roca, lo que hace complicado obtener muestras inalteradas para su caracterización.

El grado de meteorización puede medirse de varias formas según lo describe Suárez (2009):

2.6.1. Color y decoloración

La tonalidad de un suelo puede describir el avance del proceso de meteorización. Se debe analizar sobre la naturaleza de los cambios de color y a qué proceso de alteración corresponden. Cuando se considera apropiado, pueden utilizarse tablas estándar de colores empleadas en geología.

2.6.2. Estado de las fracturas

Es fundamental describir los cambios que han ocurrido en los fracturamientos de roca. Esta información debe ser lo más precisa posible y utilizarse convenciones según las normas o métodos universalmente aceptados.

2.6.3. Arenosidad

La forma más práctica de obtener dicho valor es utilizando un cuchillo o una puntilla y determinar la facilidad con la cual se puede cortar según índice de arenosidad (tabla II).

Tabla II. **Medición del grado de descomposición de feldespatos mediante el ensayo de arenosidad**

GRADO DE DESCOMPOSICIÓN	TÉRMINOS DE ARENOSIDAD	MODO DE RECONOCIMIENTO
Fresco	Duro	No puede ser cortado por un cuchillo, ni gravado por una puntilla.
Moderado	Arenoso	Puede ser cortado por un cuchillo o gravado por una puntilla.
Alto	Delenzable	Puede ser desmoronado a fragmentos de limo con las manos.
Completo	Blando	Puede ser moldeado fácilmente con las manos.

Fuente: Suárez. (2009). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*.

2.6.4. Ensayo de penetración estándar (SPT)

El ensayo de penetración estándar puede relacionarse con la meteorización de materiales blandos y se puede diferenciar el suelo propiamente dicho de la roca meteorizada. Sin embargo, para obtener una buena clasificación de datos debe estar basada en un número importante de datos.

2.6.5. Índice micro-petrográfico

Autores como Irfan y Dearman (1978) (como se citó en Suárez, 2009) aseguran que para medir el grado de descomposición se emplea el índice micro-petrográfico, en el cual se determinan los porcentajes de materiales inalterados y alterados que utilizan una magnificación de 100 veces con un mínimo de tres secciones delgadas analizadas y un mínimo de 90 puntos contados en cada caso.

$$\text{IMP} = \frac{\% \text{ de materiales inalterados}}{\% \text{ de materiales alterados}}$$

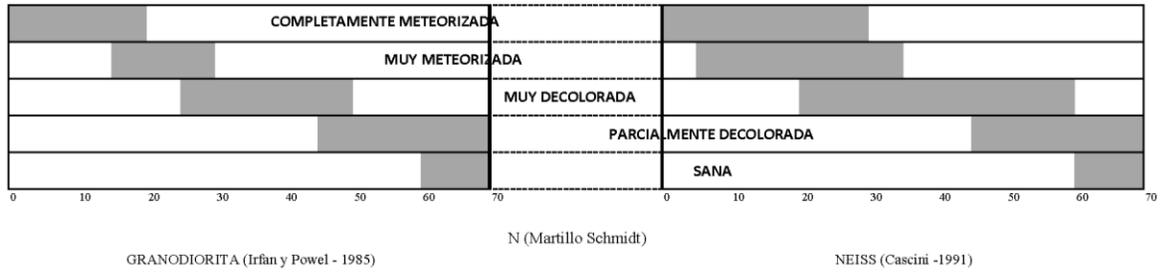
$$\text{IMP} = \frac{\% (\text{cuarzo} + \text{feldespatos inalterados} + \text{biotita inalterada})}{\% (\text{minerales alterados} + \text{vacíos} + \text{microgrietas})}$$

2.6.6. Martillo de Schmidt

Un método para evaluar en campo el grado de meteorización, es utilizando el martillo de Schmidt o esclerómetro. Este instrumento, mide el rebote de un pistón metálico, cargado con un resorte que se golpea contra la superficie de la roca.

El rebote es un índice de la resistencia a compresión y corte, se utiliza para la determinación del grado de meteorización, previo a la elaboración de una carta de calibración con criterios similares a los presentados por Irfan y Powel (1985) y Cascini y otros (1991), los cuales se muestran en la tabla III.

Tabla III. **Relación entre el grado de meteorización y el índice de rebote del martillo de Schmidt**



Fuente: Suárez. (2009). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*.

3. MARCO METODOLÓGICO

Dentro de los alcances de este trabajo, está determinar mediante el estudio de campo y gabinete, la incidencia derivada de la formación geológica existente, factor hidrogeológico y afectación de la ladera por factores antrópicos. Como consecuencia de la combinación de estos factores se permite conocer las propiedades físico-mecánicas del suelo. Así mismo, analizar el bloque afectado mediante el uso de herramientas geotécnicas para establecer las condiciones de los estratos del suelo.

Se indicarán los valores cuantitativos de las distintas propiedades que posteriormente, serán evaluadas con el fin de comprobar la hipótesis y cumplir con los objetivos planteados.

3.1. Ensayos de laboratorio y campo

La primera fase del estudio abarca herramientas geofísicas como los sondeos verticales, análisis sísmico multicanal de ondas superficiales, tomografías eléctricas, mediciones topográficas e inclinómetro para control del movimiento del deslizamiento.

La segunda fase consiste en caracterizar el suelo existente en la ladera, para ello se realizaron ensayos de laboratorio, de muestras obtenidas mediante la exploración de dos pozos a cielo abierto, en puntos estratégicos del deslizamiento para determinar las propiedades físico-mecánicas y su clasificación desde el punto de vista de la mecánica de suelos.

Los valores obtenidos y resultados de laboratorio se presentan ampliamente en el capítulo 4.

Figura 11. Toma de muestras inalteradas, km.78+700 CA-9



Fuente: elaboración propia.

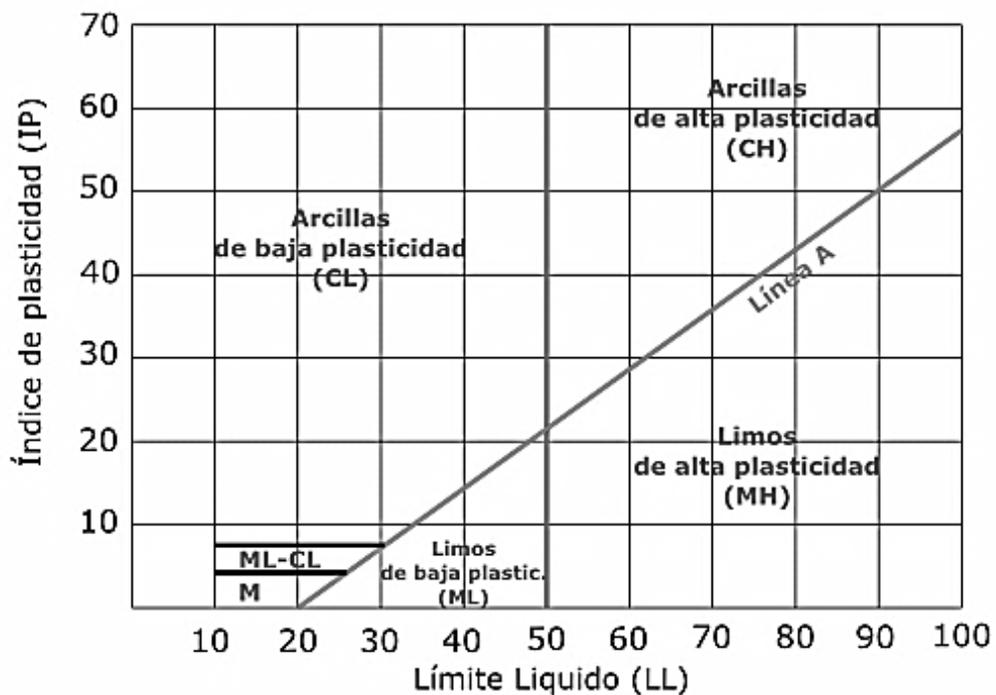
3.1.1. Clasificación del suelo

La determinación y cuantificación de las propiedades del suelo pueden ser clasificadas en grupos y subgrupos en función de las características mecánicas y su comportamiento para la geotecnia.

Una adecuada y rigurosa clasificación, permite al ingeniero geotecnista, tener una visión preliminar sobre el comportamiento del suelo y la roca del área en estudio, a partir de propiedades de sencilla determinación. Comúnmente la granulometría y plasticidad de un suelo es suficiente para predecir su comportamiento mecánico.

Para aplicaciones ingenieriles comúnmente son utilizados los sistemas de clasificación del AASHTO, para los fines de la ingeniería geotécnica se recomienda utilizar el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS). Fue propuesto por Casagrande en 1948 y empleado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial. Consiste en agrupar los suelos por medio de un prefijo que designa su composición y un sufijo que matiza sus propiedades.

Figura 12. **Gráfica de plasticidad**



Fuente: NACLE2. (2016). *Gráfica de plasticidad del USCS*. Recuperado de <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=18514532>

Tabla IV. Criterios para la clasificación de suelos por sistema unificado

Criterio para la asignación de símbolos de grupo		Símbolos de subgrupos
Suelos de grano grueso (Más de 50% retenido en el tamiz No.200)	Gravas limpias < de 5% finos <u>a</u>	GW
	Gravas con finos > de 12% finos <u>a,d</u>	GP GM GC
Arenas (Más de 50% de fracción gruesa pasa en el tamiz No.4)	Arenas limpias < de 5% finos <u>b</u>	SW
	Arenas con finos > de 12% finos <u>b,d</u>	SP SM SC
Suelos de grano fino (50% o mas pasa a través del tamiz No.200)	Inorgánico	CL ML OL
	Orgánico	CH MH OH
Suelos Altamente Orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico.	Pt

a Gravass con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC
b Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC
c $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$; $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$
d Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la Fig.7, se usa doble símbolo GC – GM o SC – SM.
e Si $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la Fig.7, se usa doble símbolo CL – ML

Fuente: Braja. (2015). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*.

Implícito a esta clasificación, se incluyen ensayos de laboratorio, que proporcionan diferentes criterios, entre los que se tienen los siguientes:

3.1.1.1 Análisis granulométrico (ASTM D 6913-04)

Con el fin de obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en una muestra de suelo, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente, para determinar cuantitativamente la masa de partículas según su graduación.

Se utiliza el método de análisis mecánico, mediante tamices de abertura y numeración, para suelos con tamaño de partículas mayor a 0,074 mm (retenidas en el tamiz No.200) y menores de 76,12 mm (retenidas en el tamiz 3”), indicado en la tabla V. En el caso de suelos de tamaño inferior se utiliza el método del hidrómetro, basado en la ley de Stokes, el cual se amplía en la sección 3.1.1.2 (www.astm.org, 2018).

Tabla V. **Tabla de numeración y abertura de tamices**

TAMIZ (ASTM)	ABERTURA REAL (mm.)	TIPO DE SUELO
3"	76.12	GRAVA
2"	50.8	
1 1/2"	38.1	
1"	25.4	
3/4"	19.05	
3/8"	9.52	
No.4	4.76	ARENA GRUESA
No.10	2	ARENA MEDIA
No.20	0.84	
No.40	0.42	
No.60	0.25	ARENA FINA
No.140	0.105	
No.200	0.074	

Fuente: Espinace. (1979) *Método para análisis mecánico*.

3.1.1.2 Análisis granulométrico por sedimentación (ASTM D 422-02)

Se utiliza para obtener un valor estimado de la distribución granulométrica, de muestras de suelo de los cuales sus partículas se encuentren comprendidas entre los 0,074 mm (retenidas en el tamiz No.200) y hasta alrededor de 0,001 mm.

El método cubre la determinación cualitativa de la distribución de tamaños de las partículas, se aplica para evaluar la fracción de grano fino de un suelo con un amplio rango de tamaños de partículas de la muestra, combinando los resultados de sedimentación con un análisis de tamiz.

Este análisis utiliza la relación entre la velocidad de caída de una esfera de fluido, el diámetro de la esfera, el peso específico de la esfera como del fluido y la viscosidad de este. La velocidad se expresa por medio de la expresión de Stokes (www.astm.org, 2018).

3.1.1.3 Límites de Atterberg (AASHTO T89 y T90)

Son ensayos de laboratorio normalizados necesarios para realizar la clasificación de los suelos, se usan para representar los contenidos de agua o humedad con los cuales se producen los cambios de estados (sólido, semisólido, plástico o semilíquido), marcan una separación arbitraria pero suficientemente práctica, entre los cuatro estados mencionados.

Los ensayos se realizan en laboratorio y determinan la cohesión del terreno y contenido de humedad, para ello se forman muestras cilíndricas con la muestra de suelo. De acuerdo con el procedimiento de laboratorio se definen dos límites:

- Límite líquido: cuando el suelo pasa de un estado plástico a estado líquido. (AASHTO T89, 2018)
- Límite plástico: cuando el suelo pasa de un estado semisólido a estado plástico. (AASHTO T90, 2018)

Con ellos es posible clasificar el suelo según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

3.2. Ensayo de medición de la conductividad hidráulica (permeabilidad) (ASTM D 5856-00)

Este método de prueba cubre la medición de laboratorio, de la conductividad hidráulica (también denominado coeficiente de permeabilidad), de materiales compactados en laboratorio con un permeámetro de moldes de compactación de pared rígida.

Se puede usar con muestras compactadas en laboratorio que tienen una conductividad hidráulica menor o igual a 1×10^{-5} m/s. La conductividad hidráulica de los materiales compactados que tienen conductividades hidráulicas superiores a 1×10^{-5} m/s puede determinarse mediante el método de prueba D 2434 (www.astm.org, 2018).

3.3. Ensayo de gravedad específica (ASTM D 854-05)

El método de gravedad específica basado en la norma ASTM D 854-05, cubre la determinación específica de los sólidos del suelo que pasan el tamiz de 4,75 mm (No.4), por medio de un picnómetro de agua. Cuando un suelo contiene partículas más grandes que el tamiz de 4,75 mm, el método de prueba C 127 se utiliza para los sólidos del suelo retenidos en el tamiz de 4,75 mm y estos métodos de prueba se usan para los sólidos del suelo que pasan del tamiz 4,75 mm (www.astm.org, 2018).

3.4. Ensayo de corte directo (ASTM D 3080-98)

La resistencia al esfuerzo cortante que presentan los suelos es sin duda uno de los factores de mayor importancia en la caracterización de materiales térreos, con el fin de conocer los parámetros necesarios para evaluar las condiciones de estabilidad del terreo para las obras de ingeniería.

Juárez Badillo (2012) expone en su libro "*Mecánica de suelos*", que, en cuanto al tema de resistencia al esfuerzo cortante, se encuentra en transición, pues con las teorías impuestas por Mohr Coulomb se tenía certeza de haber resuelto el problema en forma satisfactoria; Hoy día no se piensa lo mismo y no se pueden considerar propiedades del suelo como la cohesión y el ángulo de fricción como apellidos del mismo.

Además, expone que hoy en día las tecnologías o investigaciones actuales no han podido sustituir el cuerpo de doctrina, sistematizarlo y completarlo como antes se disponía.

Este ensayo cubre la determinación de la resistencia al corte de drenado del suelo en corte directo, tiene como propósito proporcionar datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos (www.astm.org, 2018):

- Densidad seca y húmeda
- Cohesión aparente
- Contenido de humedad de la muestra
- Ángulo de fricción
- Gráfico esfuerzo normal vs esfuerzo de corte

3.5. Sondeo de penetración estándar (SPT) (ASTM D 1586-11)

Se emplea para recuperar muestras alteradas de suelo, las cuales permiten la identificación de las muestras de suelo perturbadas con el fin de medir la resistencia del suelo y la caracterización general del mismo; así como, interpretar la columna estratigráfica de la zona donde se realiza el ensayo. En base al número de golpes que se necesitan para hincar el penetrómetro (muestreador) usado se estima mediante relaciones empíricas, la resistencia al corte del suelo.

La ejecución de este sondeo requiere la utilización de una tubería muestreadora que se acopla en la parte inferior de un conjunto de barras de acero, un martinete el cual posee un peso de 63,50 kg con una caída de 76,00 cm y el malacate que se enrolla a un cable de 1,90 cm a 2,50 cm de diámetro, utilizado para levantar el martinete y dejarlo caer.

Este método de prueba implica el uso de equipo de perforación rotatorio (Guía D 5783, práctica D 6151), ya que se limita al uso en suelos no litificados y en que el tamaño máximo de partículas es aproximadamente menos de la mitad del diámetro del muestreador (www.astm.org, 2018).

3.6. Análisis multicanal de ondas superficiales (MASW)

Este método se utiliza para evaluar la velocidad de onda de corte (V_s), vinculado al mismo módulo de corte (G), también analiza las propiedades de dispersión de los modos fundamentales de las ondas Rayleigh, las cuales se propagan a lo largo de la superficie desde el punto de impacto a los receptores (Park *et al.*, 1999).

Los registros se realizan con 12 o más geófonos en distancias cortas y largas desde una fuente impulsiva o vibratoria, que proporcionan una redundancia estadística para medir las velocidades de fase. Los datos multicanal permiten la identificación y rechazo de los modos no fundamentales de onda Rayleigh, permiten también un proceso más efectivo para la eliminación del ruido y un proceso de recolección de datos más rápido (Louie, J. 2001).

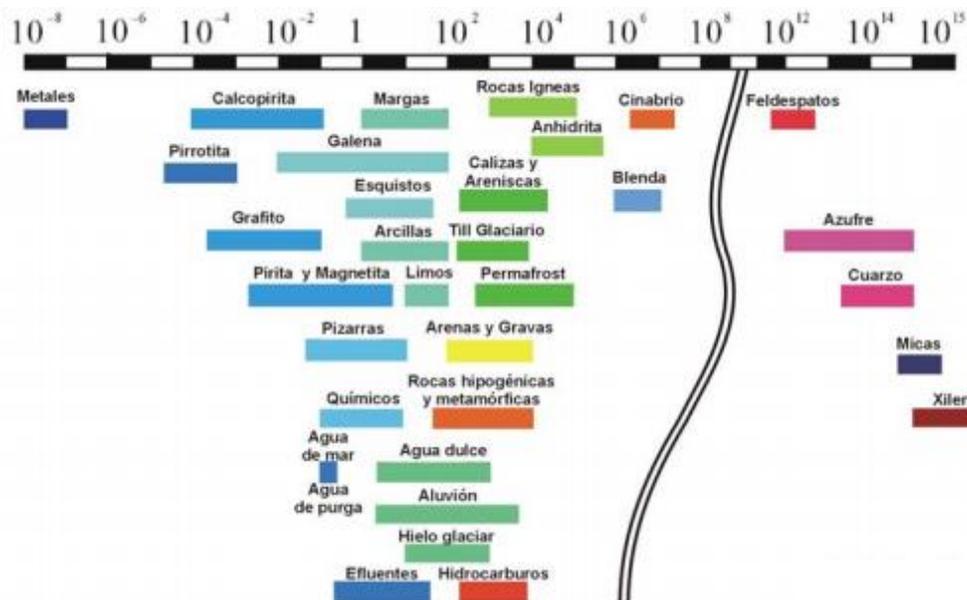
El método es aplicado para conocer parámetros geofísicos que se pueden relacionar a los problemas geotécnicos, como lo es el módulo de corte. Así mismo, permite identificar estratos de suelo menos densos entre estratos duros, determinación de morfologías y espesores de estratos del suelo, estado de compactación y fractura de los materiales, estimación de modulo elástico de deformación, entre otros.

3.7. Tomografías eléctricas

La aplicación de tomografías en estudios geofísicos se utiliza para la investigación de áreas con anomalías complejas donde el empleo de sondeos eléctricos verticales, sísmica u otras técnicas geofísicas no permiten obtener información detallada.

Estas técnicas permiten obtener perfiles geológicos continuos e identificar elementos como fallas geológicas y superficies potenciales de falla, las cuales son complicadas de identificar con sondeos verticales propios de la geotecnia. Como herramienta de ingeniería resulta importante para la identificación de amenazas, toma de decisiones y optimización de recursos (www.tomografiaselectricas.com, 2018).

Figura 13. **Gráfico de los márgenes de variación más comunes en algunas rocas, minerales y químicos**



Fuente: ALH Geofísica. (2018). *Caracterización y exploración minera*.

3.8. Inclinómetro

En geotecnia el uso de esta instrumentación, permite medir los desplazamientos de taludes y terrenos inestables. Valores como la estratigrafía y la altura del nivel freático son algunos de los parámetros que se pueden determinar.

Contar con un estudio geotécnico previo, es útil para conocer con exactitud la definición en el punto concreto donde se efectuará la medición, ya que resulta sensible la configuración de los estratos o la altura del nivel freático.

Para la aplicación de estas técnicas, es recomendable preparar las áreas y obtener mediciones previas, como referencias para determinar un factor de cambio en las lecturas.

3.9. Índice de calidad de roca

Conocido por las siglas RQD (*rock quality designation*, Deree, 1967), se basa en la recuperación modificada de un testigo, depende indirectamente del número de fracturas y del grado de alteración del macizo rocoso.

“El método consiste en contar únicamente los fragmentos iguales o superiores a 100,00 mm de longitud, el diámetro del testigo tiene que ser igual o superior a 57,40 mm y tiene que ser perforado con un doble tubo de extracción de testigo” (Brajá M. Das, 2012, p.117).

$$RQD = \frac{\Sigma (\text{Longitud de fragmentos} \geq 10\text{cm})}{\text{Longitud total perforada}} \times 100$$

Tabla VI. **Calidad de roca según RQD**

RQD (%)	CALIDAD DE ROCA
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 - 100	Excelente

Fuente: Braja. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones.*

Figura 14. **Maquinaria con tubería de recuperación de núcleo, sondeo de penetración estándar, SPT km.78+800**



Fuente: OECC. (2016). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

Figura 15. Muestras recuperadas para RQD, km.78+800



Fuente: OECC. (2016). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

4. RESULTADOS OBTENIDOS

Se presenta el detalle de los parámetros que se alcanzan con la práctica de cada uno de los estudios realizados, en la ladera del Km.78+600 al 78+800 de la ruta CA-9 norte, con el fin de analizarlos posteriormente para determinar las posibles causas del movimiento.

4.1. Exploración geotécnica y de laboratorio

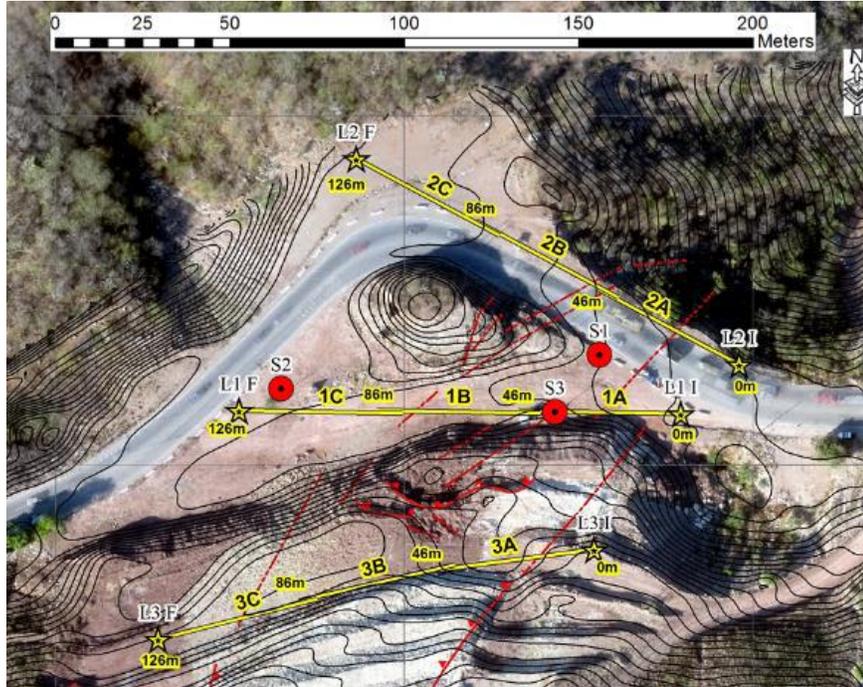
Overseas Engineering & Construction Company (GUA), S.A. (OECC), con el fin de determinar las características del subsuelo en el área del deslizamiento, realizó dos sondeos verticales de 30 metros y 45 metros de profundidad respectivamente. Desde el nivel del suelo original, en cada uno se realizaron ensayos de penetración estándar (SPT) con intervalos de 1,50 metros, en la tabla VII y figura 17 se localizan los sondeos y en el Anexo A se detalla su clasificación y estructura estratigráfica.

Tabla VII. **Coordenadas de sondeos**

COORDENADAS		COTA	PERFORACIÓN
X	Y		
14,85627	-90,0896	481,00	SF-1
14,85644	-90,0894	467,00	SF-2
14,85669	-90,0894	478,00	SF-3

Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

Figura 16. Ubicación de sondeos SPT, km.78+600 al 78+800 CA-9 Norte



Fuente: OECC. (2017). *E Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

4.1.1. Resultados de la exploración geotécnica

Los resultados del análisis de capacidad soporte proporcionados por OECC, se presentan en las tablas VIII, IX y X, para los sondeos fue utilizada la máquina perforadora marca *Longyear*. Se utilizó tubería HQ con diámetro exterior de 96,00 mm y diámetro interior de 63,50 mm, y para los ensayos de sondeo dinámico (SPT) se utilizó un muestreador de 45,00 cm con diámetro exterior de 5,00 cm, en intervalos de 1,50 m.

Los resultados de laboratorio y descripciones de los estratos de roca y suelo se encuentran en el anexo 1 de este documento.

Tabla VIII. Tabulación de datos obtenidos en sondeos verticales SF-1

ESTRATIGRAFÍA SF-1					
N	B	PROFUNDIDAD	N (CORREGIDO)	CAPACIDAD SOPORTE ADMISIBLE (KN/m2)	CAPACIDAD SOPORTE ADMISIBLE (TON/m2)
36	1	1.55	13	597.50	65.40
36	2		13	457.60	50.10
36	3		13	415.10	45.40
39	1	3.00	14	634.70	69.40
39	2		14	486.10	53.20
39	3		14	440.90	48.20
20	1	4.50	8	364.10	39.80
20	2		8	278.90	30.50
20	3		8	252.90	27.70
31	1	6.00	11	509.40	55.70
31	2		11	390.10	42.70
31	3		11	353.90	39.70
72	1	7.50	30	1324.10	144.90
72	2		30	1014.00	110.90
72	3		30	919.80	100.60

Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

Tabla IX. Tabulación de datos obtenidos en sondeos verticales SF-2

ESTRATIGRAFÍA SF-2					
N	B	PROFUNDIDAD	N (CORREGIDO)	CAPACIDAD SOPORTE ADMISIBLE (KN/m2)	CAPACIDAD SOPORTE ADMISIBLE (TON/m2)
50	1	1.55	18	829.86	84.62
50	2		18	635.56	64.81
50	3		18	576.53	58.79
41	1	3.00	15	667.25	68.04
41	2		15	511.03	52.11
41	3		15	463.51	47.26
-	1	4.50	-	-	-
-	2		-	-	-
-	3		-	-	-
-	1	6.00	-	-	-
-	2		-	-	-
-	3		-	-	-
-	1	7.50	-	-	-
-	2		-	-	-
-	3		-	-	-

*MUESTRA CON RECHAZO, CAUSADA POR POSIBLE ESTRATOS DE LUTITAS Y ARENISCAS.

Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

Tabla X. **Tabulación de datos obtenidos en sondeos verticales SF-3**

ESTRATIGRAFÍA SF-3					
N	B	PROFUNDIDAD	N (CORREGIDO)	CAPACIDAD SOPORTE ADMISIBLE (KN/m2)	CAPACIDAD SOPORTE ADMISIBLE (TON/m2)
16	1	1.55	6	265.60	29.10
16	2		6	203.40	22.20
16	3		6	184.50	20.20
29	1	3.00	11	472.00	51.60
29	2		11	361.40	39.50
29	3		11	327.90	35.90
37	1	4.50	15	673.70	73.70
37	2		15	515.90	56.40
37	3		15	468.00	51.20
20	1	6.00	7	328.70	36.00
20	2		7	251.70	27.50
20	3		7	228.30	25.00
79	1	7.50	33	1452.90	158.90
79	2		33	1112.60	121.70
79	3		33	1009.20	110.40

Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

4.2. Estudio geofísico

De acuerdo con el informe presentado por OECC el 16 de enero de 2017, se cumplió la toma de datos geofísicos de sísmica MASW (análisis multicanal de ondas superficiales), en el deslizamiento de la ladera en el km. 78+600 al 78+800 de la ruta centroamericana CA-9 (tramo Sanarate – El Rancho).

La investigación se realizó para determinar la presencia de discontinuidades y fracturas en el área del deslizamiento, estudiando las variaciones de velocidades de las ondas de corte Vs.

Como resultado se elaboró 378 m de perfiles 2D de Vs, divididos en tres secciones de 126 m cada uno, de forma transversal al deslizamiento. Se alcanzó profundidades de investigación, a lo largo de las líneas, hasta 30 m y se interpretó las estructuras del deslizamiento, integrando los resultados de las tres perforaciones y las evidencias geomorfológicas observadas directamente en el sitio.

4.2.1. Toma de datos

Como fuente de vibraciones se utilizó el golpe de una maza de 10,00 lb contra una plancha de metal de 6,60 lb. El equipo utilizado para el almacenamiento de datos fue un GEODE (figura 18), el cual posee 24 canales con geófonos de 25 Hz. El intervalo de toma de datos utilizado fue de 0,25 ms en un total de 0,50 segundos de grabación.

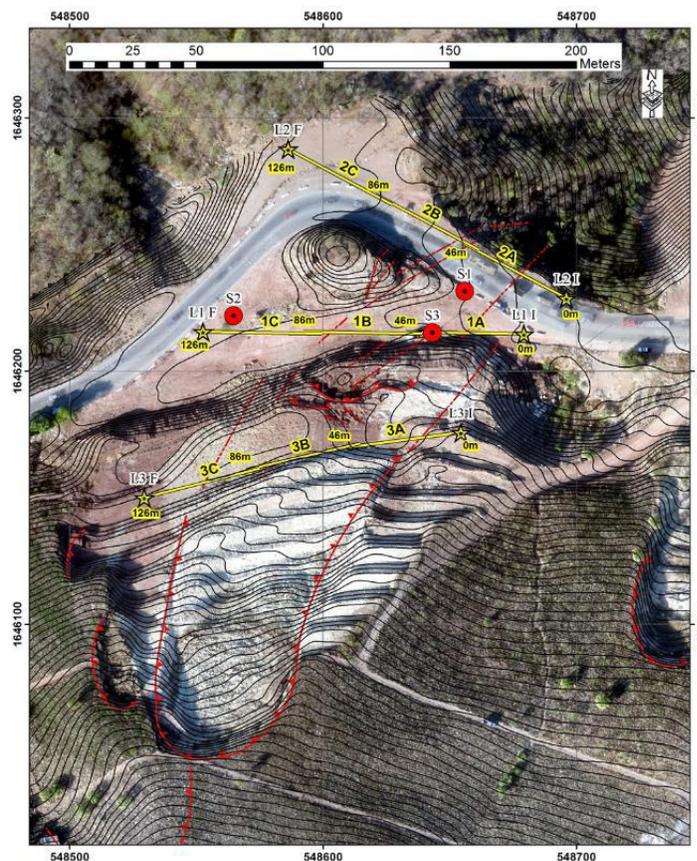
Figura 17. **GEODE en toma de datos, km.78 ruta Sanarate – El Rancho**



Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

En la figura 18 se ubican las 3 líneas (L1, L2, L3) de 126 m con cada uno de los 3 sectores (A, B y C) que la constituyen. La ortofoto y las curvas del modelo digital fueron realizadas con drone; las líneas rojas representan las discontinuidades y fracturas que se evidencian con fotointerpretación y observaciones de campo.

Figura 18. Ubicación de las 3 líneas geofísicas MASW y sondeos ejecutados en el área de estudio (Km.78+600 al 78+800)



Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

En la tabla XI se indica las coordenadas de los sondeos y así como los puntos de inicio (I) y fin (F) de cada una de las líneas.

Tabla XI. **Coordenadas en sistema GTM de los sondeos de inicio y fin de 3 líneas**

CODIGO	X – GTM	Y – GTM
L2F	548 586,22	1 646 287,74
L2I	548 696,08	1 646 228,77
L1F	548 552,67	1 646 215,66
L1I	548 679,30	1 646 214,67
L3F	548 529,50	1 646 150,10
L3I	548 654,50	1 646 175,87
S1	548 655,95	1 646 231,62
S3	548 643,22	1 646 215,23
S2	548 564,70	1 646 211,94

Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

Cada sector tiene una longitud de 48,00 m y corresponde a una línea de 24 geófonos ubicados a 2,00 m de espaciamiento. En cada sector se realizó cinco estaciones de golpeo, empezando 4,00 m antes y moviéndose a cada 8,00 m. En cada estación se grabó tres golpes con el fin de hacer un *stacking* (acumulado de datos) aumentando la señal y reduciendo el ruido.

Tabla XII. **Resumen de la cantidad de metros procesados**

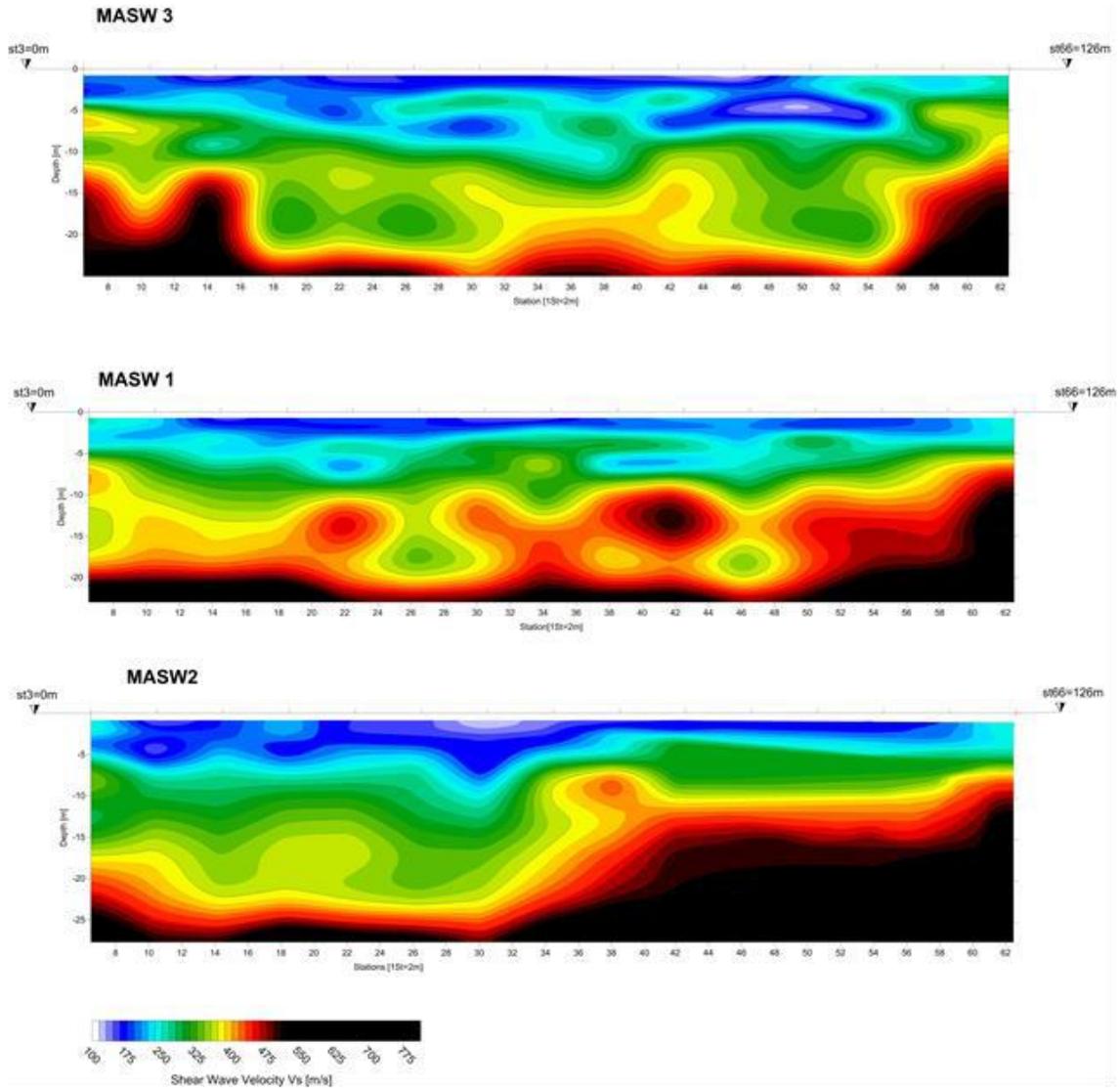
LÍNEA	LARGO (m)	SECTOR
L1	126	3: A, B Y C
L2	126	3: A, B Y C
L3	126	3: A, B Y C
TOTAL PROCESADO	378 m	

Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

4.2.2. Análisis de datos e interpretación

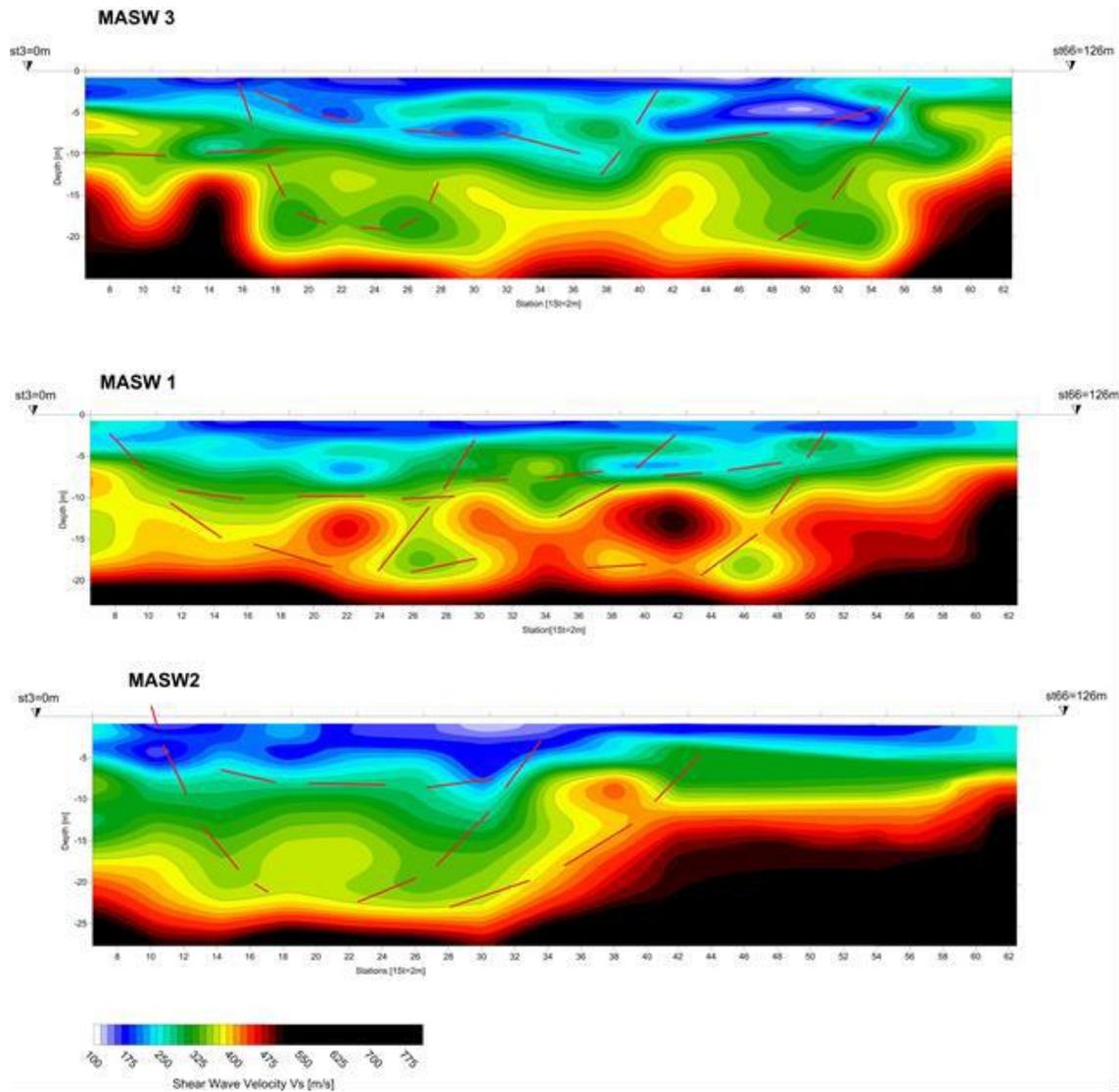
Los perfiles 2D de las velocidades de la onda de corte (V_s) de la figura 19, evidencian en tonos azules las áreas con $V_s < 250$ m/s, caracterizadas por materiales de bajas densidades o con cierta cantidad de agua en su contenido. En tonos verdes con $V_s < 500$ m/s se evidencian los materiales más compactos constituidos por las lutitas en parte fracturadas y/o alteradas. Materiales de colores rojo y negro, con $V_s > 500$ m/s corresponden a materiales rocosos poco fracturados.

Figura 19. Perfiles de sismica MASW a lo largo de las 3 líneas



Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

Figura 20. Interpretación estructural de los perfiles de sísmica MASW



Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

El perfil 1 (MASW1) de la figura 20, intermedio a los perfiles 2 y 3, evidencia la situación de los escarpes secundarios y de las paredes del deslizamiento. Lo mismo que en el perfil 3, se reconoce muy bien una superficie de deslizamiento horizontal a los 6,00 y 8,00 m, las superficies laterales continúan a mayor profundidad y fragmentan el macizo rocoso hasta los 18,00 m de profundidad.

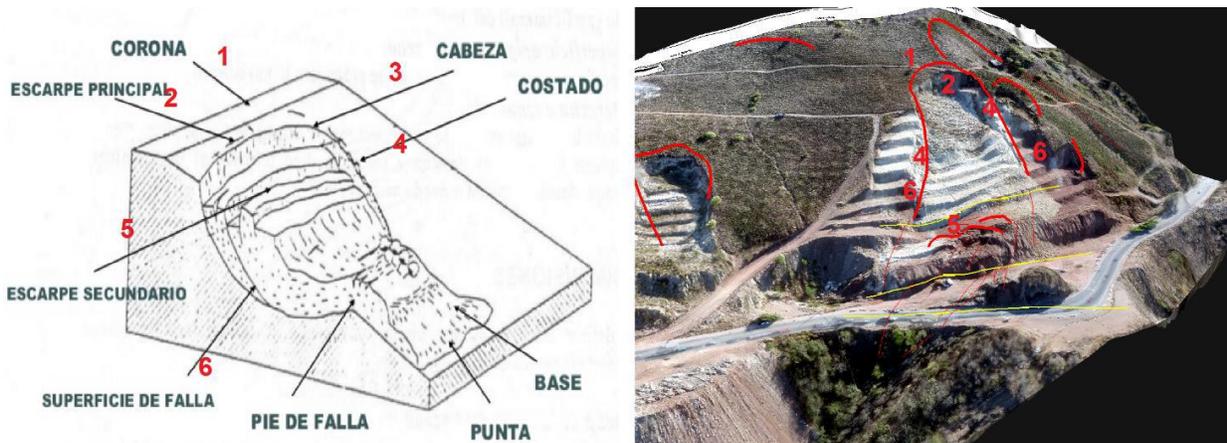
El perfil 2 (MASW2), ubicado en proximidad del área de talud, ilustra una sección de deslizamiento con una longitud de 50,00 m y confirma los datos de los dos perfiles aguas arriba. Posee una superficie de deslizamiento entre los 5,00 – 9,00 m con los bordes que buzan hacia el interior y penetra un área muy profunda localizada entre los 15,00 – 20,00 m.

En el perfil 3 (MASW3), se aprecia agua en la superficie, en el área intermedia del deslizamiento, donde ocupan una distancia aproximada de 100 m. Se puede apreciar de una forma muy clara un contraste de Vs a los 5,00 – 8,00 m de profundidad, lo que corresponde a la superficie de lecho del deslizamiento superficial. Además de este contraste superficial, se pueden localizar los bordes del deslizamiento que buzan hacia el interior insertándose en un área muy profunda ubicada a los 15,00 – 18,00 m.

4.3. Fotointerpretación, evidencia de terreno y perforaciones

En la figura 21 se interpretaron las principales discontinuidades evidenciadas por medio de fotointerpretación y de las ortofotos aéreas (2006 IMG) tomadas con el drone (2017 GEOCON, OECC), aunado a los estudios de campo.

Figura 21. Izquierda: modelo 3D de un movimiento de masa típico; derecha: deslizamiento Km.78+600 al 78+800 en 3D con ubicación de las discontinuidades y de las líneas de geofísica



Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

En la figura 21 también se puede ver la misma información en un modelo 3D, en comparación con la geomorfología y nomenclatura de un movimiento de masa.

En campo se observó el área de interés la cual, según toma de información mediante topografía, presenta movimientos constantes de milímetros/hora, los que, con la presencia de lluvia, pueden acelerar los movimientos considerablemente. Se identificaron los diferentes elementos morfológicos que distinguen un movimiento de masa.

En particular se clasifica como un desplazamiento de tipo rotacional, con indicios de expansión hacia los laterales debido a las contraposiciones litológicas (lutitas plásticas contra conglomerados cementados) en la formación rocosa (figuras 22, 23 y 24).

Figura 22. Panorama de los escarpes secundarios y de fracturas de expansión general (vista frontal)



Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

Figura 23. Panorama de los escarpes secundarios y de fracturas de expansión general (vista posterior)



Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

Figura 24. **Bordes (inicio y fin) del área con movimientos constantes en proximidad a la carretera**

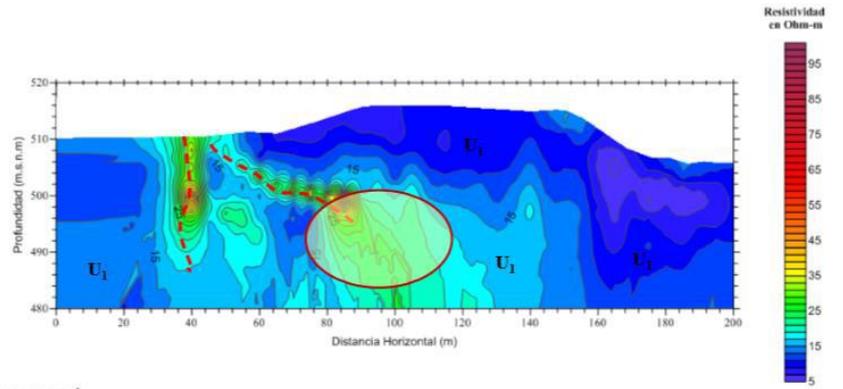


Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

4.3.1. Tomografía

Con el fin de conocer la existencia de variaciones de las propiedades eléctricas, en especial la resistividad de las distintas formaciones del subsuelo de la zona de falla, se realizaron dos sondeos con tomografías, con el objetivo de determinar la distribución en profundidad de los niveles geoelectrónicos presentes. La cual proporcionó como resultado las siguientes gráficas.

Figura 25. Tomografía eléctrica línea 01

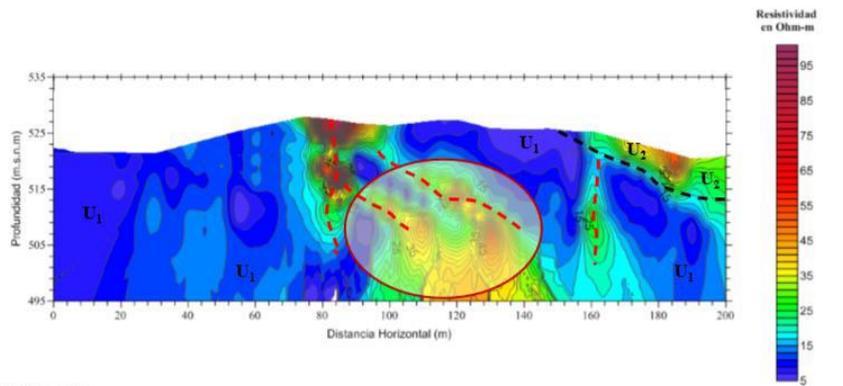


SIMBOLOGÍA

- | | | | |
|----------------|---|-------|---|
| U ₁ | Material asociado a posible roca tipo lutita. | - - - | Discontinuidad en material, asociada a Un posible fallamiento y/o agrietamiento |
| U ₂ | Material asociado a posible roca tipo arenisca. | - - - | Contacto de materiales |
| ○ | Zona de alto riesgo constructivo | | |

Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

Figura 26. Tomografía eléctrica línea 02

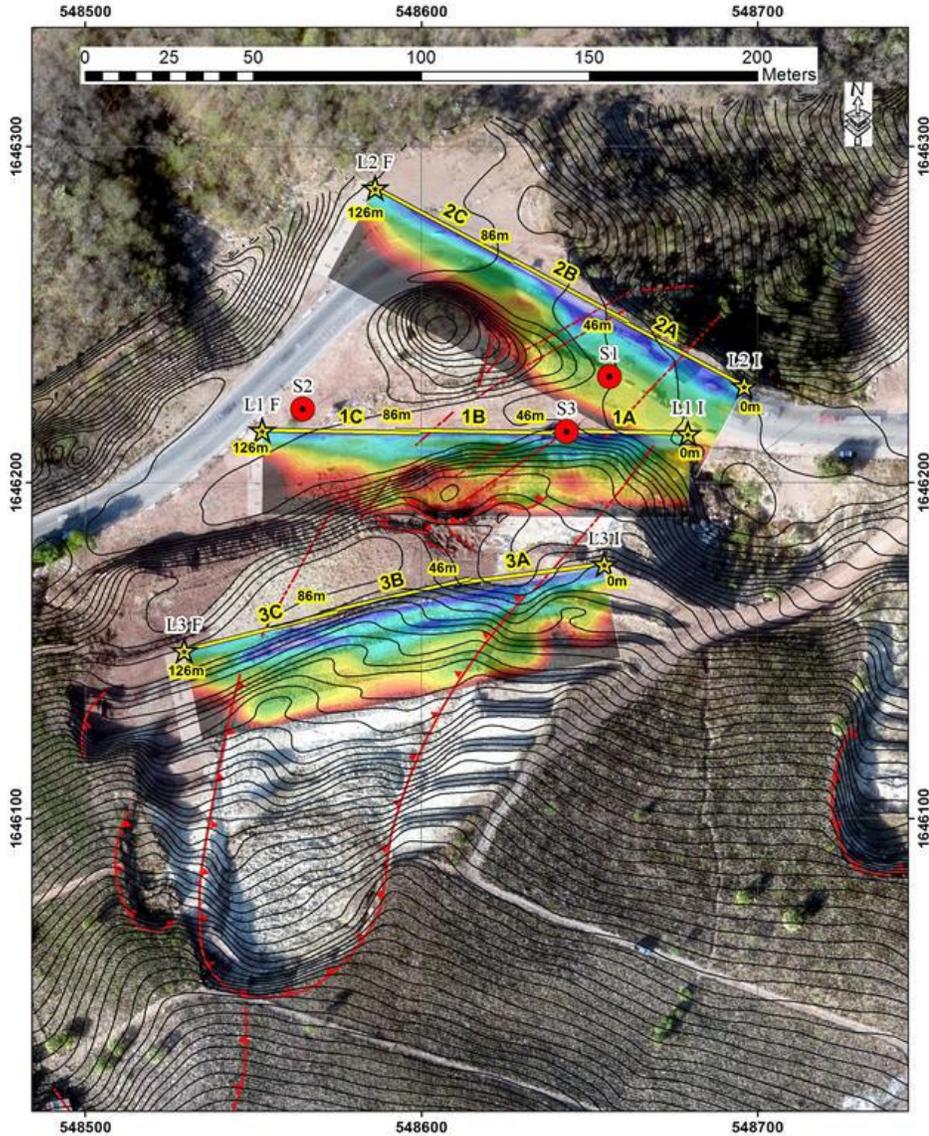


SIMBOLOGÍA

- | | | | |
|----------------|---|-------|---|
| U ₁ | Material asociado a posible roca tipo lutita. | - - - | Discontinuidad en material, asociada a Un posible fallamiento y/o agrietamiento |
| U ₂ | Material asociado a posible roca tipo arenisca. | - - - | Contacto de materiales |
| ○ | Zona de alto riesgo constructivo | | |

Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

Figura 27. Perfiles de VS en la ortofoto interpretada



Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

4.3.2. Inclínómetros

Se instalaron inclinómetros en los sondeos 1 y 2, para monitorear los posibles movimientos que se evidencien en el subsuelo.

Tabla XIII. **Detalle de los Inclínómetros**

INCLINÓMETRO	PROFUNDIDAD (m)	FECHA DE INSTALACIÓN
No.1	30,00	05/01/2017
No.2	45,00	07/01/2017

Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

El tubo en el cual se colocó el inclinómetro No.1 presentó 1,30 m sobre el nivel del suelo, por lo que los resultados reales del desplazamiento son a partir de esa profundidad en las gráficas presentadas.

El tubo en el cual se colocó el inclinómetro No.2 presentó 1,08 m sobre el nivel del suelo, por lo que los resultados reales del desplazamiento son a partir de esa profundidad en las gráficas.

La primera lectura fue realizada el viernes 27 de enero de 2017, iniciando a las 6:45 a.m. la toma de registros y procesamiento de datos se realizó por medio del software SiteMaster 2012 desarrollado por Deep Excavation LLC.

La tubería inclinométrica 1 se profundizó a 28,70 m desde el nivel del suelo de la superficie y en la primera lectura se localizó una obstrucción a los 9,00 m de profundidad, la cual fue confirmada en la presente lectura. Los datos y gráficas presentados son del área libre media.

El resultado del desplazamiento máximo luego de ocho días de iniciada la medición en el inclinómetro 1, fue de 39,1 mm a 0,70 m bajo el nivel del suelo y se presenta un pivoteo de la tubería por empujes a 1,70 m bajo el nivel de suelo. En la tabla XIV se presenta el resumen de los resultados del desplazamiento máximo en la boca del tubo y bajo el nivel del suelo, con su respectiva profundidad de ocurrencia, de las mediciones anteriores del inclinómetro 1, cada valor es respecto a la lectura 1 realizada el 13 de enero de 2017.

La tubería inclinométrica 2, se profundizó 43,92 m desde el nivel del terreno y en la primera lectura se localizó una obstrucción a los 43,50 m de profundidad, misma que fue confirmada en la presente lectura. Los datos y gráficas presentados son del área libre media.

El resultado del desplazamiento máximo a 8 días de iniciada la medición en el inclinómetro 2, fue de 749,33 mm en la boca del tubo y de 733,06 mm a nivel del suelo. En la tabla VX se encuentra el resumen de los resultados del desplazamiento máximo en la boca del tubo y bajo el nivel del suelo, con su respectiva profundidad de ocurrencia, de las mediciones anteriores del inclinómetro 1 realizada el 13 de enero de 2017.

Tabla XIV. **Valores de desplazamiento máximo para inclinómetro 1**

DESCRIPCIÓN	LECTURA INICIAL	LECTURA 2	LECTURA 3
DESPLAZAMIENTO MÁXIMO BAJO EL NIVEL DE SUELO (mm)	0,00	44,00	40,00
PROFUNDIDAD DE OCURRENCIA (m)	0,00	1,30	1,30
DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EN LA BOCA DEL TUBO (mm)	0,00	40,00	39,65

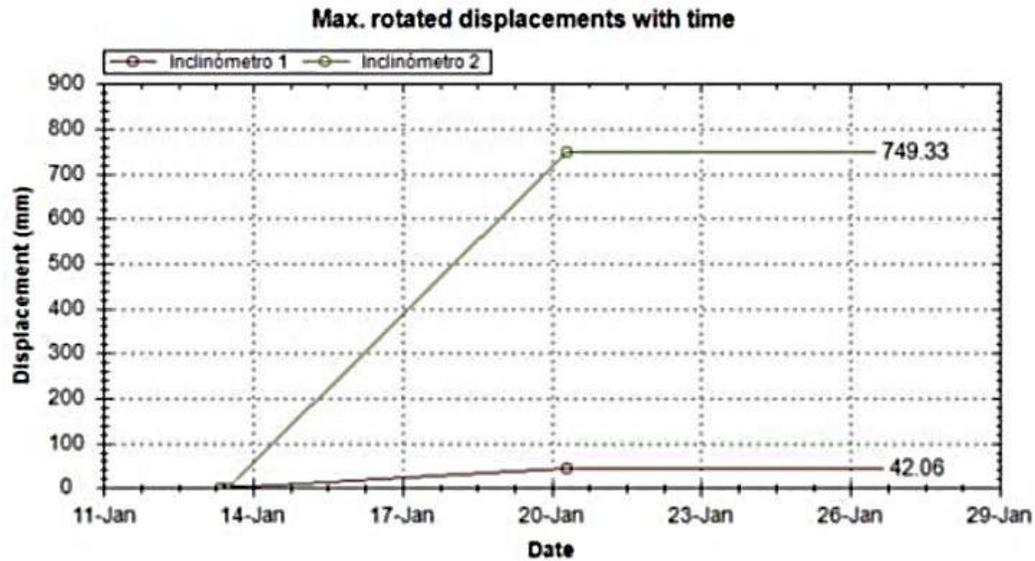
Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

Tabla XV. **Valores de desplazamiento máximo para inclinómetro 2**

DESCRIPCIÓN	LECTURA INICIAL	LECTURA 2	LECTURA 3
DESPLAZAMIENTO MÁXIMO BAJO EL NIVEL DE SUELO (mm)	0,00	733,06	733,06
PROFUNDIDAD DE OCURRENCIA (m)	0,00	1,08	1,08
DESPLAZAMIENTO MÁXIMO EN LA BOCA DEL TUBO (mm)	0,00	749,33	749,33

Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

Figura 28. Gráfico desplazamiento (mm) – tiempo



Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

4.4. Muestreo de suelos y análisis de laboratorio

Como parte de la exploración geotécnica del área del deslizamiento, se realizó trabajo de campo con el objetivo de conocer las condiciones del suelo. Para ello se tomaron muestras de suelo obtenidas en dos diferentes puntos, la primera a nivel del pie de la ladera y la segunda en la parte media del cuerpo del deslizamiento (figura 29).

Figura 29. **Ubicación de muestras para laboratorio**



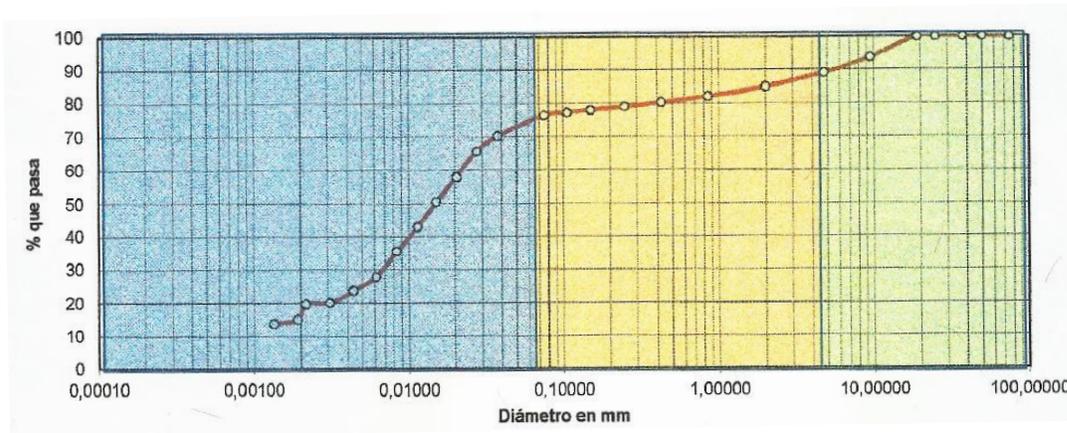
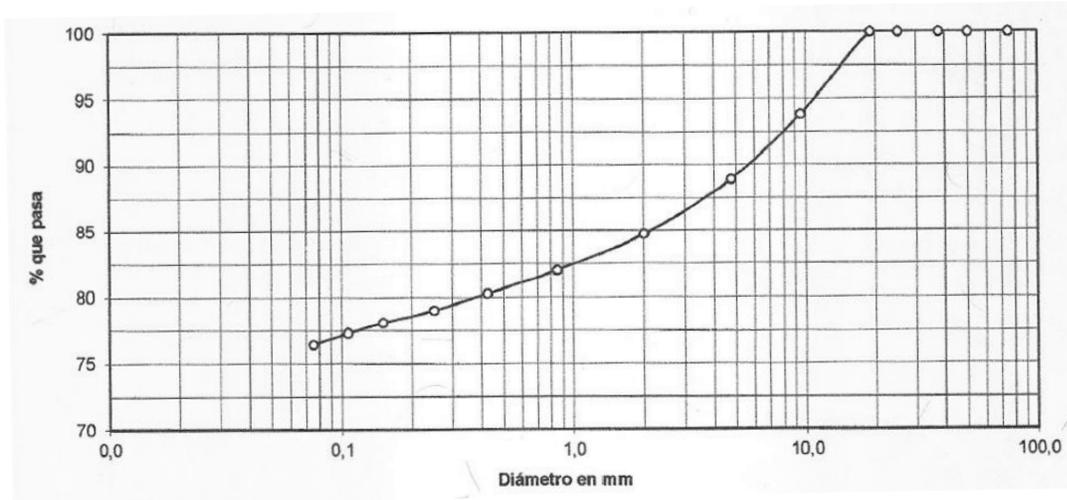
Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

4.4.1. **Análisis granulométrico**

Como parte de los ensayos realizados, se analizaron dos (2) muestras de suelo tomadas del sitio con la finalidad de obtener la distribución por tamaño de las partículas presentes en las muestras.

La muestra No.1 ubicada a nivel de la carretera según la clasificación por medio del ensayo granulométrico con tamices, corresponde a un limo arcilloso corinto con porcentaje de grava de 11,07 %, arena 12,45 % y finos 76,48 %, de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) es un limo de baja plasticidad (ML). Así mismo, la muestra posee levemente partículas de mayor tamaño. Como parte de la investigación, se aplicó el análisis granulométrico por sedimentación, con el objetivo de conocer los porcentajes de partículas de la muestra, el resultado es grava 0,00 %, arena 5,67 % y finos 94,33 % (figura 30).

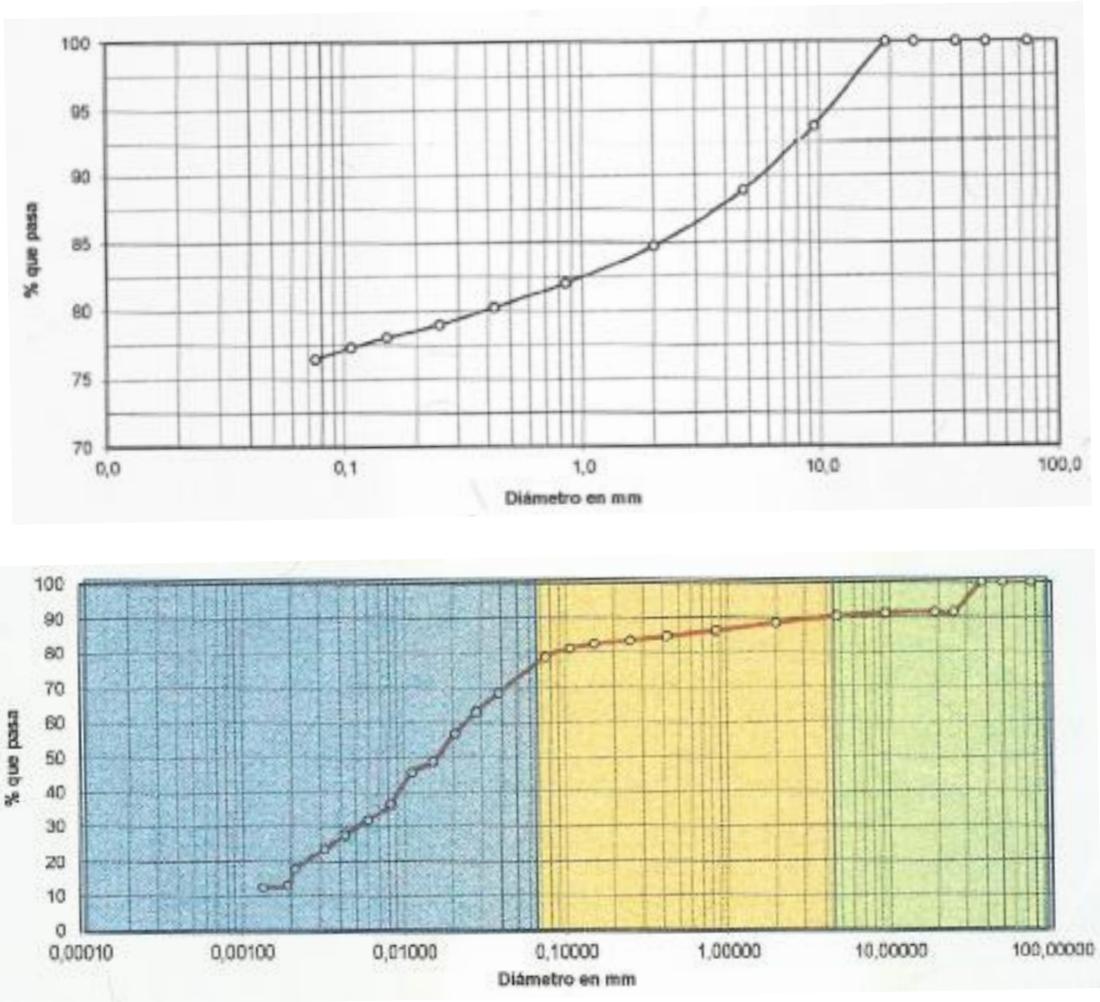
Figura 30. Gráfica de distribución granulométrica por tamizado y sedimentación, muestra No.1



Fuente: elaboración propia.

La muestra No.2, ubicada en el talud, según el ensayo es un limo arcilloso corinto con similares características a la muestra No.1, con un porcentaje de grava 9,53 %, arena 11,64 % y finos 76,83 %, según el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS) es un suelo limoso de baja plasticidad (ML). Los resultados del ensayo granulométrico por sedimentación, correspondientes a dicha muestra, corresponden a porcentajes de grava 0,00 %, arena 5,67 % y finos 94,33 % (figura 31).

Figura 31. Gráfica de distribución granulométrica por tamizado y sedimentación, muestra No.2



Fuente: elaboración propia.

Quando los suelos son altamente granulares, pero poseen granos finos, el análisis granulométrico por tamizado tiende a presentar resultados muy generalizados. Para determinar el porcentaje de peso de los diferentes tamaños, es apropiado aplicar el método del hidrómetro que se basa en que las partículas tienen una velocidad de sedimentación que se relaciona con el tamaño de las partículas.

4.4.2. Ensayo de contenido de humedad natural

Según la determinación del contenido de humedad de las muestras tomadas de la zona del deslizamiento del Km.78+600 al 78+800, los resultados obtenidos indican que la muestra tomada en el talud posee un 14,38 % más de humedad que la muestra tomada al nivel de la carretera. La importancia del contenido de agua que presentan las muestras de suelo, revela características importantes para explicar su comportamiento, especialmente en aquellos con partículas finas, como por ejemplo cambios de volumen, cohesión y estabilidad mecánica.

Tabla XVI. **Resultados de ensayo de contenido de humedad**

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	MUESTRA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL
9,30	Carretera Km. 78+600	Limo arcilloso color corinto
10,90	Talud Km. 78+600	Limo arcilloso color corinto
NORMAS AASHTO T-265 Y ASTM D-2216		

Fuente: elaboración propia.

4.4.3. Ensayo de permeabilidad

A las muestras se les practicó el ensayo de permeabilidad cabeza constante por el método de molde de pared rígida. La muestra No.1 ubicada al nivel de la carretera posee un coeficiente de permeabilidad de $7,196 \times 10^{-5}$ cm/s, por su parte la muestra No.2 ubicada al nivel del talud posee un coeficiente de permeabilidad de $9,142 \times 10^{-7}$ cm/s.

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos realizados la muestra No.1 presenta una importante alteración con un coeficiente de variación ligeramente superior al 78,00 % con respecto a la muestra No.2. Se puede interpretar que los suelos de la parte inferior del talud debido a la alta cantidad de partículas finas permiten el flujo de agua a través del suelo y esto, a su vez, las mueve y se acomodan.

Por otra parte, se concluye que los suelos de la parte superior (muestra No.2) poseen un coeficiente de permeabilidad mayor, propio de las arcillas, este comportamiento se puede explicar por el proceso de colmatación, causado por las partículas que se transportan en el flujo del suelo de la parte superior del talud, según el análisis granulométrico descrito en la sección 4.4.1 del presente estudio.

4.4.4. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg permiten identificar de forma sencilla algunas propiedades de los suelos. Según la determinación de límites de Atterberg realizada en laboratorio, se puede observar que para el límite líquido de las muestras No.1 y No.2 existe una diferencia del 8,60 %, lo que significa que el suelo de la muestra del talud, posee mayor humedad lo cual le permite tener mayor cohesión, por su parte existe una 5,30 % de diferencia entre límites plásticos de las muestras examinadas (talud) respecto de la muestra No.1 (carretera).

De acuerdo con la premisa de la teoría de plasticidad, la muestra del talud presenta un índice mayor respecto de la parte baja, por tal razón se entiende que el suelo posee mayor capacidad de deformación y que según el material de la zona esta condición de plasticidad se debe a la alta humedad de la porción de suelo.

Al hacer la correlación de los resultados, se puede afirmar que cuando un suelo posee un límite de plasticidad bajo, indica la facilidad en el manejo sin presentar viscosidad, aumentando el riesgo de deslizamiento de unas partículas sobre otras. Cuando dicho valor se incrementa, hay una disminución del volumen específico aparente.

Tabla XVII. **Resultados de ensayo de límites de Atterberg**

ENSAYO No.	MUESTRA	L.L. %	L.P. %	CLASIFICACIÓN *	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL
1	Carretera Km. 78+600	34,70	8,80	ML	Limo arcilloso color corinto
1	Talud Km. 78+600	43,30	14,10	ML	Limo arcilloso color corinto

NORMAS AASHTO T-89 y T-90

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Fuente: elaboración propia.

4.4.5. Ensayo de gravedad específica

La gravedad específica, definida como el peso unitario del material dividido por el peso unitario del agua, es un procedimiento para los suelos que pasen del tamiz No.4 y que en consecuencia para los fines de las muestras de esta investigación se considera necesario evaluarlo, para ambas muestras el porcentaje que pasó dicho tamiz fue del 100,00 %. Comúnmente los valores de gravedad específica indican a qué tipo de suelo pertenece la muestra, teniendo en cuenta su peso ya que es una relación del peso del material.

En el caso de la muestra del talud, el resultado del ensayo fue de 2,67 (Gs) y para la muestra de la carretera fue de 2,62. Considerando los resultados se puede determinar que el suelo del talud es de tipo granular y el suelo de la carretera, está en el límite entre suelo granular y suelo con componentes orgánicos.

Semetttem (2001) indica que en la mayoría de suelos la gravedad específica media de las partículas se encuentra en el rango de 2,60 a 2,70. En este estrecho margen, refleja el predominio de minerales de cuarzo y arcilla en la matriz del suelo.

Para el caso especial del talud el cual presenta un resultado de 2,67 (Gs), indica que posee un contenido importante de silicatos los cuales son minerales con alta absorción de humedad. Las excepciones pueden producirse si el suelo es rico en materia orgánica, lo que reduce el valor de la gravedad específica de las partículas del suelo, tal como el caso de la muestra No.1 ubicada en la parte baja del talud.

Tabla XVIII. Resultados de ensayo de gravedad específica

G_{20°C}	MUESTRA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL
2,62	Carretera Km. 78+600	Limo arcilloso color corinto
2,67	Talud Km. 78+600	Limo arcilloso color corinto

Fuente: elaboración propia.

4.4.6. Ensayo de corte directo

Este ensayo se realiza únicamente en suelos cohesivos arcillosos, pues la fase de rotura se realiza en condiciones no drenadas. Para la muestra No.1, ubicada en la carretera (pie de ladera) se presentan valores de ángulo de fricción interna equivalente a $\phi = 21,50^\circ$ y una cohesión aparente $C_u = 0,64 \text{ kg/cm}^2$ ($6,40 \text{ Ton/m}^2$); por su parte para la muestra No.2, ubicada en el talud se obtuvo un valor de ángulo de fricción interna equivalente a $\phi = 24,50^\circ$ y una cohesión aparente con valores muy bajos $C_u = 0,35 \text{ kg/cm}^2$ ($3,50 \text{ Ton/m}^2$), esto debido a que dicha muestra posee un valor de resistencia al cortante menor al de la muestra No.1, por tanto, la cohesión disminuye debido al bajo contenido de humedad.

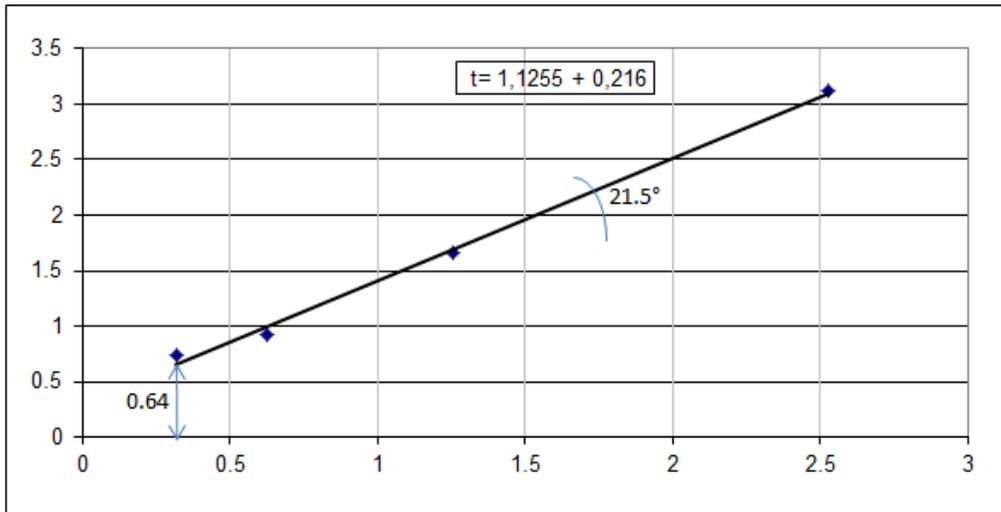
La interpretación del ángulo de fricción de ambas muestras, cuyos ángulos son muy similares es propio de los suelos con altos contenidos de arcilla, en los que la consistencia este próxima al límite líquido.

La cohesión o medida de cementación o adherencia, entre partículas de suelo, es representada por la resistencia al cortante, la muestra No.1, supone cohesión igual a $0,64 \text{ kg/cm}^2$ ($6,40 \text{ Ton/m}^2$), se clasifica como una arcilla de resistencia media, es decir, que no han soportado mayor presión que la presión ejercida por el terreno que yace sobre las muestras.

Por su parte, la muestra No.2 con cohesión igual a $0,35 \text{ kg/cm}^2$ ($3,50 \text{ Ton/m}^2$), se clasifica como una arcilla blanda, es decir, que el bloque medio del deslizamiento al poseer mayor contenido de humedad, supone la pérdida de amarre entre sus partículas, volviendo el macizo vulnerable a deslizamientos.

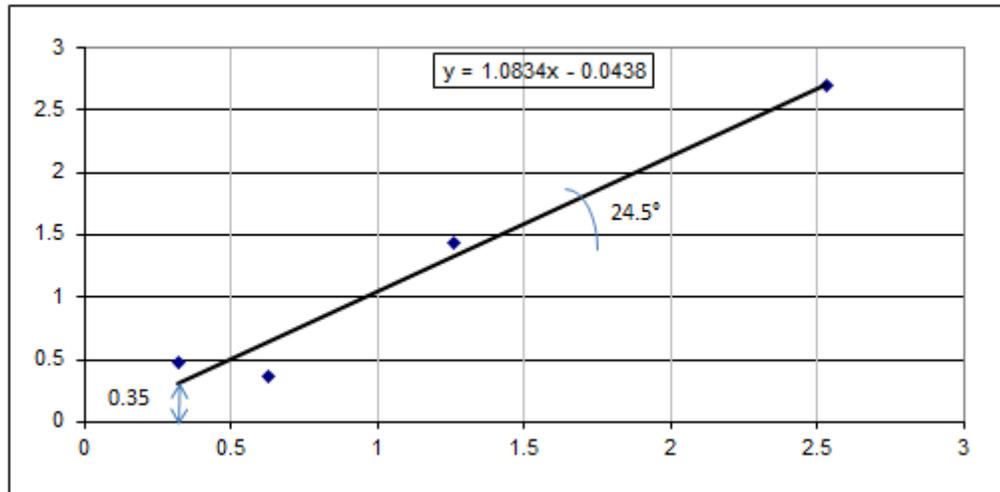
Basado en la anterior interpretación de resultados, se afirma que el bajo grado de cohesión de los suelos existentes, en el talud del Km.78+600 al 78+800, tiene a fallar por la poca o casi nula adherencia de sus partículas en situaciones críticas, esto debido a la mezcla con suelos residuales entre ellos arcillas altamente meteorizadas.

Tabla XIX. **Resultados de ensayo de corte directo, muestra No.1**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Resultados de ensayo de corte directo, muestra No.2**



Fuente: elaboración propia.

4.4.7. **Medición del grado de meteorización (Martillo de Schmidt)**

De acuerdo con Suárez (2009), autores como Irfan y Powel (1985) y Cascini (1991) para granodioritas y gneis empleó 2 criterios (ver tabla III), el primero consiste en obtener el valor N o índice de rebote del martillo de Schmidt, el cual depende de la lectura del martillo esclerométrico. El segundo basado en el aspecto físico de las muestras seleccionadas a partir de los criterios como la consistencia, textura, coloración.

Para las muestras obtenidas en el deslizamiento del km.78+600 al 78+800 se tomó lectura en dos diferentes zonas (cuerpo del deslizamiento y pie de ladera), para lo cual se logró identificar muestras de arenisca y arcilla en ambos sectores (figura 32).

Figura 32. Ubicación de las muestras de medición



Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

En el caso de las areniscas se evaluaron ocho muestras, las cuales se clasificaron según el criterio del aspecto físico, entre completamente meteorizadas, muy meteorizadas, muy decoloradas, parcialmente decoloradas y sanas. Con base en esos criterios las muestras fueron sometidas a evaluación, para conjuntamente proceder a la determinación del índice N con el martillo de Schmidt, logrando concluir lo siguiente:

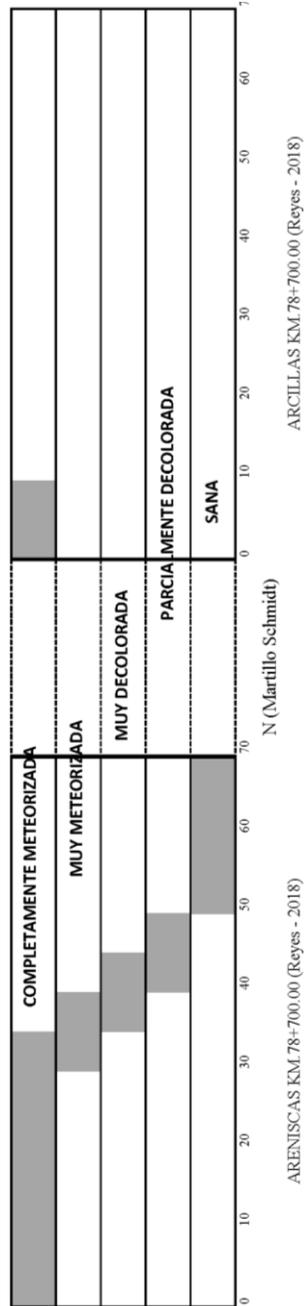
- Las muestras extraídas del material en el deslizamiento al pie de la ladera variaron entre parcialmente decoloradas y/o sanas, obteniendo valores N mayores a 46, lo cual representa que los suelos presentan cierto grado de meteorización y el deslizamiento se puede considerar debido a factores externos.

- Los resultados de las muestras de la berma y el pie de la ladera, por su parte variaron entre muy meteorizadas y muy decoloradas según el aspecto físico y el índice de rebote del martillo de Schmidt, obteniendo valores entre 30 y 37, teniendo suelos considerablemente meteorizados y con composición física muy arenosa con poca cohesión.
- En el caso de las arcillas notablemente meteorizadas y con aspecto físico visiblemente en malas condiciones, el índice de rebote con el martillo de Schmidt presentó valores notablemente cercanos entre 8 y 10. Este material presenta saturación en sus partículas y presencia de detritos.

La aplicación de este método permite determinar el grado de meteorización del suelo, ya que factores como la topografía, alivio de geopresiones, cambios de temperatura, procesos de humedecimiento y secado; así como, la cristalización de los materiales, influyen directamente en la estabilidad de la ladera modificando las propiedades mecánicas del suelo.

Como se presenta en la tabla III en donde se analiza la relación de grado de meteorización de granodioritas y gneis, en la tabla XXI se realizó una evaluación con los mismos criterios usados por Irfan y Powel (1985) y Cascini (1991). En este caso, para los materiales de suelo (arcillas y areniscas) presentes el área del deslizamiento en estudio.

Tabla XXI. Relaciones entre el grado de meteorización y el índice de rebote del martillo de Schmidt de las muestras existentes en la ladera del Km.78+600 al 78+800 de la ruta CA-9 Norte



Fuente: elaboración propia.

5. DETERMINACIÓN DE LAS CAUSAS

Con la finalidad de establecer las causas del deslizamiento, en la ladera del km.78+600 al 78+800 de la ruta CA-9 Norte, se realizó el análisis de la información recopilada en campo a través de los ensayos descritos en capítulos anteriores.

De los tres sondeos, solamente dos resultaron dentro del área de deslizamiento, se determinó que la estratigrafía de la zona está conformada por un tramo superficial, caracterizado por arcillas muy suaves, plásticas húmedas y con estructuras de flujo. Dicho estrato alcanza profundidades de 8,50 m en S1 y 9,50 m en S3. En ambos sondeos, se encontró un estrato rocoso (arenisca) con profundidades de 9,50 m y 10,00 m en S1 y S3 respectivamente. Los resultados presentados por el inclinómetro instalado en S3, confirmó una ruptura a los 9,00 m de profundidad, lo cual evidencia la presencia de fallamientos en el interior del macizo.

La presencia de discontinuidades y fracturas fue evidenciada mediante el análisis multicanal de ondas superficiales (MASW), estudiando las ondas de corte Vs. Los perfiles de sísmica MASW, obtenidos a lo largo de las tres líneas de sondeo, permiten conocer los valores Vs en función de la profundidad. Los suelos que conforman la estratigrafía de los primeros 5,00 m, en su mayoría, están conformados por materiales de baja densidad y alto contenido de humedad en su estructura. A los 10,00 m se logró identificar estratos más compactos constituidos por lutitas fracturadas o materiales alterados. Finalmente, a los 20,00 m se conforma por estratos rocosos con pocas fracturas.

Estructuralmente se identificaron paredes de deslizamiento en la zona media de la ladera y superficies de deslizamiento horizontal, a profundidades entre, 6,00 y 8,00 m. Las superficies laterales continúan hacia abajo y fragmentan el macizo rocoso en una profundidad cercana a los 18,00 m. Así mismo, en dicha zona se reconoció un tramo de largo aproximado 100,00 m y profundidades de 5,00 a 8,00 m con valores Vs correspondientes a materiales altamente húmedos. Además de ese contraste superficial se identificó los bordes del deslizamiento los cuales buzan hacia el interior, insertándose en áreas profundas localizadas a los 15,00 y 18,00 m.

El análisis de las condiciones de la ladera del km.78+600 al 78+800 de la ruta CA-9 Norte, denota rasgos geomorfológicos del movimiento de masa clasificado como un desplazamiento de tipo rotacional, con indicios de expansión lateral debido a la variabilidad de los materiales en la formación. Los deslizamientos rotacionales se caracterizan, porque la fractura se produce a lo largo de una superficie curvilínea y cóncava. El terreno experimenta un giro, según un eje situado por encima del centro de gravedad de la masa deslizada.

El material de cabecera efectúa una inclinación contra ladera, generando depresiones que permiten la acumulación de agua lo cual induce a nuevas reactivaciones. Este tipo de mecanismo es típico de suelos cohesivos homogéneos y de macizos rocosos intensamente fracturados.

El movimiento rotacional de la ladera es susceptible a la reactivación, a lo largo del tiempo, OECC ha realizado movimiento de tierras, con el fin de estabilizar el deslizamiento, sin embargo, cualquier cambio en las condiciones climáticas o la remoción del pie pueden dar lugar a una nueva inestabilidad.

Según el análisis de los resultados obtenidos en los muestreos en campo y en laboratorio, se estableció que las probables causas del problema de deslizamiento de la ladera del km. 78+600 al 78+800 de la ruta CA-9 Norte son las siguientes:

5.1. Causa 1: flujo de agua

Comúnmente se asocia el factor hidráulico a las fallas en laderas y taludes, debido a que gran parte de los deslizamientos ocurre después de periodos de lluvia. De igual manera, forma el control del agua subterránea de la ladera. El agua subterránea ejerce presiones de poros sobre las partículas que conforman el suelo, disminuye la presión efectiva y la resistencia al cortante. Así mismo, ejerce presiones hidrostáticas en estratos impermeables. Estos esfuerzos de levantamiento pueden inducir a deformaciones o rotura de los materiales y las presiones de poros disminuyen la resistencia de los suelos.

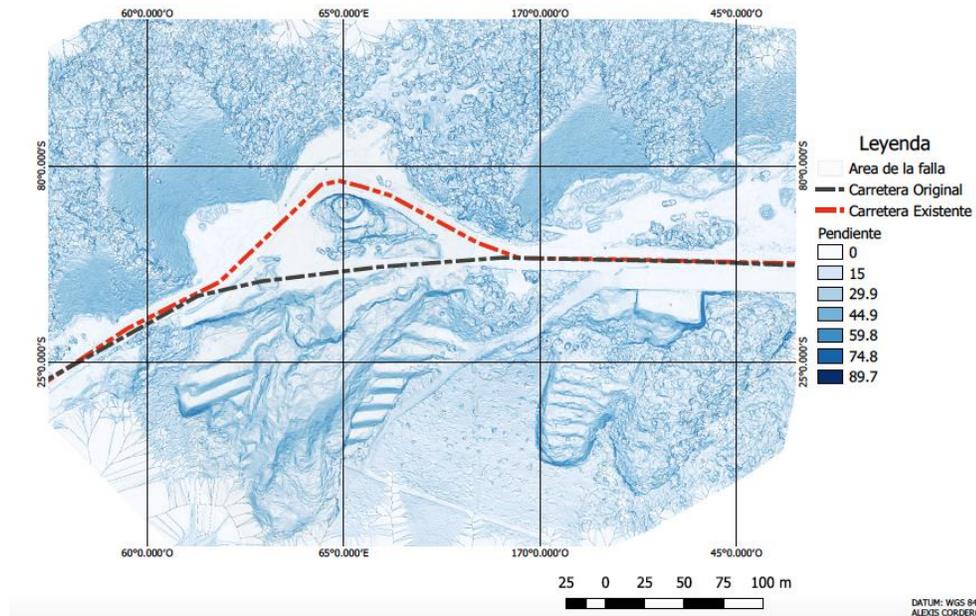
Los cambios en el sistema hidrológico del talud pueden afectar el comportamiento del mismo. Si el régimen de agua del suelo es alterado drásticamente por irrigación, remoción de la vegetación o inundación parcial, se puede producir la inestabilidad de los taludes. (Suárez, 2009, p.210)

Según los resultados obtenidos, en la medición del grado de meteorización del suelo, las muestras ubicadas en el cuerpo del deslizamiento poseen valores N clasificados como muy meteorizados y según lo explicado por Suárez (2009), las rocas meteorizadas o suelos residuales conservan estructuras heredadas con orientación adversa. Con frecuencia se desarrollan presiones importantes en las zonas de roca parcialmente meteorizada, elevando el nivel piezómetro. La presencia de fracturas en las laderas permite, además, la ocurrencia de presiones muy altas con muy poca infiltración de agua.

Otros efectos del factor hidráulico, es el lavado de cementantes naturales que pudieran existir. El agua subterránea tiende a lavar los cementantes solubles debilita los vínculos granulares. En consecuencia, disminuye la cohesión y el coeficiente de fricción interna. Este proceso generalmente es progresivo e incrementa la susceptibilidad de los suelos residuales al lavado de finos, lo cual afecta las propiedades mecánicas del macizo.

De acuerdo con el mapa de pendientes del área del deslizamiento (figura 33), se identifican pendientes de 29,90 % a 74,80 %, que contribuyen a los procesos de meteorización del suelo, formación de cárcavas y erosión. Estos factores dan paso a la alteración de las propiedades físico-mecánicas de los suelos y pérdida de partículas cementantes que proveen cohesión.

Figura 33. Mapa de pendientes, área del deslizamiento km.78+600 al 78+800 ruta CA9 Norte



Fuente: Cordero. (2019). *Mapa de pendientes km. 78.*

En el informe del 1 de septiembre de 2016 proporcionado por OECC, se inició con los trabajos de limpieza sobre la carpeta asfáltica afectada en el tramo del deslizamiento. Al momento de iniciar la limpieza surgió un primer brote de agua de caudal considerable. El punto de brote aparentemente procedía del interior de la montaña, se solicitó a los operadores de maquinaria profundizar un poco para confirmar lo encontrado, 0,50 m fue su profundidad.

Figura 34. Evidencia del brote de agua en km 78+600



Fuente: OECC. (2016). *Informe de monitoreo de falla km. 78.*

Figura 35. Evidencia del brote de agua en km 78+600

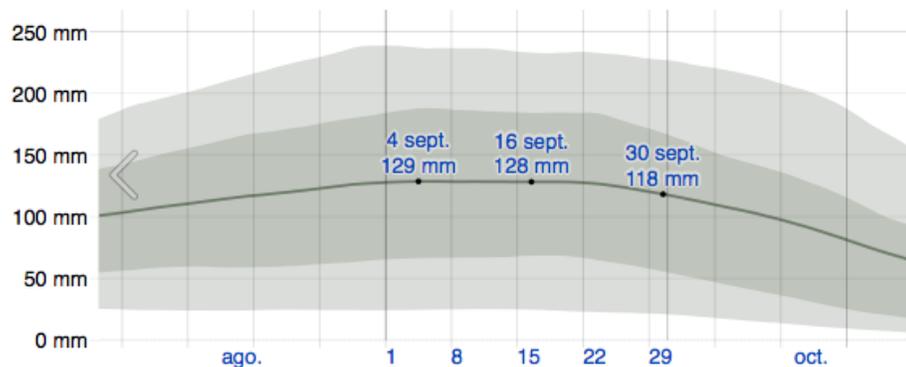


Fuente: OECC. (2016). *Informe de monitoreo de falla km. 78.*

Según el informe del 10 de octubre de 2016 proporcionado por *Overseas Engineering & Construction Company (GUA), S.A.*, el 1 de septiembre se reportó la aparición de un brote de agua en la zona del deslizamiento, ubicado en el km. 78+600 al 78+800. En ese momento se iniciaban los trabajos de remoción de asfalto, previo a continuar con la excavación del macizo, en esa ocasión por mecánica de trabajo y necesidades del corte, la excavación al visualizarse seca se cubrió.

Según el histograma de septiembre 2016 se puede observar que durante los primeros días del mes hubo una alta concentración hídrica debido a la precipitación en la zona, se relacionó esta información a la aparición del brote de agua en el área del deslizamiento.

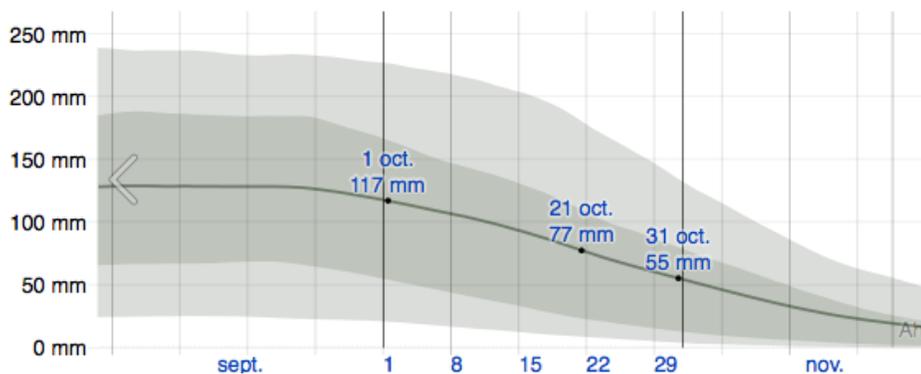
Figura 36. **Histograma de precipitación, departamento de El Progreso, septiembre 2016**



Fuente: OECC. (2016). *Informe de monitoreo de falla km. 78.*

El de octubre de 2016 a las 8:00 am aproximadamente a un metro de profundidad cerca de la zona donde debería existir el límite de la pista actual, se encontró un brote con un caudal considerable (80,00 lt/s), aforados en campo, que luego de ser observado casi 4 hr continuó fluyendo de manera constante, a continuación, se muestran algunas fotografías de los hallazgos en el sitio.

Figura 37. Histograma de precipitación departamento de El Progreso, octubre 2016



Fuente: OECC. (2016). *Informe de monitoreo de falla km. 78.*

Al igual que lo sucedido en septiembre, se evaluó el histograma de precipitación de octubre, para relacionar los efectos encontrados en el macizo rocoso, con el fin de conocer si los periodos de concentración en la ladera se atribuyen a la alta permeabilidad de los suelos existentes, de acuerdo con la sección 4.4.3.

Figura 38. **Brote de agua en km 78+600**



Fuente: OECC. (2016). *Informe de monitoreo de falla km. 78.*

Figura 39. **Brote de agua en km 78+600**



Fuente: OECC. (2016). *Informe de monitoreo de falla km. 78.*

Entre marzo y abril de 2018 OECC inició los trabajos de limpieza y remoción derrumbes en la zona, lo cual generó nuevos movimientos del macizo, activando nuevamente la expansión del estrato de arcillas por acción del agua existente dentro del cuerpo de la ladera.

Figura 40. Agua acumulada km. 78+750



Fuente: OECC. (2018). *Informe periódico de falla km. 78.*

Figura 41. Limpieza y remoción del deslizamiento



Fuente: OECC. (2018). *Informe periódico de falla km. 78.*

Figura 42. Expansión de arcillas km. 78+700



Fuente: OECC. (2018). *Informe periódico de falla km. 78.*

Basado en los ensayos de campo y laboratorio, y su respectiva interpretación, se considera que el factor agua ha modificado las propiedades físico-mecánicas de los materiales existentes, afectando así, el comportamiento de las arcillas pertenecientes a los estratos más cercanos a la superficie, tal y como se puede observar en los resultados de los sondeos geofísicos mencionados en el capítulo anterior.

Cada formación geológica posee características particulares, que pueden facilitar la formación de acuíferos o corrientes concentradas de agua. El movimiento de agua es diferente en el suelo aluvial, en materiales meteorizados, suelos residuales y en los macizos rocosos isotrópicos.

El flujo de agua en suelos residuales posee una relación del régimen de aguas subterráneas con la presencia de discontinuidades de tipo geológico (evidenciadas en los muestreos de geofísica de la zona del deslizamiento) y la permeabilidad diferencial de las zonas con diversos grados de meteorización.

Los suelos de origen ígneo y metamórfico almacenan poca agua en ellos. Caso común de acuerdo con Suárez (2009) es en las formaciones de un talud compuestas por suelos residuales, capas de materiales permeables y casi impermeables, donde se generan concentraciones de flujo sobre ciertos planos, pueden ser o llegar a ser planos críticos de falla.

5.2. Causa 2: factor geológico

La geología local de la zona noreste de la cabecera departamento de Guastatoya, lugar en donde se ubica el área en estudio es posible encontrar los tres tipos de rocas (ígneas, sedimentarias y metamórficas).

Según los estudios geotécnicos realizados en la zona del deslizamiento, en particular los sondeos S1 y S3, se puede observar un segmento superficial caracterizado por arcillas, muy suaves y plásticas con contenido de humedad, con estructuras de flujo (áreas de movimiento – corte de falla).

La formación Subinal está compuesta por suelos predominantemente de lutitas rojas y verdes, limolitas, areniscas micáceas, areniscas arcósicas, y conglomerados; los suelos rojos en su mejor exposición se encuentran a lo largo de la carretera CA-9.

Maldonado Díaz (2015) en su trabajo de graduación titulado “*Caracterización estratigráfica de la formación Subinal*”, menciona que la unidad denominada capas rojas, consiste en una interestratificación entre lutitas con lentes de areniscas y niveles de conglomerados.

Los conglomerados actúan como relleno en estructuras sedimentarias como los paleocanales, encontrados en varios puntos de esta unidad. Esta unidad presenta una orientación marcada, en algunos puntos esta es casi horizontal, pero en general los estratos buzcan hacia el sur. “La unidad de suelos rojos está en contacto fallado (sinistral) con la unidad de caliza marmolizada y en contacto superior concordante con la secuencia de areniscas y conglomerados” (Maldonado Díaz, 2015, p.33).

Sobresale que se identificaron varios tipos de falla, a lo largo del estudio realizado por Maldonado Díaz (2015), clasificadas en función al ángulo que presentan las estrías, que son la evidencia del movimiento de los planos de fallas. A su vez, se observó varios planos de fracturas (compresión), en la unidad de capas rojas y unidad de areniscas y conglomerados.

Figura 43. Patrón de fractura en las unidades litológicas (a-b capas rojas y c-d areniscas y conglomerados)



Fuente: Maldonado. (2012). *Caracterización estratigráfica de la formación Subinal*.

Los sondeos realizados con perforación rotativa y recuperación de núcleo en los puntos indicados en capítulos anteriores definen claramente que los primeros estratos están conformados por rellenos antrópicos limo arcillosos con presencia de arena, a profundidades de 3,00 m arcillas limosas con menor cantidad de arena con consistencia compacta. De los 6,00 hasta los 19,00 m se encontró lutitas muy alteradas y con presencia de fracturas, en algunos casos con irrupciones de areniscas y conglomerados.

En profundidades mayores hasta los 22,00 m estratos de conglomerados conformados por roca sana, a los 33,00 m intercalaciones disimétricas de areniscas y lutitas con material alterado en parte lavado y de los 33,00 a los 45,00 m de profundidad lutitas y conglomerados alterados y fracturados.

Figura 44. Testigos de suelo recuperados en los sondeos con perforación rotativa



Fuente: OECC. (2017). *Estudio geotécnico avance de falla km. 78.*

El deslizamiento del km. 78+600 al 78+800 de la ruta CA-9 Norte, ha sufrido diferentes alteraciones a lo largo de los últimos meses, en él se ha trabajado para eliminar el volumen de tierra en el cuerpo y la corona de la ladera, se conformó bermas, que con el paso del tiempo el desplazamiento de la masa de tierra continuó en movimiento.

Según Maldonado Díaz (2015), en el pasado por procesos físicos externos, como deslizamientos o derrumbes se han provocado coluviones en algunos tramos de la carretera que conduce de Guastatoya a El Rancho, en donde la litología predominante, es bloques de basalto, tobas riolíticas y en menor cantidad ignimbritas.

“El inicio por un desplazamiento rotacional o una sacudida sísmica remodela la arcilla de forma casi instantánea convirtiéndola en un líquido denso arrastrando bloques de material superpuesto” (Expansión lateral, Hutchinson 1988, p. 18).

Los movimientos afectan al conjunto de formación, sin que se identifiquen zonas basales de cizalla o flujo plástico, o por lo menos, sin que estén bien definidas. Suelen afectar a litologías blandas y deformables que se encuentran por niveles potentes de materiales resistentes y densos. Ocurre a veces cuando un estrato de arcillitas húmedas y reblandeadas, estruje lateralmente por el peso de los estratos superiores. “El desplazamiento lateral provoca la fracturación de las capas de recubrimiento separándose en grandes bloques, entre los cuales es capaz de penetrar la arcilla” (Suárez, 2009, p. 25).

En los estudios geofísicos (MASW) realizados por *Overseas Engineering & Construction Company (GUA)*, S.A., se alcanzó profundidades de investigación, en las cuales se interpretaron las estructuras del deslizamiento, junto a los resultados de las perforaciones y evidencias geomorfológicas observadas en el sitio. Dicha investigación se hizo para determinar la presencia de discontinuidades y fracturas en el área, estudiando las variaciones de velocidades de las ondas de corte.

En la figura 20 se pueden observar los perfiles de Vs resultado de las estructuras interpretadas en la zona de interés. De los datos de sísmica MASW, se ubican las fracturas laterales del deslizamiento, el lecho superficial ubicado entre 5,00 y 9,00 m de profundidad, el substrato rocoso sano a los 20,00 m y un área fracturada que interesa, sectores más profundos hasta 15,00 y 20,00 m.

Figura 45. Talud de formación Subinal, diciembre 2016



Fuente: elaboración propia.

Figura 46. Talud de formación Subinal, abril 2018



Fuente: elaboración propia.

Geológicamente los factores que influyen en el comportamiento de la ladera del km. 78+600 al 78+800 de la ruta CA-9 Norte, basado en la investigación y análisis realizados son los siguientes:

- La litología heterogénea, complica el comportamiento de la ladera desde el punto de vista global del suelo, pues cada estrato posee sus propias características y estas, a su vez, actúan diferente ante las distintas condiciones a las cuales está expuesta.
- La estructura geológica del macizo es muy variada pues en los estudios geofísicos, se logró determinar la existencia de planos de estratificación, micro fisuras y zonas de fallamiento.
- La meteorización afecta la susceptibilidad a los deslizamientos, al disminuir la resistencia al cortante, aunque también ayuda a cementar las partículas de otros suelos con óxidos y silicatos.

5.3. Causa 3: factor antrópico

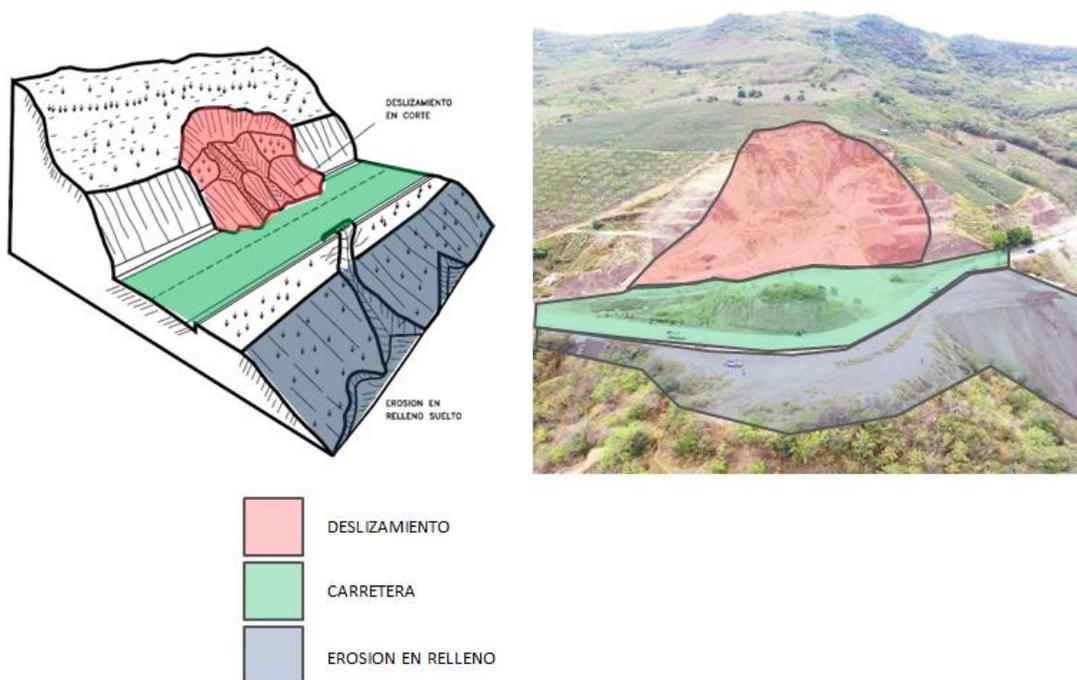
El factor antrópico impone condiciones, que incrementan la susceptibilidad de sufrir deslizamientos en las laderas, como lo pueden ser los cambios en la topografía y las cargas del talud, cambios en condiciones de humedad, vibraciones, cambios de cobertura vegetal, entre otros.

Conforme a la información geológica, la formación Subinal, acompañada de las formaciones Chol, Jalapa y Tahuaini, se clasifican como altamente erosionables. Entre los tipos de erosión, destacan, los deslizamientos. Las fuerzas que provocan pueden dividirse en externas e internas.

De acuerdo con Maldonado Díaz (2015) las fuerzas externas son las que actúan en la remoción de la parte baja de la ladera, por métodos artificiales como cortes y vibraciones del suelo, por fuerzas tectónicas y creación de pendientes artificiales con maquinaria y las fuerzas internas se identifican con la saturación de los suelos, deforestación, entre otras.

Las modificaciones topográficas producen en ocasiones movimientos diferenciales y concentración de esfuerzos en la estructura de los conductos que conducen a su rotura. Cuando los conductos atraviesan zonas de campo de materiales de cimentación se pueden presentar con el tiempo movimientos diferenciales que pueden conducir a la rotura y a deslizamientos (Suárez, 1998, p.12).

Figura 47. Efectos de la modificación de la topografía



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

El cambio de uso del suelo y la deforestación, son aspectos que afectan drásticamente las condiciones físicas de las laderas, porque modifican las condiciones de drenaje y regulan el proceso de escorrentía. Al eliminar la protección vegetal, se expone el terreno al impacto de las gotas de lluvia las cuales trabajan para vencer la cohesión de las partículas de la masa de suelo, lo cual provoca el transporte de partículas, seguido por la formación de surcos y la meteorización del suelo incrementa.

La cobertura vegetal existente determina una mayor o menor protección contra el impacto de la lluvia o la acción de las corrientes de agua. Adicionalmente, la vegetación retarda la escorrentía regulando los picos de caudal de las corrientes.

Años atrás la zona de estudio contaba con vegetación. Actualmente existen plantaciones de sábila, cuya naturaleza de crecimiento es en suelos arenosos, francos arenosos y francos arenosos-arcillosos idealmente secos y bien drenados. Por eso los suelos de la región son aptos para el cultivo de esta planta, ya que no requiere de mucho cuidado y riego. En consecuencia, por la falta de riego y prolongados periodos de sequía la planta absorbe la poca humedad del suelo y disminuye la cohesión del suelo permitiendo la inestabilidad del macizo y la pérdida de capacidad de drenaje.

En la figura 25, se presenta una misma zona fotografiada satelitalmente en tres años diferentes, en la cual se interpreta lo siguiente:

- En un período estimado de 6 años la cobertura forestal disminuyó considerablemente, según el informe del instituto de investigación y proyección sobre ambiente natural de la URL (2015). El municipio de Guastatoya posee una tasa anual del 6,74% de deforestación.

- En los últimos años la actividad de la ladera del km. 78+600 al 78+800 de la CA-9 Norte ha permanecido en movimiento, según las imágenes entre 2011 y 2017 el movimiento de macizo incremento.

Investigaciones como las de Larsen y Parks (1997) (como se cita en Suárez, 2009), indican que los deslizamientos son 5 a 8 veces más frecuentes a lo largo de carreteras que en áreas alejadas. Las carreteras afectan la estabilidad de los taludes, mediante procesos de corte y relleno, deforestación y concentración de aguas de escorrentía.

Los deslizamientos son frecuentes en los meses más cercanos después de la conformación del talud y a partir de ese momento ocurren deslizamientos eventuales, sobre todo, en temporadas de lluvia.

La existencia de proyectos viales disminuye la estabilidad de las laderas de la siguiente forma:

- Corte del pie de las laderas removiendo el soporte y facilitando el desplazamiento de materiales de la corona.
- Sobrecarga de la ladera con materiales de relleno.
- Aumento de las pendientes por corte del macizo.
- Concentración de aguas del drenaje de la vía en sitios inestables debajo de la carretera.
- Interceptación de niveles freáticos en los cortes, generando procesos de meteorización.
- Bloqueo de afloramientos de agua mediante rellenos y botaderos.
- Redireccionamiento del drenaje y concentración en determinados sitios.

Los rellenos a media ladera son algunos de los casos más comunes de deslizamientos en carreteras, debido a la conformación de terraplenes para la construcción de la vía. La falta de cimentación adecuada, bloqueo de niveles freáticos, falta de subdrenaje y compactación inadecuada hacen susceptible a deslizamientos las laderas.

Figura 48. Comparación de imágenes satelitales del área del deslizamiento (2011, 2014 y 2017 según el orden)



Fuente: elaboración propia, software Google Earth.

CONCLUSIONES

Se identificaron tres causas principales que provocaron el movimiento de la ladera del Km.78+600 al 78+800 de la CA-9 Norte, en el municipio de Guastatoya, que aun siendo independientes interactúan entre sí para dar paso al movimiento y problemática actual.

1. En el orden de importancia, primero la condición intrínseca (geomorfología, geología y pendientes); después la condición antrópica (cobertura vegetal y uso del suelo) y finalmente, la condición hidrogeológica (interacción del suelo y rocas con el régimen de agua o condiciones hídricas).
2. La formación Subinal, se caracteriza por una alta complejidad geológica y tectónica, por la presencia de varios grupos litológicos, diferenciados por su composición y características físico-mecánicas. De acuerdo con la evaluación geofísica mediante los ensayos de MASW y tomografías, se determinó la existencia de discontinuidades y fallas a diferentes profundidades y en unos casos contacto entre materiales blandos con materiales más densos, lo cual evidencia la afectación del factor geológico como causa del deslizamiento.

3. Los suelos con baja permeabilidad, al limitar el paso de agua superficial, ejercen una fuerte acción erosiva; la muestra de suelo No.2, ubicada en el cuerpo del deslizamiento presentó los niveles de erosión más altos. El uso inadecuado del suelo especialmente los terrenos de laderas de alta pendiente se convierten en factor fundamental que contribuye a la desestabilización del macizo, que se puede atribuir a la intervención antrópica, por cambio de uso del suelo y pérdida de la cobertura forestal.

4. El ángulo de fricción interna y cohesión de los materiales del deslizamiento, de acuerdo con lo evaluado por medio del ensayo de corte directo, presentan valores típicos para suelos de grano fino. Así mismo, la evaluación de los límites de Atterberg indicó que los materiales poseen una alta saturación en especial el de la muestra ubicada en el cuerpo de la ladera. Estos ensayos en conjunto al de la prueba del martillo de Schmidt permiten interpretar de mejor manera la medición del grado de meteorización de los suelos encontrados. Se determinó que los suelos poseen de mediano a alto grado de meteorización y, en consecuencia, pérdida de capacidad portante y cohesión por lavado de partículas cementantes.

5. La discusión final de los resultados y propuesta para alcanzarlos se presenta en el apéndice I.

RECOMENDACIONES

1. El factor geológico es un aspecto importante por ser tratado en la solución final para el reacondicionamiento de la carretera del Km.78+600 al 78+800 de la CA-9 Norte, principalmente porque es el causante del movimiento que ha afectado a los estratos más superficiales de la zona. Se recomienda realizar monitoreos para el deslizamiento tanto en la parte superior, media e inferior para evaluar la tipología e interacción del movimiento de la ladera.
2. Realizar la caracterización geológica cuando se localicen estratos con contenido de arcillas, pues la presencia de estas al contacto con agua tienen a alterar las propiedades físico-mecánicas y, en consecuencia, a modificar la estructura litológica de la zona, así como el grado de meteorización. Se deben establecer los parámetros principales de estas, previo a tomar decisiones que afecten el desarrollo de las obras de mitigación.
3. Realizar un análisis de estabilidad, con el fin de proponer el diseño de corte del talud que cumpla con las demandas hidrológicas actuales y, a su vez, provea seguridad, la cual será óptima cuando se libere de la energía que proporciona la masa de suelo que actúa sobre la ladera.
4. Reemplazar el suelo hasta una profundidad que permita que el drenaje natural de la ladera no se afectado por la colmatación de partículas finas y cementantes lavados producto de la meteorización de los suelos de la zona.

5. En áreas donde se encuentren depósitos de arcillas que serán intervenidas por obras estructurales, viales o de cualquier índole, se deben realizar todos los ensayos descritos en esta investigación, para tener los parámetros mínimos que permitan la toma de decisiones que beneficien dichas obras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ágreda, E. A. (2005). *Estabilidad de taludes* (Tesis maestría). Universitat Politècnica de Catalunya. Catalunya, España.
2. Álvarez, M. &. (1981). *Geología cartográfica, ejercicios sobre interpretación de mapas geológicos*. Madrid, España: Paraninfo.
3. Bañón Blásquez, J. F. (2000). *Manual de carreteras*. (Vol. II). Alicante, España: Ortíz e Hijos, Contratista de Obras, S.A.
4. Bates, R., & Jackson, J. A. (s.f.). *Glossary of Geology* (Third Edition ed.). Lincoln, United Kingdom: Aurora.
5. Braja, D. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. México: Cengage Learning.
6. Braja, D. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México: Cengage Learning.
7. Catalán, J. R. (2003). *Geología estructural y dinámica global*. (apuntes del curso). Universidad de Salamanca España. España.
8. Chávez, A. (2003). *Estudio geológico - geotécnico para la rehabilitación de la carretera Corral Quemado río Míeva Tramo I: Puerto Naranjitos - Pedro Ruiz* (Tesis pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú.

9. Chiquin Yoj, M. (2003). *Cartografía geológica del cuadrángulo El Progreso Escala 1:50,000* (Tesis de pregrado). Centro Universitario del Norte, Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
10. Consejo Municipal de Desarrollo del Municipio de Guastatoya y Secretaria de Planificación y Programación de la Presidencia, Dirección de Planificación Territorial. (2010). *Plan de Desarrollo, Guastatoya*. El Progreso, Guatemala.
11. Corea y Asociados, S.A. (2008). *Manual para la revisión de estudios geotécnicos*. Nicaragua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.
12. Crozier, M. (1986). *Landslides: Causes, Consequences and Environment*. London: Routledge Kegan & Paul.
13. Dengo, C. (R. 2016). *Posible unión de fallas Polochic y Motagua*. Guatemala: Centro Regional de Información sobre Desastres para América Latina y el Caribe.
14. Diaz, W. Á. (2015). *Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo* (Tesis pregrado). Universidad Militar Nueva Granada. Bogota.
15. Duque Escobar, G. (2017). *Manual de geología para ingenieros*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
16. Empresa propietaria de la red (EPR). (1997). *Estudio de impacto ambiental, proyecto SIEPAC tramo Guatemala*. Guatemala: Soluziona.

17. Escobar, G. (R. 2017). *Curso de geología física*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
18. Giunta et al. (2002). *The Motagua Suture Zone in Guatemala* (Tesis maestría). Universidad de Palermo. Palermo, Italia.
19. Figueroa, A. (1988). *Diagnóstico preliminar de la cuenca hidrográfica binacional Motagua*. (Vol. Documento Trifinio No.10). Guatemala - Honduras.
20. Fundación para la conservación de los recursos naturales y ambiente en Guatemala FCG. (2012). *Diagnóstico preliminar de situación de la cuenca del Río Motagua*. Guatemala.
21. Hirschmann T. (1962). *Reconnaissance geology and stratigraphy of the Subinal Formation (tertiary) of the El Progreso area, Guatemala, C.A.* (Tesis maestría). Indiana University. Bloomington, IN, Estados Unidos.
22. Instituto Geográfico Nacional. (1974). *Atlas Nacional de Guatemala*. Guatemala: IGN.
23. Instituto Nacional de Preservación Sísmica, INPRES. (2016). *Fallas geológicas*. Recuperado de: www.inpres.gov.ar.
24. Internacional, A. (1998). *Ensayo de corte directo ASTM D3080-98*. West Conshohoken, PA.

25. Internacional, A. (2000). *Ensayo de medición de la conductividad hidráulica (permeabilidad) ASTM D5856-00*. West Conshohoken, PA.
26. Internacional, A. (2002). *Análisis granulométrico por sedimentación ASTM D422-02*. West Conshohoken, PA.
27. Internacional, A. (2004). *Análisis granulométrico con tamices ASTM D6913-04*. West Conshohoken, PA.
28. Internacional, A. (2005). *Ensayo de gravedad específica ASTM D854-05*. West Conshohoken, PA.
29. Internacional, A. (2011). *Sondeo de penetración estandar ASTM D1886-11*. West Conshohoken, PA.
30. Internacional, A. (2018). *Límites de Atterberg AASHTO T89 y T90*. Obtenido de <https://www.scribd.com/doc/200096372>.
31. Badillo, R. (2012). *Fundamentos de la mecánica de suelos* (Vol. Tomo 1). México: Limusa.
32. Santiesteban J. (2005). *Planteamiento de solución a la problemática de la infraestructura vial en Guatemala y la modalidad de contratación estudio, diseño y construcción "llave en mano"*. (Tesis pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
33. Jackson, R. L. (1980). *Diccionario de geología*. Virginia, Estados Unidos: Instituto Geológico Americano.

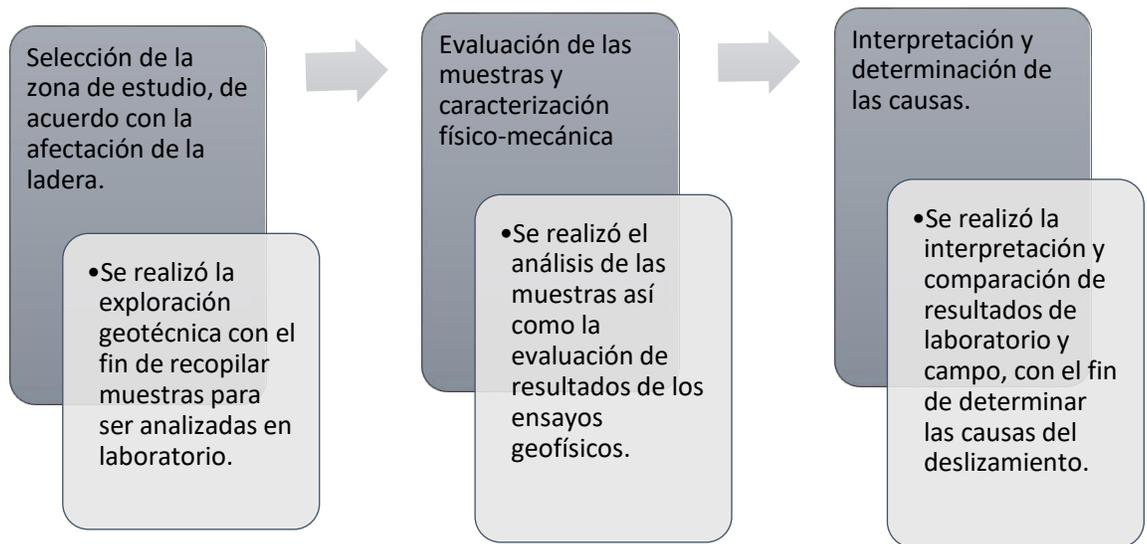
34. López, S. (2015). *Diferencias de las propiedades fisico-mecánicas en arcillas de tres formaciones geológicas, distribuidas en el bloque Chortí, República de Guatemala* (Tesis maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
35. López-Davalillo, J. C. (2005). *Análisis de la vulnerabilidad por movimientos de ladera: Desarrollo de las metodologías para evaluación y cartografía de la vulnerabilidad*. Memoria, España.
36. Lourie, J. (2001). *Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays*. Los Ángeles, California: Seismological Society of America.
37. Luna, J. (2001). *Estudio geológico - minero del departamento de El Progreso, Guatemala, Centro América*. Ministerio de Energía y Minas, Guatemala.
38. Maldonado Díaz, C. F. (2015). *Geología en El Progreso: Caracterización estratigráfica de la formación Subinal, en el segmento del Km. 79 de la CA-09*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos. Cobán, Guatemala.
39. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2001). *Mapa fisiográfico - geomorfológico de la república de Guatemala*. Guatemala: MAGA.
40. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. (2011). *Los movimientos de ladera*. Guatemala.

41. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. (2014). *Red vial de Guatemala año 2014*. Guatemala: Dirección General de Caminos, División de Planificación y Estudios, Departamento de Ingeniería de Tránsito.
42. Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda. (2016). *Mapa de la red vial Departamento de El Progreso*. Guatemala: Dirección General de Caminos, División de Planificación y Estudios, Departamento de Ingeniería de Tránsito.
43. Ministerio de Energía y Minas. (R. 2016). *Monografía geológico - minera del departamento de "El Progreso" Guatemala, Centro América*. Guatemala: Dirección General de Minería.
44. Molina, E., Villagran, M. & Ligorria, J. P., (1996). *Amenaza sísmica en Guatemala*. Guatemala: INSIVUMEH.
45. Morales, L. & Lopez, M. (2003). *Estimación de la amenaza y el riesgo de deslizamiento en laderas*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana, Colombia.
46. Navarro, S. (R. 2016). *Estabilidad de taludes*. Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería, sede regional Norte. Recuperado de <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/09/estabilidad-de-taludes.pdf>.

47. Rodríguez, C. (2004). *Material bibliográfico curso: Análisis probabilístico, confiabilidad y riesgo en ingeniería*. Pontificia Universidad Javeriana. Bogota, Colombia.
48. sánchez, U. (2011). *Metodología para la evaluación de riesgos en corredores viales* (Tesis pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. Bogota, Colombia.
49. Suárez, J. (1998). *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Colombia: Instituto de Investigaciones sobre erosión y deslizamiento.
50. Suárez, J. (2009). *Análisis geotécnico de deslizamientos*. Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y deslizamiento.
51. Vallejo, G. (2002). *Ingeniería geológica*. Madrid, España: Pearson Educacion.
52. Vásquez., V. M. (2014). *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión* (Tesis pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala. El Progreso, Guatemala.

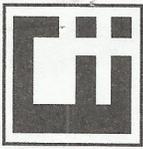
APÉNDICE

Apéndice 1. **Discusión final de resultados y propuesta para alcanzarlos**



Fuente: elaboración propia.

ANEXOS



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. 199 S.S.

O.T.: 37.222

No. 11629

INTERESADO: Luis Héctor Reyes Reyes

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Causas del Deslizamiento del Km. 78+600 al Km. 78+800 de la Ruta Centroamericana CA-9 Norte, Municipio de Guastatoya, Departamento de El Progreso"

ASUNTO: ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS DEL SUELO

NORMA: ASTM D854-05

UBICACION: Guastatoya, El Progreso

FECHA: jueves, 25 de mayo de 2017

RESULTADOS:

ENSAYO	MUESTRA	GRAVEDAD ESPECÍFICA (20 °C)	DESCRIPCIÓN
1	Talud Km. 78+600	2,67	Limo Arcilloso Color Corinto
2	Carretera Km. 78+600	2,62	Limo Arcilloso Color Corinto

OBSERVACIONES:

Muestras proporcionadas por el interesado.

Atentamente,



Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 11635

Informe No.: 205 S.S. **O.T.:** 37.222

Interesado: Luis Héctor Reyes Reyes

Proyecto: Trabajo de Graduación "Causas del Deslizamiento del Km. 78+600 al Km. 78+800 de la Ruta Centroamericana CA-9 Norte, Municipio de Guastatoya, Departamento de El Progreso"

Ubicación: Guastatoya, Departamento de El Progreso

Ensayo: CORTE DIRECTO

Norma: ASTM D 3080-04

Fecha: jueves, 25 de mayo de 2017

Profundidad: 0

Pozo: 1

Muestra: Talud Km. 78+600

Descripción del Suelo: Limo Arcilloso Color Corinto

Diámetro Inicial: 6.35 cm

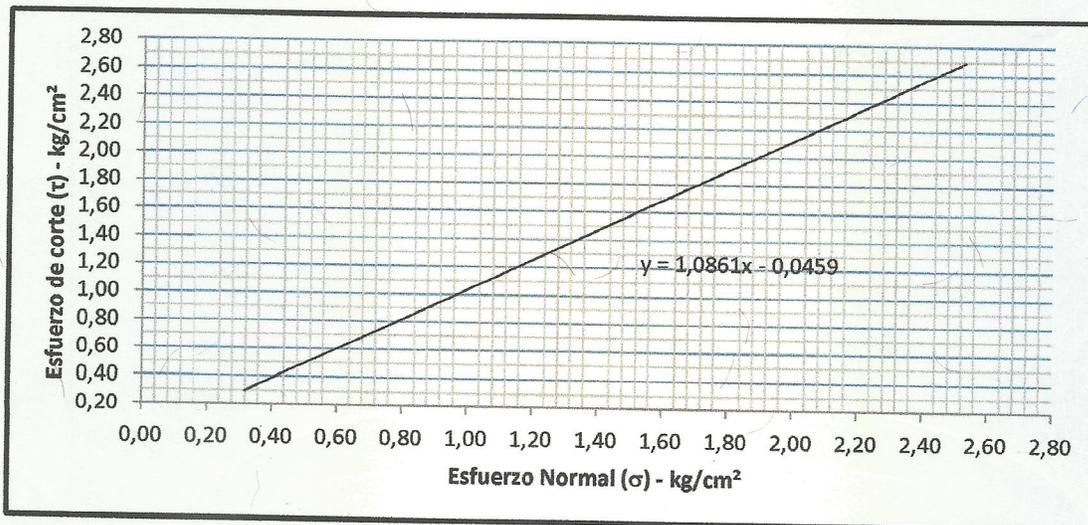
Área inicial: 31.67 cm²

Altura inicial: 2.54 cm

Volúmen Inicial: 80.44 cm³

Tipo de Ensayo: Consolidado, Drenado

Tipo de Probeta: Tallada



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA: $\phi = 47,36^\circ$

COHESIÓN APARENTE: $C_u = 0,00 \text{ Ton/m}^2$

PROBETA No.	1	2	3	4
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	0,32	0,63	1,26	2,53
ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	0,48	0,36	1,43	2,69
DENSIDAD SECA (Ton/m ³)	1,64	1,64	1,64	1,64
DENSIDAD HUMEDA (Ton/m ³)	1,81	1,81	1,81	1,81
HUMEDAD (%H)	10,90	10,90	10,90	10,90

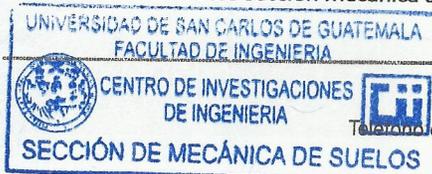
OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

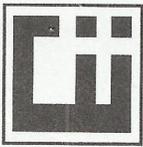
Atentamente,

Omar E. Medrano Méndez
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Francisco Javier Quirón de la Cruz
Ing. Francisco Javier Quirón de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC



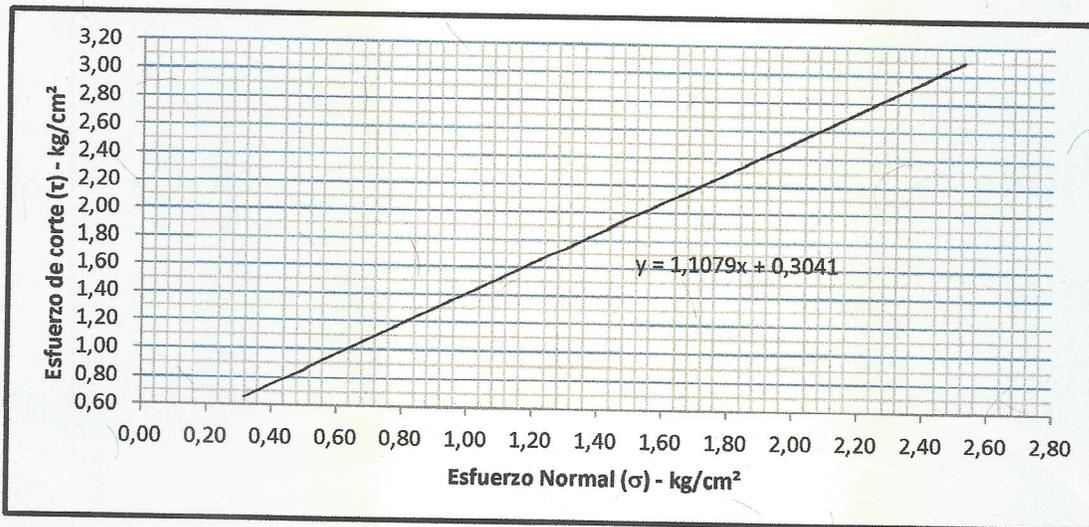


**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 11636

Informe No.: 206 S.S. **O.T.:** 37.222
Interesado: Luis Héctor Reyes Reyes
Proyecto: Trabajo de Graduación "Causas del Deslizamiento del Km. 78+600 al Km. 78+800 de la Ruta Centroamericana CA-9 Norte, Municipio de Guastatoya, Departamento de El Progreso"
Ubicación: Guastatoya, Departamento de El Progreso
Ensayo: CORTE DIRECTO
Norma: ASTM D 3080-04
Fecha: jueves, 25 de mayo de 2017 **Profundidad:** 0 **Pozo:** 1
Descripción del Suelo: Limo Arcilloso Color Corinto **Muestra:** Carretera Km. 78+600
Tipo de Ensayo: Consolidado, Drenado **Diámetro Inicial:** 6.35 cm
Tipo de Probeta: Tallada **Área inicial:** 31.67 cm²
Altura inicial: 2.54 cm
Volúmen Inicial: 80.44 cm³



PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA: $\phi = 47,93^\circ$

COHESIÓN APARENTE: $C_u = 3,04 \text{ Ton/m}^2$

PROBETA No.	1	2	3	4
ESFUERZO NORMAL (kg/cm ²)	0,32	0,63	1,26	2,53
ESFUERZO DE CORTE (kg/cm ²)	0,74	0,93	1,66	3,13
DENSIDAD SECA (Ton/m ³)	1,81	1,81	1,81	1,81
DENSIDAD HUMEDA (Ton/m ³)	1,98	1,98	1,98	1,98
HUMEDAD (%H)	9,53	9,53	9,53	9,53

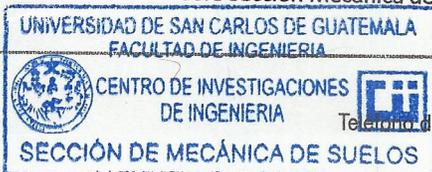
OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Omar Enrique Medina Méndez
 Ing. Omar Enrique Medina Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Francisco Javier Quijón de la Cruz
 Ing. Francisco Javier Quijón de la Cruz
 DIRECTOR CII/USAC





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 201 S.S. **O.T. No.:** 37.222 **No.** 11631
INTERESADO: Luis Héctor Reyes Reyes
ENSAYO: Análisis Granulométrico por Sedimentación
NORMA: ASTM D422-02
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Causas del Deslizamiento del Km. 78+00 al Km. 78+800 de la Ruta Centroamericana CA-9 Norte, Municipio de Guastatoya, Departamento de El Progreso"
UBICACIÓN: Guastatoya, Departamento de El Progreso
FECHA: jueves, 25 de mayo de 2017 **Muestra:** Carretera Km. 78+600

ANÁLISIS POR MALLAS

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/8"	9,50	100,00
4	4,75	100,00
10	2,00	100,00
20	0,85	99,98
40	0,43	99,97
60	0,25	99,70
100	0,15	97,60
140	0,106	94,33
200	0,075	92,09

ANÁLISIS POR HIDRÓMETRO

Abertura (mm)	% que pasa
0,0377	70,27
0,0275	65,72
0,0203	58,15
0,0151	50,58
0,0114	43,01
0,0084	35,44
0,0061	27,86
0,0044	23,78
0,0031	20,14
0,0021	19,69
0,0019	15,14
0,0013	13,93

% de Grava: 0,00
 % de Arena: 5,67
 % de finos: 94,33

Tamaño de partícula

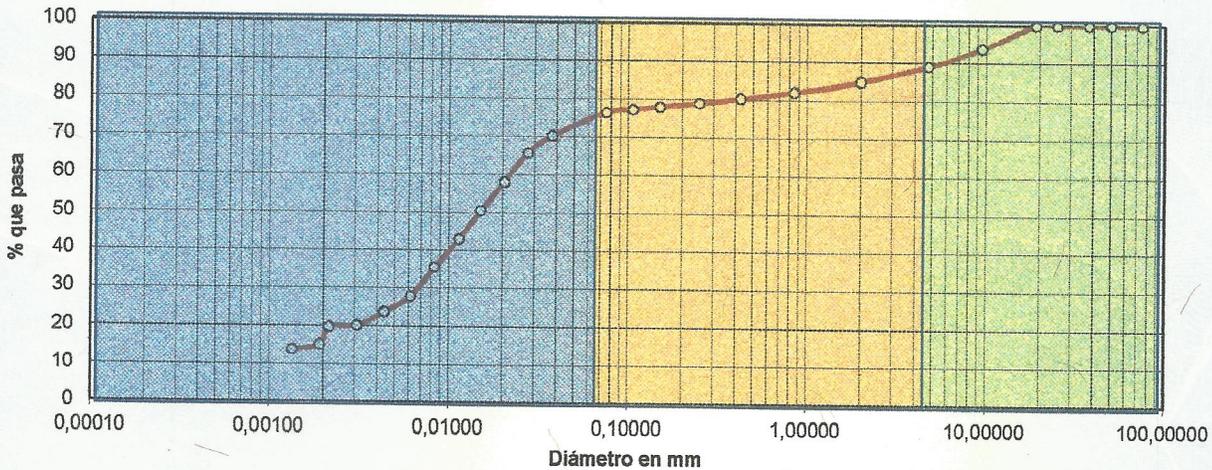
	AASHTO	ASTM
Limo	0.05-0.002	0.075-0.005
Arcilla	< 0.002	< 0.005

Descripción del material:

Limo Arcilloso Color Corinto

G_{20°C} = 2,62

Curva de Distribución Granulométrica



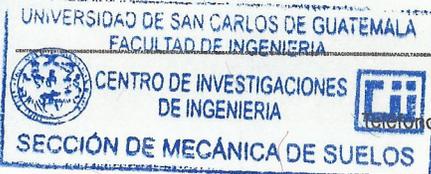
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

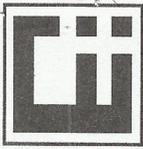
Atentamente,

Omar Enrique Méndez Méndez
 Ing. Omar Enrique Méndez Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Francisco Javier Quiñones de la Cruz
 Ing. Francisco Javier Quiñones de la Cruz
 DIRECTOR CII/USAC





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 200 S.S. **O.T. No.:** 37.222 **No.** 11630
INTERESADO: Luis Héctor Reyes Reyes
ENSAYO: Análisis Granulométrico por Sedimentación
NORMA: ASTM D422-02
PROYECTO: Trabajo de Graduación "Causas del Deslizamiento del Km. 78+00 al Km. 78+800 de la Ruta Centroamericana CA-9 Norte, Municipio de Guastatoya, Departamento de El Progreso"
UBICACIÓN: Guastatoya, Departamento de El Progreso
FECHA: jueves, 25 de mayo de 2017 **Muestra:** Talud Km. 78+600

ANÁLISIS POR MALLAS

Tamiz	Abertura (mm)	% que pasa
3/8"	9,50	100,00
4	4,75	100,00
10	2,00	100,00
20	0,85	99,98
40	0,43	99,97
60	0,25	99,70
100	0,15	97,60
140	0,106	94,33
200	0,075	92,09

ANÁLISIS POR HIDRÓMETRO

Abertura (mm)	% que pasa
0,0383	68,52
0,0278	63,06
0,0204	56,82
0,0151	49,01
0,0111	45,89
0,0082	36,52
0,0060	31,84
0,0043	27,63
0,0032	23,88
0,0021	17,95
0,0019	13,27
0,0013	12,80

% de Grava: 0,00
 % de Arena: 5,67
 % de finos: 94,33

Tamaño de partícula

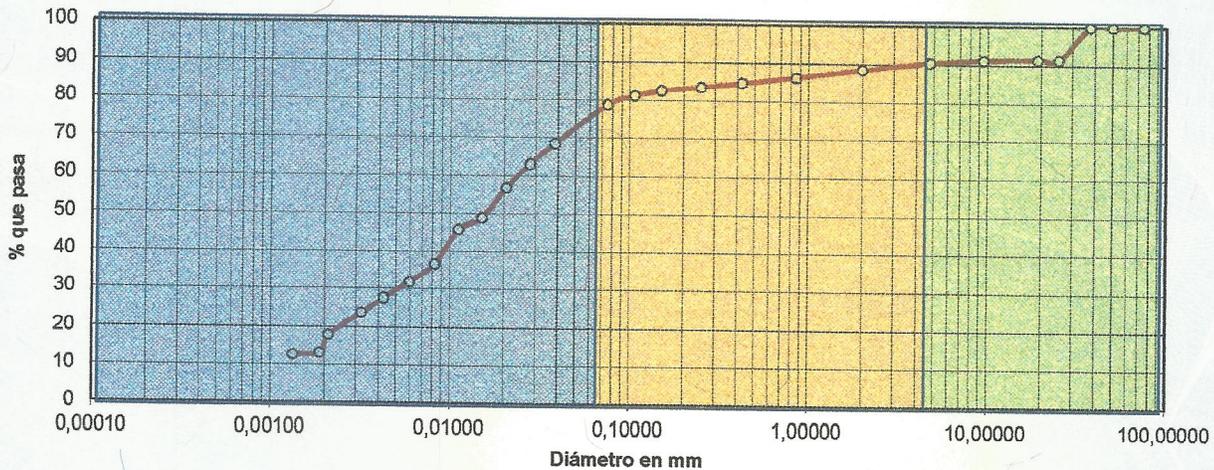
	AASHTO	ASTM
Limo	0.05-0.002	0.075-0.005
Arcilla	< 0.002	< 0.005

Descripción del material:

Limo Arcilloso Color Corinto

G_{20°C} = 2,67

Curva de Distribución Granulométrica



Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,

Omar E. Medrano Méndez
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Francisco Javier Quiñones de la Cruz
 Ing. Francisco Javier Quiñones de la Cruz
 DIRECTOR CII/USAC





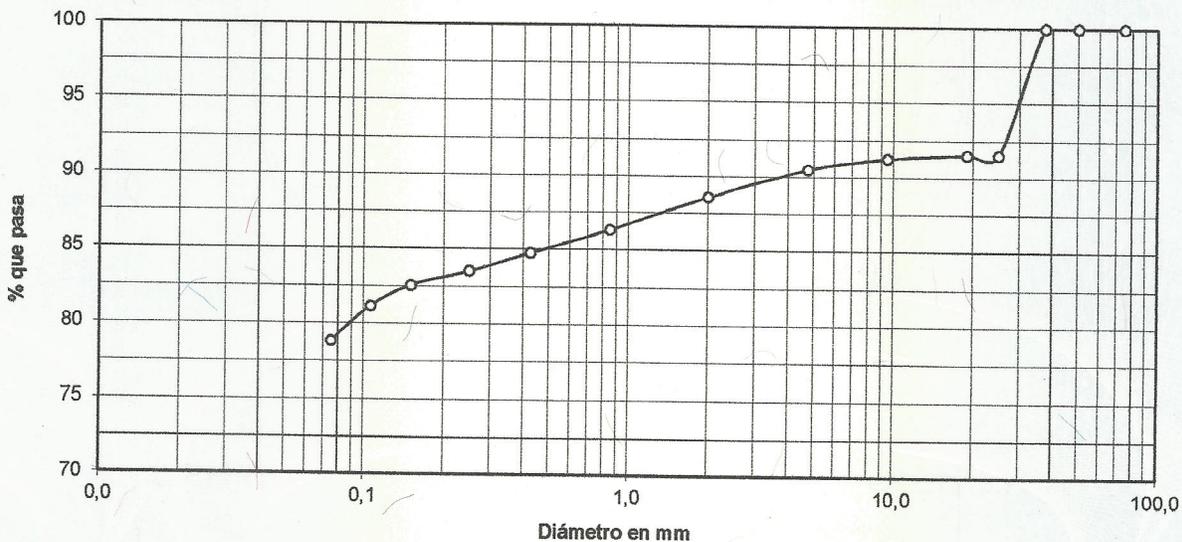
**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 11627

Informe No.: 197 S.S. O.T.: 37.222
 Interesado: Luis Héctor Reyes Reyes
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico con tamices y lavado previo
 Norma: ASTM D6913-04
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Causas del Deslizamiento del Km. 78+600 al Km. 78+800 de la Ruta Centroamericana CA-9 Norte, Municipio de Guastatoya, Departamento de El Progreso"
 Ubicación: Guastatoya, Departamento de El Progreso
 Fecha: jueves, 25 de mayo de 2017 Muestra: Talud Km. 78+600

Análisis con Tamices:					
Tamiz	Abertura	% que pasa	Tamiz	Abertura	% que pasa
3"	75 mm	100,00	10	2.00 mm	88,56
2"	50 mm	100,00	20	850 µm	86,36
1 1/2"	37.5 mm	100,00	40	425 µm	84,75
1"	25 mm	91,53	60	250 µm	83,54
3/4"	19.0 mm	91,53	100	150 µm	82,57
3/8"	9.5 mm	91,25	140	106 µm	81,17
4	4.75 mm	90,47	200	75 µm	78,83



Descripción del suelo: Limo Arcilloso Color Corinto

Clasificación: S.C.U.: ML % de Grava: 9,53 D10: *
 P.R.A.: A-7-6 % de Arena: 11,64 D30: *
 % de finos: 78,83 D60: *

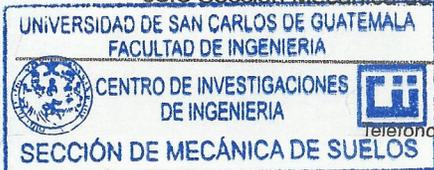
Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.
 * Diámetro efectivo no aplica.

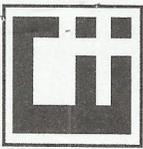
Atentamente,

Omar E. Medrano Méndez
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo.Bo.

Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
 DIRECTOR CII/USAC





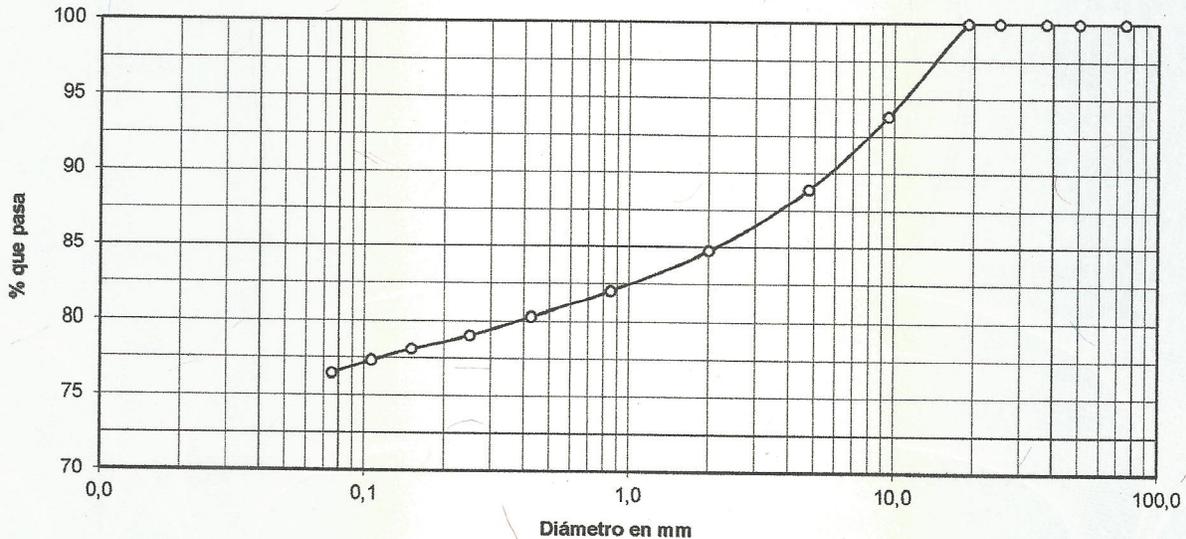
**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 11628

Informe No.: 198 S.S. O.T.: 37.222
 Interesado: Luis Héctor Reyes Reyes
 Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico con tamices y lavado previo
 Norma: ASTM D6913-04
 Proyecto: Trabajo de Graduación "Causas del Deslizamiento del Km. 78+600 al Km. 78+800 de la Ruta Centroamericana CA-9 Norte, Municipio de Guastatoya, Departamento de El Progreso"
 Ubicación: Guastatoya, Departamento de El Progreso
 Fecha: jueves, 25 de mayo de 2017 Muestra: Carretera Km. 78+600

Análisis con Tamices:					
Tamiz	Abertura	% que pasa	Tamiz	Abertura	% que pasa
3"	75 mm	100,00	10	2.00 mm	84,75
2"	50 mm	100,00	20	850 µm	82,01
1 1/2"	37.5 mm	100,00	40	425 µm	80,30
1"	25 mm	100,00	60	250 µm	79,02
3/4"	19.0 mm	100,00	100	150 µm	78,07
3/8"	9.5 mm	93,81	140	106 µm	77,33
4	4.75 mm	88,93	200	75 µm	76,48



Descripción del suelo: Limo Arcilloso Color Corinto
 Clasificación: S.C.U.: ML P.R.A.: A-4
 % de Grava: 11,07 D10: *
 % de Arena: 12,45 D30: *
 % de finos: 76,48 D60: *

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.
 * Diámetro efectivo no aplica.

Atentamente,

Omar E. Medrano Méndez
 Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
 Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo.Bo.

Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
 Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
 DIRECTOR CII/USAC





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



INFORME No. 196 S.S.

O.T.: 37.222

No. 11626

Interesado: Luis Hector Reyes Reyes

Proyecto: Trabajo de Graduación "Causas del Deslizamiento del Km, 78+600 al Km. 78+800 de la Ruta Centroamericana CA-9 Norte, Municipio de Guastatoya Departamento de El Progreso"

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: Guastatoya, El Progreso

FECHA: jueves, 25 de mayo de 2017

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	Talud Km. 78+600	43,3	14,1	ML	Limo Arcilloso Color Corinto
2	Carretera Km. 78+600	34,7	8,8	ML	Limo Arcilloso Color Corinto

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.

Atentamente,

Omar Enrique Morano Méndez
Ing. Omar Enrique Morano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo.Bo.

Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 11633

INFORME No.: 204 S.S.

O.T.: 37.222

INTERESADO: Luis Héctor Reyes Reyes

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Causas del Deslizamiento Del Km. 78+600 al Km. 78+800 de la Ruta Centroamericana CA-9 Norte, Municipio de Guastatoya, Departamento de El Progreso"

UBICACIÓN: Guastatoya, Departamento de El Progreso

ASUNTO: ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

NORMA: AASHTO T-265 ASTM D-2216

FECHA: jueves, 25 de mayo de 2017

RESULTADO DEL ENSAYO:

Contenido de humedad (%)	Muestra	Descripcion del Material
10,90	Talud Km. 78+600	Limo Arcilloso Color Corinto
9,53	Carretera Km. 78+600	Limo Arcilloso Color Corinto

OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

Atentamente,



Omar E. Medrano Méndez
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Francisco Javier Quiñónez de La Cruz
Ing. Francisco Javier Quiñónez de La Cruz
DIRECTOR CII/USAC





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 11632

INFORME No.: 202 S.S.

O.T. No.: 37.222

INTERESADO: Luis Héctor Reyes Reyes

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Causas del Deslizamiento del Km. 78+600 al Km. 78+800 de la Ruta Centroamericana CA-9 Norte, Municipio de Guastatoya, Departamento de El Progreso"

ASUNTO: Ensayo de Permeabilidad Cabeza Constante por el método de molde de pared rígida

NORMA: ASTM D 5856-00

UBICACIÓN: Guastatoya, Departamento de El Progreso

MUESTRA No.: Talud Km. 78+600 **PROFUNDIDAD:** X m

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Limo Arcilloso Color Corinto

FECHA: jueves, 25 de mayo de 2017

RESULTADO DEL ENSAYO:

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD = 9,142 x 10⁻⁷ cm/s

OBSERVACIONES:

Muestra proporcionada por el interesado.



Atentamente,

Omar E. Medina Montez
Ing. Omar Enrique Medina Mendez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo.

Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC





**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 11634

INFORME No.: 203 S.S.

O.T. No.: 37.222

INTERESADO: Luis Héctor Reyes Reyes

PROYECTO: Trabajo de Graduación "Causas del Deslizamiento del Km. 78+600 al Km. 78+800 de la Ruta Centroamericana CA-9 Norte, Municipio de Guastatoya, Departamento de El Progreso"

ASUNTO: Ensayo de Permeabilidad Cabeza Constante por el método de molde de pared rígida

NORMA: ASTM D 5856-00

UBICACIÓN: Guastatoya, Departamento de El Progreso

MUESTRA No.: Carretera Km. 78+600 **PROFUNDIDAD:** X m

DESCRIPCIÓN DEL SUELO: Limo Arcilloso Color Corinto

FECHA: jueves, 25 de mayo de 2017

RESULTADO DEL ENSAYO:

COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD = 7,196 x 10⁻⁵ cm/s

OBSERVACIONES:

Muestra proporcionada por el interesado.



Atentamente,

Omar E. Medrano Méndez
Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo. Bo. *Francisco Javier Quiñonez*
Ing. Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC





LABORATORIO

Resumen de los ensayos

Interesado: OECC

Proyecto: Estudio de Suelos

Ubicación: Km. 78 + 600, Carretera CA-9 Norte, El Progreso

Sondeo de Falla No. 1 (SF-1)

SONDEO SF-1	GRANULOMETRÍA							PLASTICIDAD		CLASIFICACIÓN		GS	COLOR	% DE HUMEDAD NATURAL
	Prof. (m)	Tamiz #200	Tamiz #40	Tamiz #10	Tamiz #4	% Finos	% Arena	% Grava	LL	IP	SCU			
0.00 - 3.05	77.35	83.45	88.89	92.23	77.35	14.88	7.77	38.97	20.72	CL	A-6	2.72	2.5YR 3/2	22.33
3.05 - 5.00	71.33	77.47	79.96	84.73	71.33	13.40	15.27	36.56	19.28	CL	A-6	2.72	2.5YR 3/2	22.44
5.00 - 8.90	76.98	83.23	88.94	91.92	76.98	14.94	8.08	33.90	16.75	CL	A-6	2.71	2.5YR 3/2	23.55
8.90 - 10.65	75.72	82.55	87.91	92.43	75.72	16.71	7.57	30.41	12.24	CL	A-6	2.71	2.5YR 3/2	21.46
10.65 - 18.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5YR 3/2	-
18.05 - 19.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5Y 8/1	-
19.55 - 23.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10R 2.5/2	-
23.25 - 27.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10YR 7/2	-
27.70 - 30.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10R 2.5/2	-

NOTA: Muestra no representativa: -

NP: No presenta

COLOR: Según Munsell Soil-Color Charts

Vo.Bo

Ing. Ernesto Marroquin
Jefe laboratorio de suelos



LABORATORIO DE SUELOS
Avenida el Cementerio 1-00 Zona 11, San Miguel Petapa
Planta 1 PreCon
PBX: 2328.8080 - Cel: 4061.7331



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 05-12-16

FECHA FINAL: 08-12-16

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887222 m

Y: -90.047750 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 30.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO Nº

Sondeo 1 (S-1)

HOJA 1 de 4

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)
0.00	100	MA								0.00m Relleno antrópico: limo areno- arcilloso de color marrón rojizo, con grava. Material compactado.	1.15	1.00		77.3	39.0	18.3	21.0	22.3			1.00
1.15	100	SPT	6-16-20 (36)									2.00									2.00
1.15	100	MA						CL		1.15m Arcilla limosa de color marrón. Consistencia dura.		3.00									3.00
2.35	100	SPT	10-18-21 (39)									4.00		71.3	36.6	17.3	20.0	22.5			4.00
2.35	43	MA						CL		3.50m Grava y fragmentos de roca en una matriz limo arenosa lavada con la perforación. Consistencia compacta.		5.00									5.00
2.35	100	SPT	10-10-10 (20)									6.00									6.00
2.00	62	MA										7.00		77.0	33.9	17.2	17.0	23.6			7.00
2.00	100	SPT	15-16-15 (31)									8.00									8.00
2.00	100	MA						CL		5.50m Arcilla limosa de color marrón con menor arena y grava. Consistencia dura.		8.00									8.00
2.00	100	SPT	17-29-43 (72)									8.00									8.00

(Continúa en la Página Siguiente)

LEYENDA



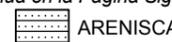
RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



CONGLOMERADO

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 05-12-16

FECHA FINAL: 08-12-16

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887222 m

Y: -90.047750 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 30.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO Nº

Sondeo 1 (S-1)

HOJA 2 de 4

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)
100	100	MA						CL		5.50m Arcilla limosa de color marrón con menor arena y grava. Consistencia dura. (continua)		9.00		75.7	30.4	18.2	12.0	21.5			9.00
9.00	100	SPT		34-50/R en 10 cm								9.30									
10.00	100	MA				40				9.30m Lutita laminada de color marrón rojizo con tramos muy alterados y fracturados.		10.00							W4		10.00
10.00	100	SPT		50/R en 10 cm								10.65							W4		10.65
11.00	100	MA				86				10.65m Lutita laminada de color rojo.		11.00							W1		11.00
12.00	100	MA				60				13.00m Lutita de color marrón, muy fracturada.		12.00	65.00						W2		12.00
13.00	100	MA										13.00									13.00
14.00	100	MA				40				14.00m Lutita de color marrón rojizo, con menores tramos de arenisca y 3 tramos decimétricos muy fracturados.		14.00							W3		14.00
15.00	100	MA				57						15.00							W2		15.00

(Continua en la Página Siguiente)

LEYENDA



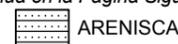
RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



CONGLOMERADO

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 05-12-16

FECHA FINAL: 08-12-16

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887222 m

Y: -90.047750 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 30.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO Nº

Sondeo 1 (S-1)

HOJA 3 de 4

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

REGISTRO SUELO/ROCA - A3 FALLA KM 78 GPJ GINT STD ESPANA LAB.GDT 26/1/17

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)
17.00	100	MA	MA			77				14.00m Lutita de color marrón rojizo, con menores tramos de arenisca y 3 tramos decimétricos muy fracturados. (continua)		17.00									17.00
18.00	100	MA	MA			80				18.05m Areniscas y conglomerados estratificados de color gris verdoso.	18.05	18.00	500.00								18.00
19.00	100	MA	MA			13				19.55m Lutita de color rojo, muy alterada y fracturada.		19.00									19.00
20.00	100	MA	MA			90				21.05m Lutita de color rojo, roca sana.		20.00									20.00
21.00	100	MA	MA			100				23.20m Conglomerado de color verde gris, roca sana.		21.00	257.00								21.00
22.00	100	MA	MA									22.00									22.00
23.00	100	MA	MA									23.00	386.00								23.00

LEYENDA



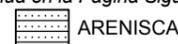
RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



CONGLOMERADO

(Continua en la Página Siguiente)

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 05-12-16

FECHA FINAL: 08-12-16

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887222 m

Y: -90.047750 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 30.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO N°

Sondeo 1 (S-1)

HOJA 4 de 4

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

REGISTRO SUELO/ROCA - A3 FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPANA LAB.GDT 26/1/17

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)	
25.00	100		MA			83				23.20m Conglomerado de color verde gris, roca sana.(continua)		25.00							W1		25.00	
26.00	100		MA			73						26.00								W1		26.00
27.00												27.00	124.00							W1		27.00
28.00	100		MA			83			4.50			27.70								W1		28.00
29.00										27.70m Lutita de color rojo, roca sana.		29.00								W1		29.00
30.00	100		MA			80			2.35	Fin de SONDEO a 30.05m		30.00										30.00
31.00												31.00										31.00

LEYENDA



RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



CONGLOMERADO

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



CLIENTE OECC **PROYECTO** Área de Falla
CÓDIGO _____ **LOCALIZACIÓN** Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso
FECHA COMIENZO 5/12/16 **FECHA FINAL** 8/12/16 **ELEVACIÓN** _____ **TAMAÑO de SONDEO** mm
PERFORACIÓN SUBCONTRATISTA _____ **NIVEL FREÁTICO** _____
PERFORACIÓN MÉTODO _____ **DURANTE LA PERFORACIÓN** ---
SONDISTA Carlos Morente **REG. POR** _____ **AL FINAL DE LA PERFORACIÓN** ---
OBSERVACIONES _____ **DESPUÉS de PERFORACIÓN** ---

PROFUNDIDAD (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN % (RQD)	GOLPEOS (VALOR N)	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	▲ SPT N VALOR ▲	
								LP	W
0.00		0.00m Relleno antrópico: limo areno- arcilloso de color marrón rojizo, con grava. Material compactado.		MA	100				
2.00		1.15m Arcilla limosa de color marrón. Consistencia dura.		SPT	100	6-16-20 (36)			
4.00		3.50m Grava y fragmentos de roca en una matriz limo arenosa lavada con la perforación. Consistencia compacta.		MA	43				
6.00		5.50m Arcilla limosa de color marrón con menor arena y grava. Consistencia dura.		SPT	100	10-18-21 (39)			
8.00		9.30m Lutita laminada de color marrón rojizo con tramos muy alterados y fracturados.		MA	62				
10.00		10.65m Lutita laminada de color rojo.		SPT	100	15-16-15 (31)			
12.00		13.00m Lutita de color marrón, muy fracturada.		MA	100	17-29-43 (72)			
14.00		14.00m Lutita de color marrón rojizo, con menores tramos de arenisca y 3 tramos decimétricos muy fracturados.		SPT	100	34-50/R en 10 cm	W4		>>
16.00			65.00	MA	100 (40)		W4		>>
				SPT	100	50/R en 10 cm	W1		
				MA	100 (86)		W2		
				MA	100 (60)		W2		
				MA	100 (40)		W3		
				MA	100		W2		

REGISTRO COLUMNAS Y GRAFICOS - A4 FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

PROFUNDIDAD (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN % (ROD)	GOLPEOS (VALOR N)	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	▲ SPT N VALOR ▲					
								20	40	60	80		
18		14.00m Lutita de color marrón rojizo, con menores tramos de arenisca y 3 tramos decimétricos muy fracturados. <i>(continua)</i>		MA	100 (77)		W1						
20		18.05m Areniscas y conglomerados estratificados de color gris verdoso.	500.00	MA	100 (80)		W1 W1						
22		19.55m Lutita de color rojo, muy alterada y fracturada.		MA	100 (13)		W3						
24		21.05m Lutita de color rojo, roca sana.	257.00	MA	100 (90)		W1 W1						
26		23.20m Conglomerado de color verde gris, roca sana.	386.00	MA	100 (100)		W1 W1						
28		27.70m Lutita de color rojo, roca sana.	291.00	MA	100 (73)		W1 W1						
30		27.70m Lutita de color rojo, roca sana.	124.00	MA	100 (83)		W1 W1						
		Fin de SONDEO a 30.05m											

REGISTRO COLUMNAS Y GRAFICOS - A4 FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPANA LAB.GDT 19/1/17



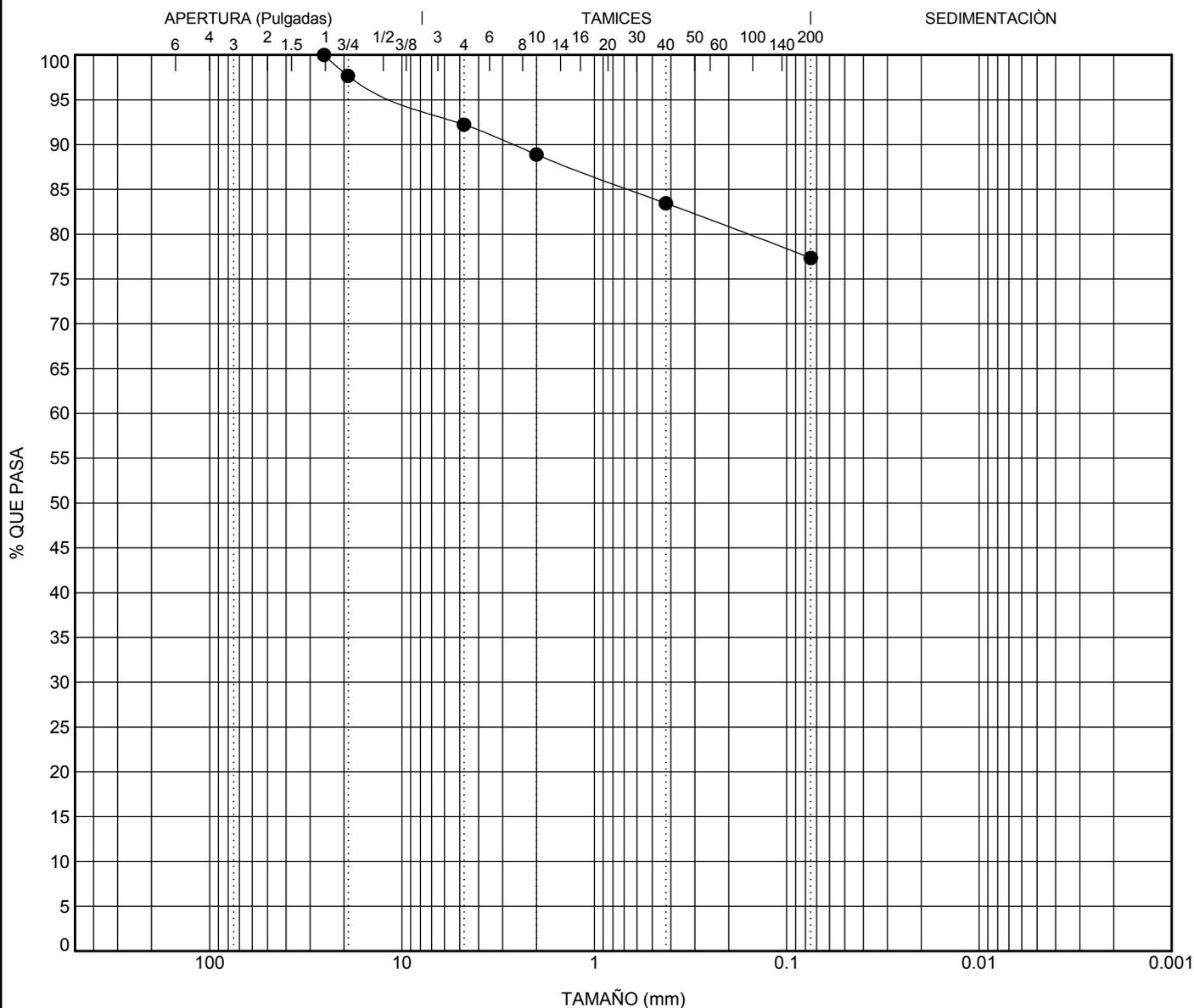
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fina	gruesa	mediana	fina	

Muestra	Clasificación	LL	LP	ÍP	Cc	Cu		
● Sondeo 1 (S-1) 0.00								
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla
● Sondeo 1 (S-1) 0.00	25.4				7.8	14.9	77.3	

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



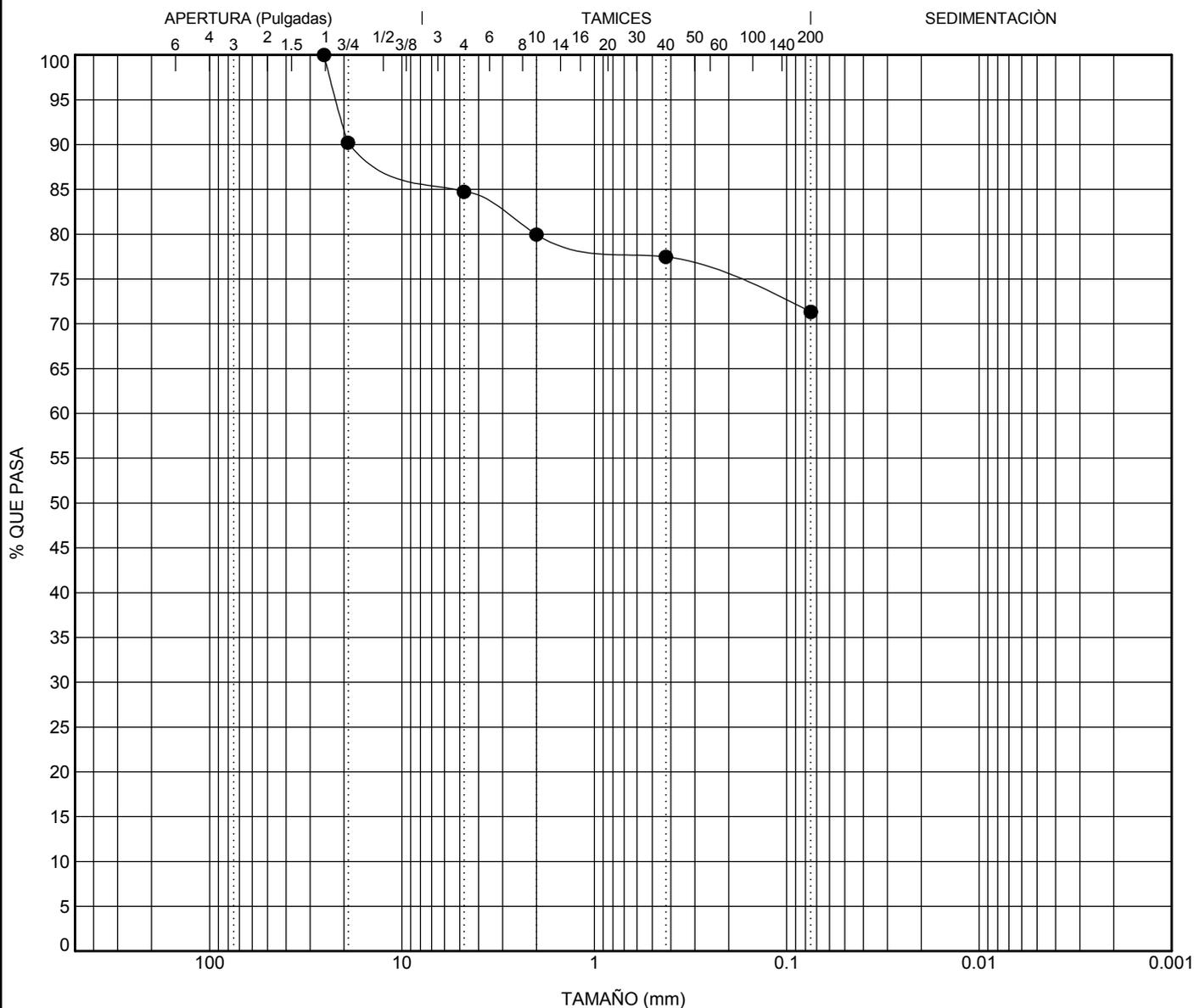
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fin	gruesa	mediana	fin	

Muestra	Clasificación	LL	LP	ÍP	Cc	Cu		
● Sondeo 1 (S-1) 3.05								
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla
● Sondeo 1 (S-1) 3.05	25.4				15.3	13.4	71.3	

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



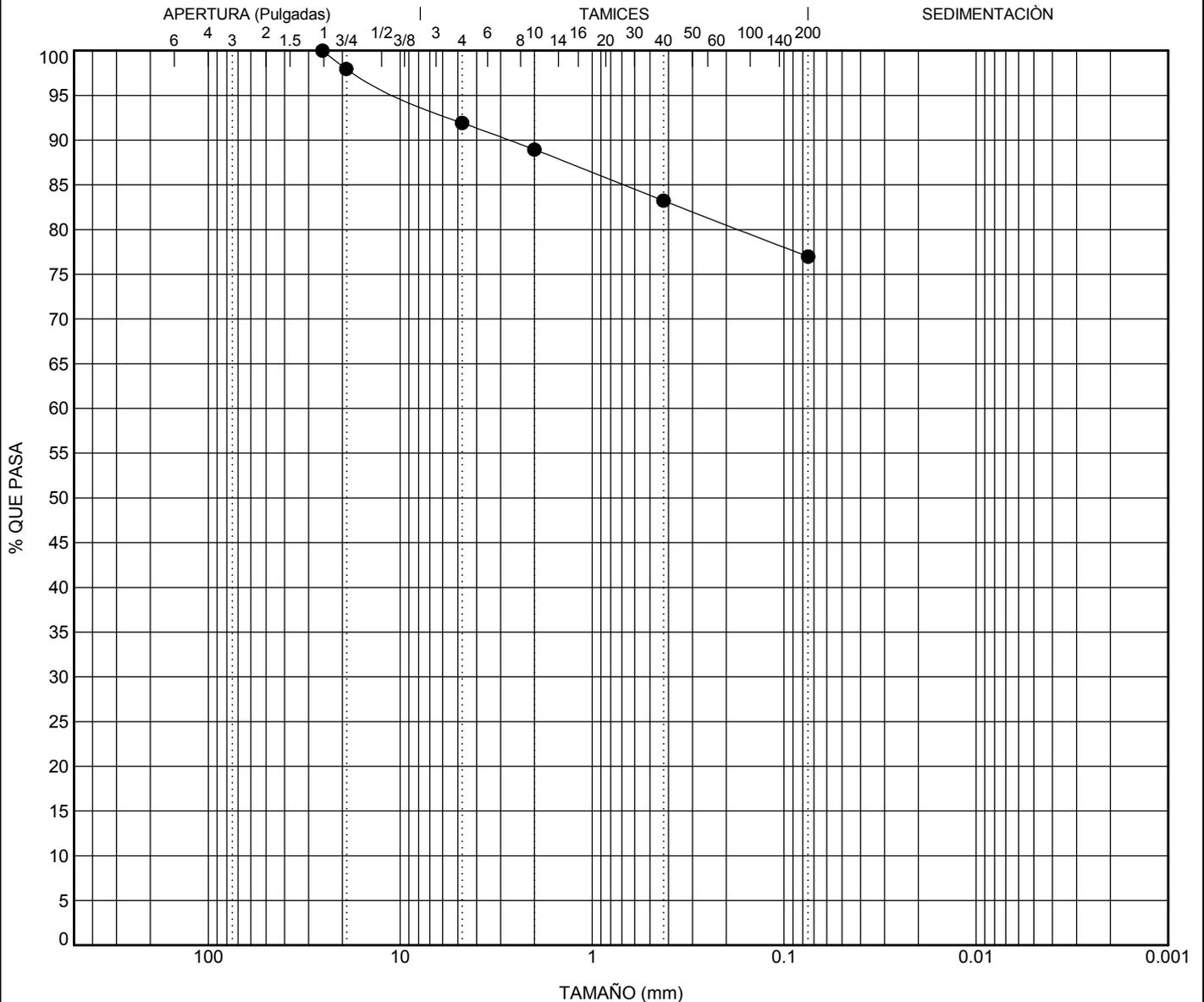
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fin	gruesa	mediana	fin	

Muestra	Clasificación					LL	LP	ÍP	Cc	Cu
● Sondeo 1 (S-1) 5.00										
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla		
● Sondeo 1 (S-1) 5.00	25.4				8.1	14.9	77.0			

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



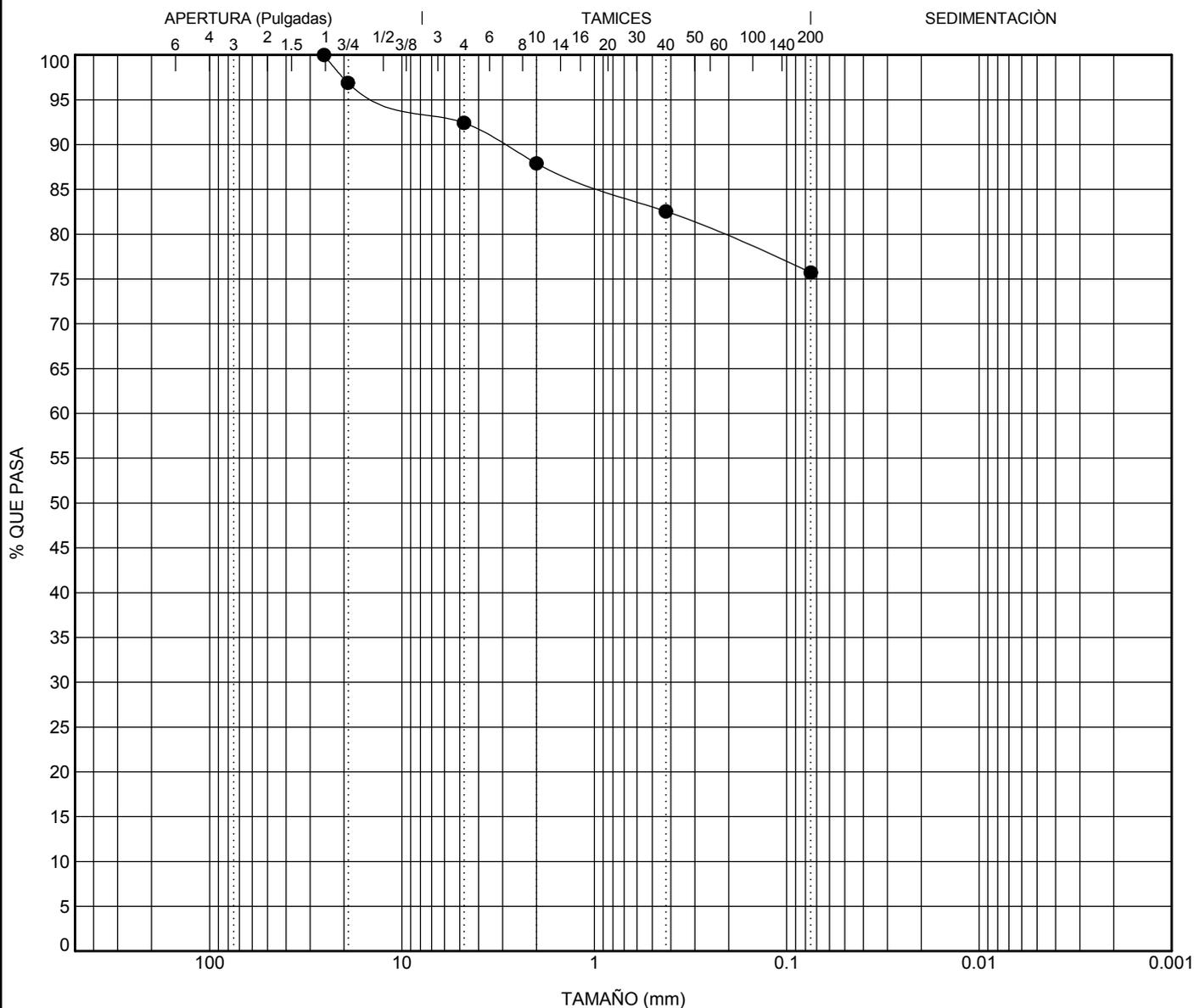
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fin	gruesa	mediana	fin	

Muestra	Clasificación	LL	LP	ÍP	Cc	Cu		
● Sondeo 1 (S-1) 8.90								
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla
● Sondeo 1 (S-1) 8.90	25.4				7.6	16.7	75.7	

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



LABORATORIO

Resumen de los ensayos

Interesado: OECC

Proyecto: Estudio de Suelos

Ubicación: Km. 78 + 600, Carretera CA-9 Norte, El Progreso

Sondeo de Falla No. 2 (SF-2)

SONDEO SF-2	GRANULOMETRÍA							PLASTICIDAD		CLASIFICACIÓN		GS	COLOR	% DE HUMEDAD NATURAL
	Tamiz #200	Tamiz #40	Tamiz #10	Tamiz #4	% Finos	% Arena	% Grava	LL	IP	SCU	PRA			
0.00 - 1.55	52.60	73.98	86.82	92.76	52.60	40.16	7.24	31.97	16.11	CL	A-6	2.64	10YR 6/3	4.60
1.55 - 4.75	88.98	92.22	94.93	96.51	88.98	7.53	3.49	39.85	20.45	CL	A-6	2.72	7.5YR 3/3	17.30
4.75 - 6.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5YR 3/3	-
6.00 - 6.60	77.55	82.99	91.76	96.03	77.55	18.48	3.97	40.44	21.92	CL	A-7-6	2.73	7.5YR 2.5/3	13.61
6.60 - 7.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5YR 5/3	-
7.55 - 11.50	81.43	85.65	90.73	95.33	81.43	13.90	4.67	35.53	16.93	CL	A-6	2.73	5YR 3/3	14.08
11.50 - 13.55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.73	2.5Y 6/1	-
13.55 - 14.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5YR 3/3	-
14.00 - 15.05	52.13	59.00	69.60	80.68	52.13	28.55	19.32	36.18	16.36	CL	A-6	2.73	5YR 3/3	10.50
15.05 - 19.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5YR 4/3	-
19.00 - 20.00	86.30	90.72	95.47	97.87	86.30	11.57	2.13	36.89	27.57	CL	A-6	2.74	2.5YR 3/2	13.02
20.00 - 21.80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	GLE Y2 7/10B	-
21.80 - 25.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5YR 5/4	-
25.00 - 27.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5Y 7/1	-
27.05 - 36.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5YR 5/3	-
36.95 - 39.05	75.40	83.55	89.43	90.88	75.40	15.48	9.12	36.59	21.44	CL	A-6	2.73	5YR 5/3	15.23
39.05 - 45.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5YR 5/3	-

NOTA: Muestra no representativa: -

NP: No presenta

COLOR: Según Munsell Soil-Color Charts

Vo.Bo

Ing. Ernesto Marroquin
Jefe laboratorio de suelos



LABORATORIO DE SUELOS
Avenida el Cementerio 1-00 Zona 11, San Miguel Petapa
Planta 1 PreCon
PBX: 2328.8080 - Cel: 4061.7331



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 09-12-16

FECHA FINAL: 20-12-16

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887139 m

Y: -90.048583 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 45.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO Nº

Sondeo 2 (S-2)

HOJA 1 de 7

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)
0.00	100	MA								0.00m Relleno antrópico: limo arenoso de color gris, con grava. Material suelto.		0.00		52.6	32.0	15.9	16.0	4.6			0.00
1.30	100	SPT	50							1.30m Arcilla areno-limosa de color rojizo. Consistencia dura.		1.30		89.0	39.9	19.4	21.0	17.3			1.30
3.45	62	MA								3.45m Lutita laminada de color gris rojizo.		3.45									3.45
4.75	100	SPT	8-16-25 (41)							4.75m Lutita laminada de color gris rojizo.		4.75									4.75
6.00	100	MA				96				6.00m Lutita de color marrón rojizo con tramos muy alterados y fracturados.		6.00									6.00
7.00	100	MA				39				7.00m Lutita de color marrón rojizo con tramos muy alterados y fracturados.		7.00	201.00						W1		7.00
														77.6	40.4	18.5	21.0	13.6	W3		

(Continúa en la Página Siguiente)

LEYENDA



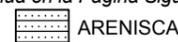
RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



CONGLOMERADO

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 09-12-16

FECHA FINAL: 20-12-16

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887139 m

Y: -90.048583 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 45.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO Nº

Sondeo 2 (S-2)

HOJA 2 de 7

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)	
8.00	100		MA			43				6.00m Lutita de color marrón rojizo con tramos muy alterados y fracturados.(continua)		8.00		81.4	35.5	18.6	17.0	14.1	W3		8.00	
9.00												9.00										9.00
10.00	100		MA			40						10.00								W3		10.00
11.00	100		MA			53				5.50		11.00								W2		11.00
12.00												12.00	517.00									12.00
13.00	100		MA			90						13.00	331.00							W1		13.00
										2.05												13.55
										13.55m Lutita de color marrón rojizo, con tramos de arenisca. Roca alterada y fracturada.												14.00

(Continua en la Página Siguiente)

LEYENDA



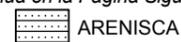
RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



CONGLOMERADO

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 09-12-16

FECHA FINAL: 20-12-16

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887139 m

Y: -90.048583 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 45.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO N°

Sondeo 2 (S-2)

HOJA 3 de 7

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)
100			MA			33				13.55m Lutita de color marrón rojizo, con tramos de arenisca. Roca alterada y fracturada. (continua)		15.00		52.1	36.2	19.8	16.0	10.5	W3		15.00
15.00			MA			80						16.00							W2		16.00
16.00			MA			90				15.05m Lutita laminada de color rojo y marrón gris. Presencia de tramos decimétrico fracturados.		17.00							W2		17.00
17.00			MA			63						18.00							W2		18.00
18.00			MA			93						19.00	86.3	36.9	9.3	28.0	13.0		W2		19.00
19.00			MA							20.10m Conglomerado de color verde gris, roca sana.		20.00	292.00						W2		20.00
20.00			MA									21.00							W2		21.00

(Continua en la Página Siguiente)

LEYENDA



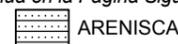
RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



CONGLOMERADO

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 09-12-16

FECHA FINAL: 20-12-16

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887139 m

Y: -90.048583 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 45.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO N°

Sondeo 2 (S-2)

HOJA 4 de 7

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

REGISTRO SUELO/ROCA - A3 FALLA KM 78 GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 26/1/17

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	RQD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)
22.00	100	MA	MA		83				1.65	20.10m Conglomerado de color verde gris, roca sana.(continua)	21.75	22.00	262.00						W1		22.00
23.00	100	MA	MA		67					21.75m Lutita laminada de color rojo.		23.00							W2		23.00
24.00	100	MA	MA		90				3.25		25.00	24.00						W1		24.00	
25.00	100	MA	MA		90					25.00m Areniscas y conglomerados estratificados de color gris verdoso con niveles centimétricos de lutita alterada.		25.00	696.00						W1		25.00
26.00	100	MA	MA		63				3.00		28.00	26.00						W2		26.00	
27.00	100	MA	MA									27.00							W1		27.00
28.00	100	MA	MA									28.00							W2		28.00

LEYENDA



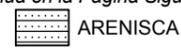
RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



CONGLOMERADO

(Continua en la Página Siguiente)

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 09-12-16

FECHA FINAL: 20-12-16

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887139 m

Y: -90.048583 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 45.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO N°

Sondeo 2 (S-2)

HOJA 5 de 7

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLASTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)			
29.00	100		MA			80			[Red hatched pattern]	28.00m Lutita de color rojo.		29.00								W2		29.00		
30.00										2.10		30.00									W4		30.00	
31.00	20		MA			0					30.10m Intercalaciones disimétricas de areniscas y lutitas, material alterado en parte lavado.		31.00								W4		31.00	
32.00	43		MA			0			[Red hatched pattern]			32.00									W4		32.00	
33.00										2.95		33.00										W2		33.00
34.00	100		MA			77					33.05m Lutitas de color gris rojizo con menores intercalaciones centimétricas de areniscas y conglomerados de color gris verdoso. Presencia de tramos métricos alterados y fracturados.		34.00	67.00							W2		34.00	
																						35.00		

(Continúa en la Página Siguiente)

LEYENDA



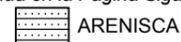
RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



CONGLOMERADO

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 09-12-16

FECHA FINAL: 20-12-16

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887139 m

Y: -90.048583 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 45.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO Nº

Sondeo 2 (S-2)

HOJA 6 de 7

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)
36.00	100	MA				73				33.05m Lutitas de color gris rojizo con menores intercalaciones centimétricas de areniscas y conglomerados de color gris verdoso. Presencia de tramos métricos alterados y fracturados. (continua)		36.00							W1		36.00
37.00	100	MA				43						37.00	75.4	36.6	15.2	22.0	15.2		W3		37.00
38.00	100	MA				30						38.00							W3		38.00
39.00	90	MA				40						39.00							W3		39.00
40.00	100	MA				53					40.00							W3		40.00	
41.00	100	MA									41.00								W3		41.00
42.00																					42.00

(Continua en la Página Siguiente)

LEYENDA



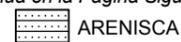
RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



CONGLOMERADO

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 09-12-16

FECHA FINAL: 20-12-16

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887139 m

Y: -90.048583 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 45.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO Nº

Sondeo 2 (S-2)

HOJA 7 de 7

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)	
43.00	100		MA			13				33.05m Lutitas de color gris rojizo con menores intercalaciones centimétricas de areniscas y conglomerados de color gris verdoso. Presencia de tramos métricos alterados y fracturados.(continua)		43.00							W3		43.00	
44.00	70		MA			47							44.00								W3	
45.00										Fin de SONDEO a 45.05m		45.00										45.00
46.00												46.00										46.00
47.00												47.00										47.00
48.00												48.00										48.00
49.00																						49.00

LEYENDA



RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



CONGLOMERADO

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



CLIENTE OECC **PROYECTO** Área de Falla
CÓDIGO _____ **LOCALIZACIÓN** Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso
FECHA COMIENZO 9/12/16 **FECHA FINAL** 20/12/16 **ELEVACIÓN** _____ **TAMAÑO de SONDEO** mm
PERFORACIÓN SUBCONTRATISTA _____ **NIVEL FREÁTICO** _____
PERFORACIÓN MÉTODO _____ **DURANTE LA PERFORACIÓN** ---
SONDISTA Carlos Morente **REG. POR** _____ **AL FINAL DE LA PERFORACIÓN** ---
OBSERVACIONES _____ **DESPUÉS de PERFORACIÓN** ---

PROFUNDIDAD (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN % (RQD)	GOLPEOS (VALOR N)	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	▲ SPT N VALOR ▲		
								LP	W LL	
0.00	[Cross-hatch pattern]	0.00m Relleno antrópico: limo arenoso de color gris, con grava. Material suelto.		MA	100			20	60	
2.00	[Dark red pattern]	1.30m Arcilla areno-limosa de color rojizo. Consistencia dura.		SPT	100	50		20	60	
				MA	62					
				SPT	100	8-16-25 (41)				
4.00				MA	100					
6.00	[Horizontal lines pattern]	4.75m Lutita laminada de color gris rojizo.	201.00	MA	100 (96)	40-50/R en 5 cm	W1 W1			
8.00		6.00m Lutita de color marrón rojizo con tramos muy alterados y fracturados.		MA	100 (39)		W3	20	60	
				MA	100 (43)		W3	20	60	
				MA	100 (40)		W3			
				MA	100 (53)		W2			
12.00	[Dotted pattern]		11.50m Areniscas y conglomerados estratificados de color gris verdoso.	517.00 331.00	MA	100 (90)		W1 W1 W1		
14.00			13.55m Lutita de color marrón rojizo, con tramos de arenisca. Roca alterada y fracturada.		MA	100 (33)		W3 W3	20	60
16.00		15.05m Lutita laminada de color rojo y marrón gris. Presencia de tramos decimétrico fracturados.		MA	100		W2			

REGISTRO COLUMNAS Y GRAFICOS - A4 FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPANA LAB.GDT 19/1/17

(Continua en la Página Siguiente)



CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

PROFUNDIDAD (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN % (ROD)	GOLPEOS (VALOR N)	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	▲ SPT N VALOR ▲	
								LP	LL
18		15.05m Lutita laminada de color rojo y marrón gris. Presencia de tramos decimétrico fracturados. (continua)		MA (80)					
				MA 100 (90)			W2		
				MA 100 (63)			W2	●	□
20		20.10m Conglomerado de color verde gris, roca sana.	292.00	MA 100 (93)			W2		
			262.00	MA 100 (83)			W2		
22		21.75m Lutita laminada de color rojo.		MA 100 (67)			W1		
				MA 100 (90)			W1		
24		25.00m Areniscas y conglomerados estratificados de color gris verdoso con niveles centimétricos de lutita alterada.	696.00	MA 100 (90)			W1		
				MA 100 (63)			W1		
26		28.00m Lutita de color rojo.		MA 100 (80)			W2		
				MA 20 (0)			W4		
28		30.10m Intercalaciones disimétricas de areniscas y lutitas, material alterado en parte lavado.		MA 43 (0)			W4		
				MA 100 (77)			W2		
30		33.05m Lutitas de color gris rojizo con menores intercalaciones centimétricas de areniscas y conglomerados de color gris verdoso. Presencia de tramos	67.00						
32									
34									

REGISTRO COLUMNAS Y GRAFICOS - A4 FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPANA LAB.GDT 19/1/17

(Continua en la Página Siguiente)



CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

PROFUNDIDAD (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN % (ROD)	GOLPEOS (VALOR N)	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	▲ SPT N VALOR ▲	
								LP	LL
		métricos alterados y fracturados.						20	80
36				MA 100 (73)			W1		
				MA 100 (43)			W3	●	□
38				MA 100 (30)			W3		
40		33.05m Lutitas de color gris rojizo con menores intercalaciones centimétricas de areniscas y conglomerados de color gris verdoso. Presencia de tramos métricos alterados y fracturados. (continua)		MA 90 (40)			W3		
				MA 100 (53)			W3		
42				MA 100 (13)			W3		
44				MA 70 (47)			W3		

Fin de SONDEO a 45.05m



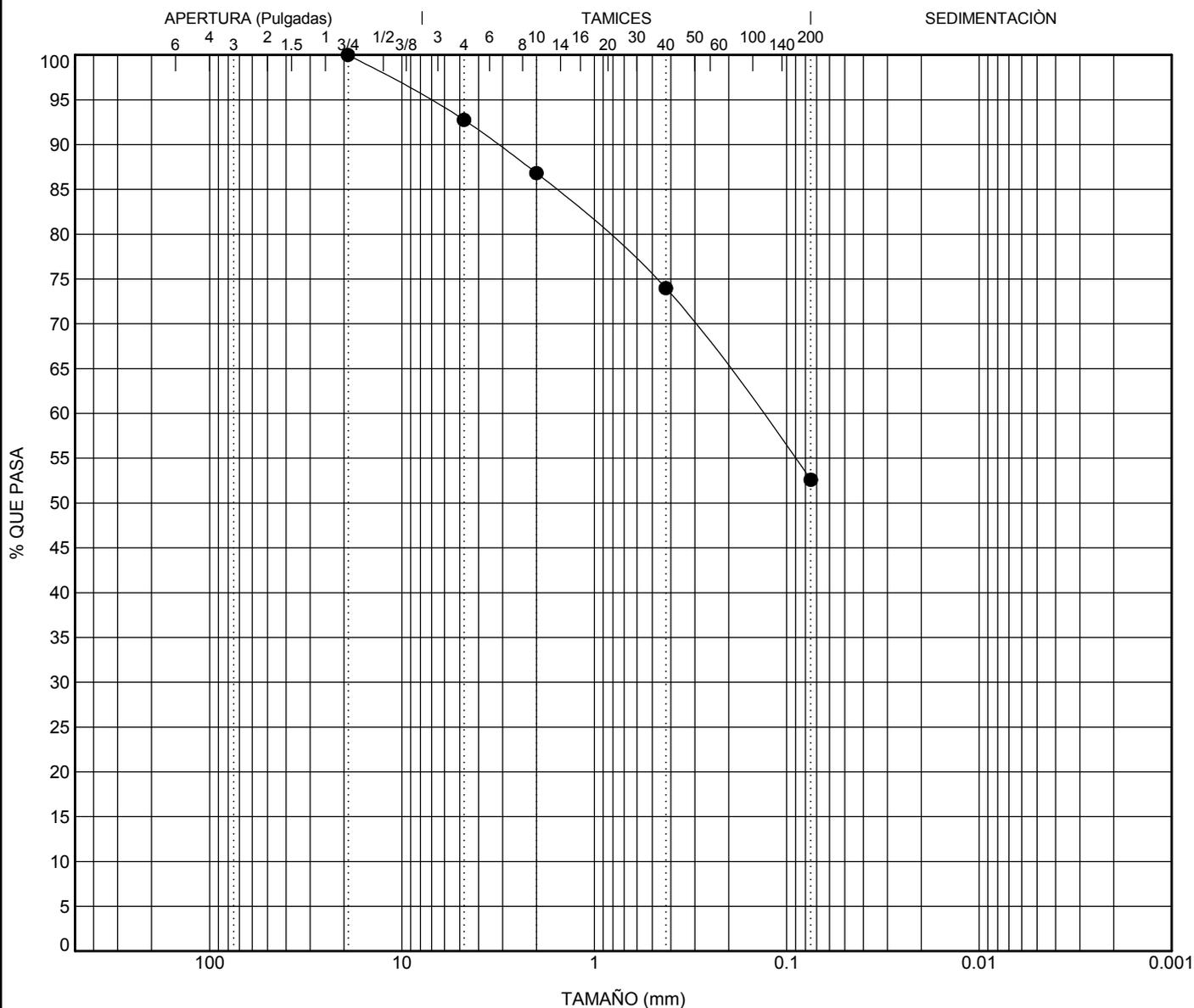
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fin	gruesa	mediana	fin	

Muestra	Clasificación					LL	LP	ÍP	Cc	Cu
● Sondeo 2 (S-2) 0.00										
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla		
● Sondeo 2 (S-2) 0.00	19.1	0.137			7.3	40.1	52.6			

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



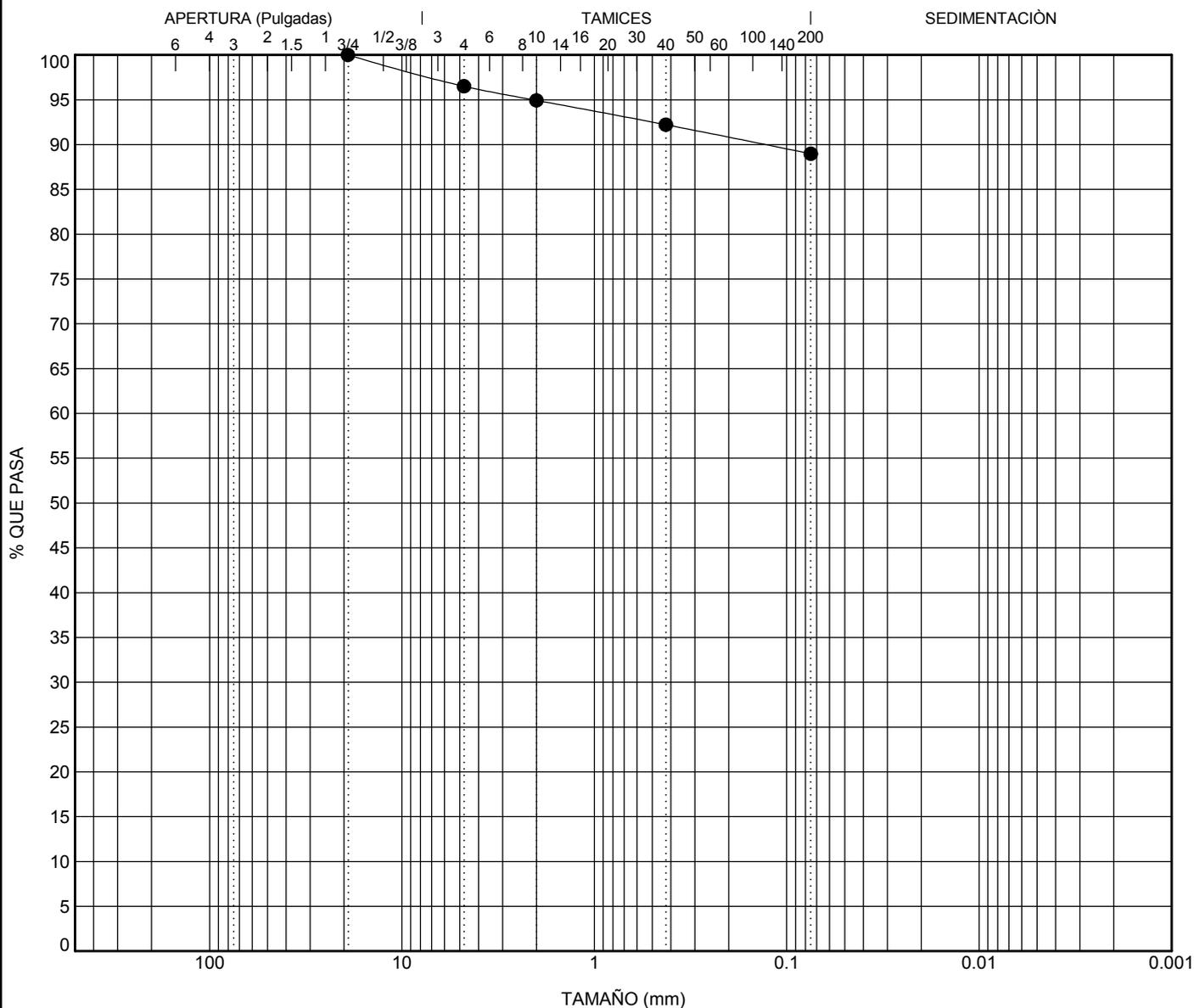
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fin	gruesa	mediana	fin	

Muestra	Clasificación				LL	LP	ÍP	Cc	Cu
● Sondeo 2 (S-2) 1.55									
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla	
● Sondeo 2 (S-2) 1.55	19.1				3.5	7.5	89.0		

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



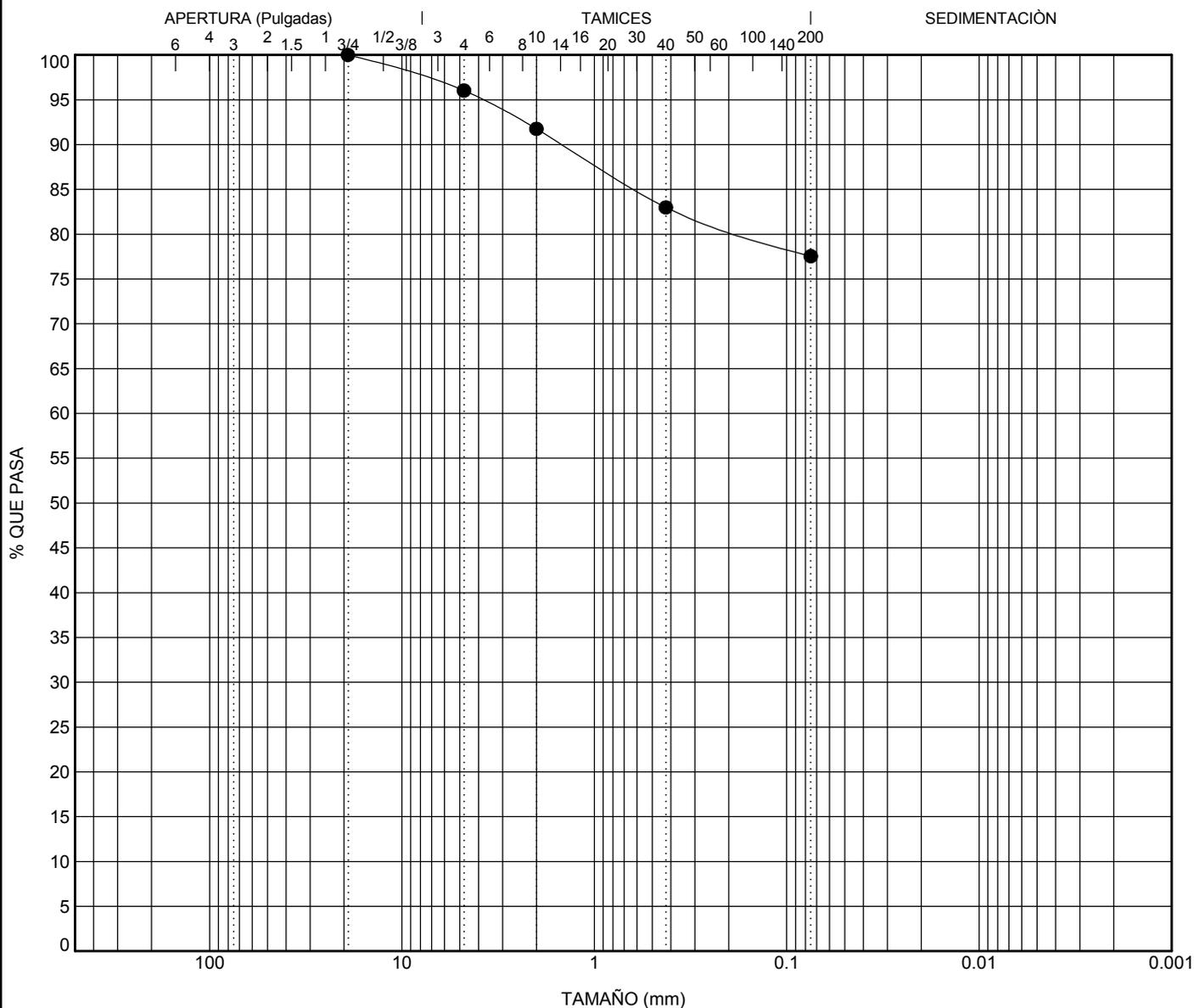
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fina	gruesa	mediana	fina	

Muestra	Clasificación				LL	LP	ÍP	Cc	Cu
● Sondeo 2 (S-2) 6.00									
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla	
● Sondeo 2 (S-2) 6.00	19.1				4.0	18.5	77.6		

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



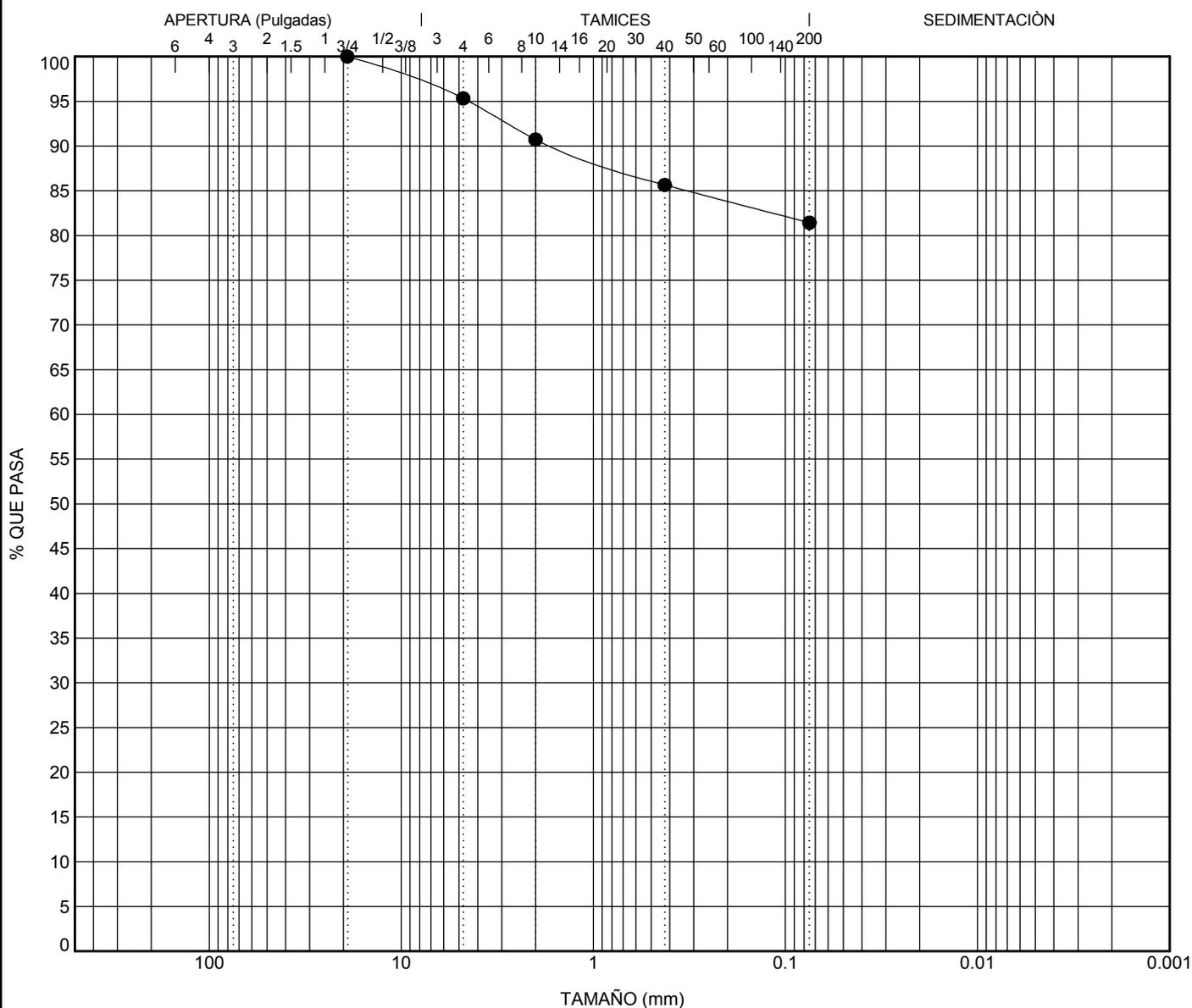
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fin	gruesa	mediana	fin	

Muestra	Clasificación					LL	LP	ÍP	Cc	Cu
● Sondeo 2 (S-2) 7.55										
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla		
● Sondeo 2 (S-2) 7.55	19.1				4.7	13.9	81.4			

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



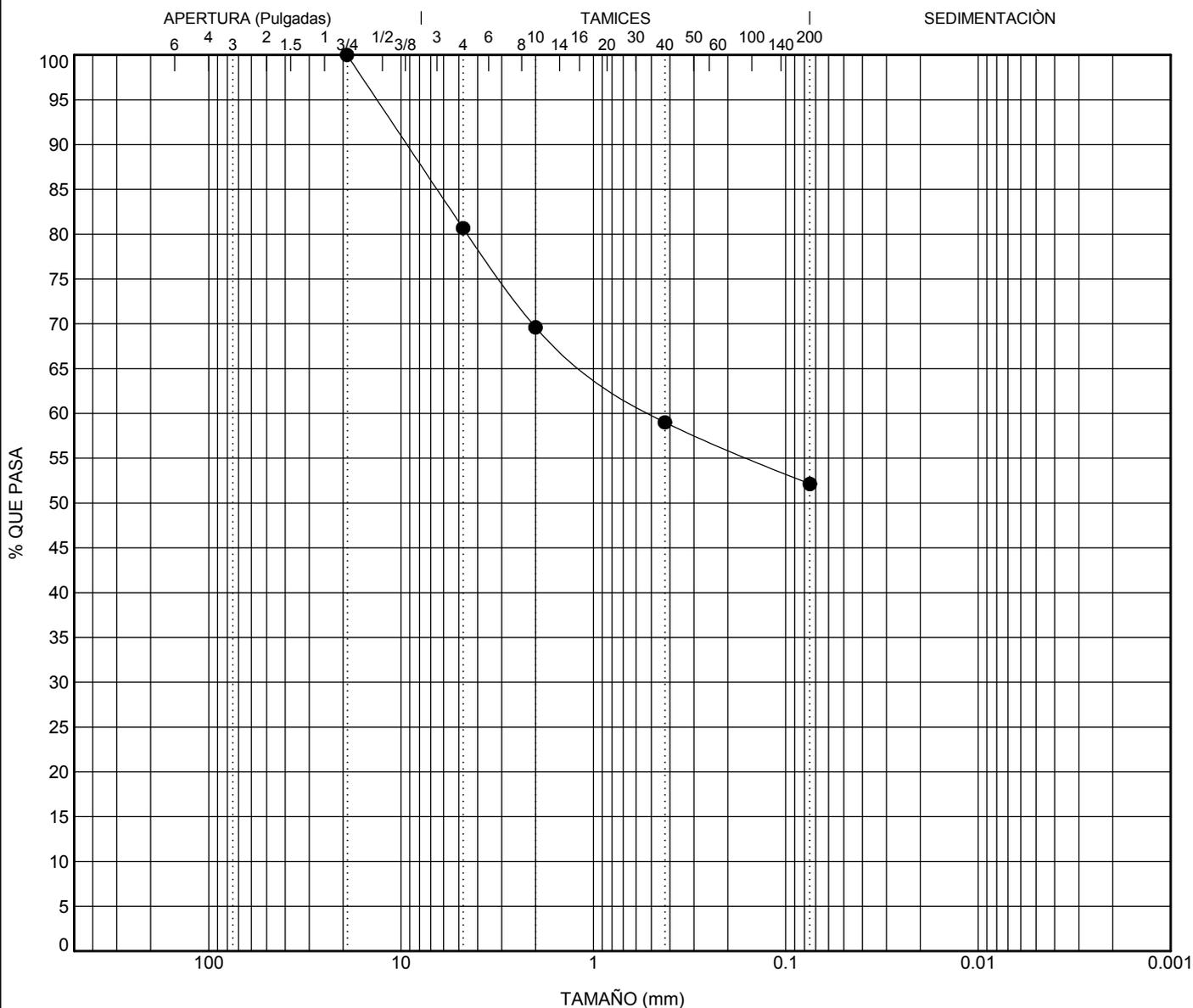
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fin	gruesa	mediana	fin	

Muestra	Clasificación				LL	LP	ÍP	Cc	Cu
● Sondeo 2 (S-2) 14.00									
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla	
● Sondeo 2 (S-2) 14.00	19.1	0.492			19.3	28.5	52.1		

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



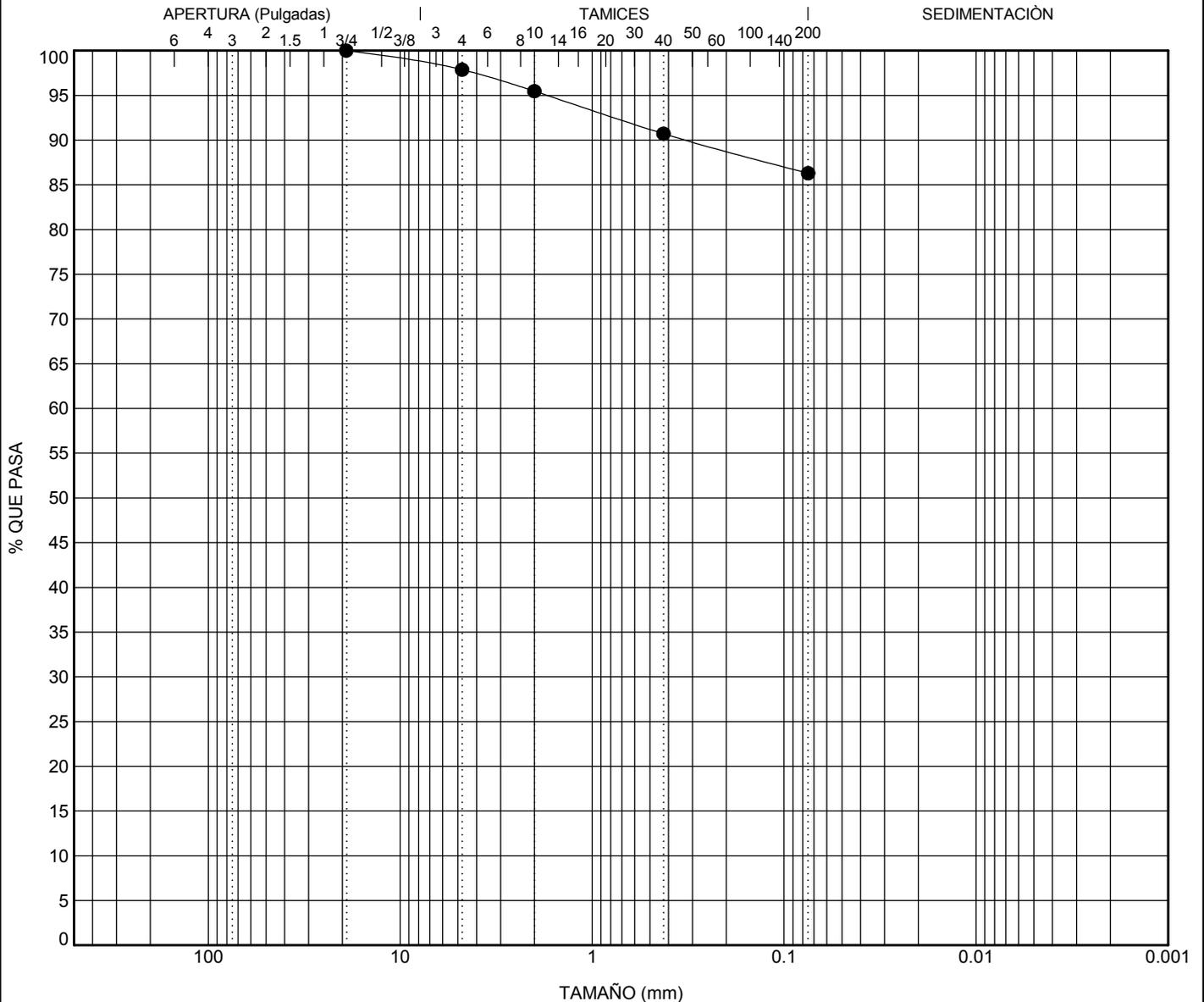
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fin	gruesa	mediana	fin	

Muestra	Clasificación				LL	LP	ÍP	Cc	Cu
● Sondeo 2 (S-2) 19.00									
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla	
● Sondeo 2 (S-2) 19.00	19.1				2.1	11.6	86.3		

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



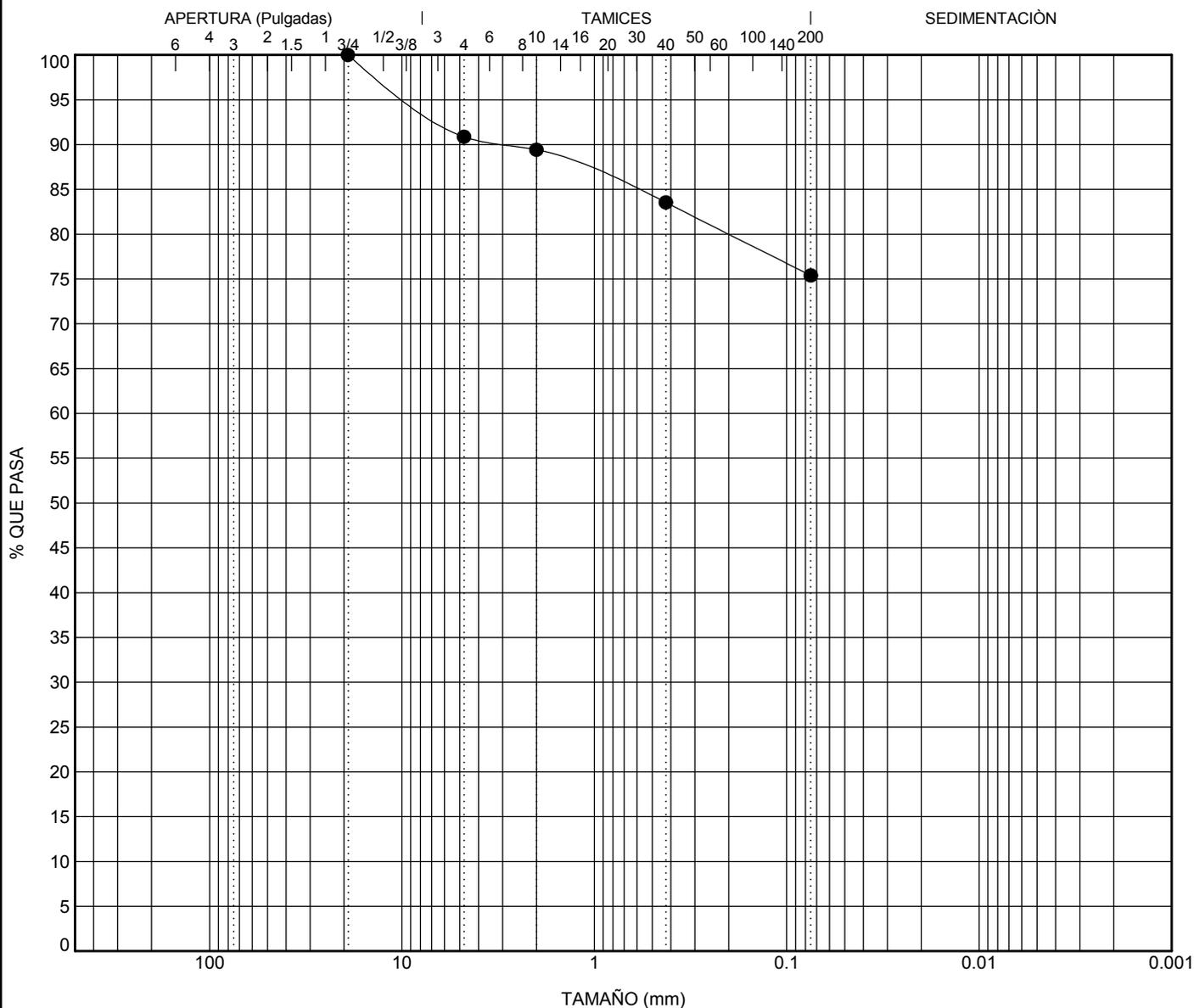
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fin	gruesa	mediana	fin	

Muestra	Clasificación				LL	LP	ÍP	Cc	Cu
● Sondeo 2 (S-2) 36.95									
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla	
● Sondeo 2 (S-2) 36.95	19.1				9.1	15.5	75.4		

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



LABORATORIO

Resumen de los ensayos

Interesado: OECC

Proyecto: Estudio de Suelos

Ubicación: Km. 78 + 600, Carretera CA-9 Norte, El Progreso

Sondeo de Falla No. 3 (SF-3)

SONDEO SF-3	GRANULOMETRÍA							PLASTICIDAD		CLASIFICACIÓN		GS	COLOR	% DE HUMEDAD NATURAL
	Prof. (m)	Tamiz #200	Tamiz #40	Tamiz #10	Tamiz #4	% Finos	% Arena	% Grava	LL	IP	SCU			
0.00 - 0.60	13.88	26.59	50.14	62.65	13.88	48.77	37.35	NP	NP	SM	A-1-a	2.63	2.5Y 5/3	11.60
0.60 - 2.00	73.01	77.22	82.83	86.71	73.01	13.70	13.29	38.13	17.49	CL	A-6	2.64	5YR 3/3	12.10
2.00 - 3.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5YR 3/3	-
3.05 - 8.00	89.20	91.37	93.58	94.30	89.20	5.10	5.70	37.20	18.43	CL	A-6	2.61	5YR 3/3	20.19
8.00 - 13.25	88.97	90.34	91.87	93.29	88.97	90.34	91.87	38.12	18.48	CL	A-6	2.61	5YR 3/3	20.56
13.25 - 18.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5YR 3/3	-
18.05 - 19.55	88.36	91.48	93.64	95.27	88.36	6.91	4.73	37.82	19.38	CL	A-6	2.64	5YR 3/3	26.71
19.55 - 20.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5YR 3/3	-
20.60 - 21.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5YR 5/4	-
21.05 - 22.55	23.08	95.85	100.00	100.00	23.08	76.92	0.00	NP	NP	SM	A-2-4	2.73	7.5Y 6/1	27.34
22.55 - 27.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5Y 7/1	-
27.30 - 29.70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5YR 3/3	-
29.70 - 30.05	16.56	26.75	47.00	63.02	16.56	46.46	36.98	NP	NP	SM	A-1-b	2.73	2.5Y 5/1	7.38
30.05 - 45.05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5YR 4/2	-

NOTA: Muestra no representativa: -

NP: No presenta

COLOR: Según Munsell Soil-Color Charts

Vo.Bo

Ing. Ernesto Marroquin
Jefe laboratorio de suelos



LABORATORIO DE SUELOS
Avenida el Cementerio 1-00 Zona 11, San Miguel Petapa
Planta 1 PreCon
PBX: 2328.8080 - Cel: 4061.7331



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 21-12-16

FECHA FINAL: 03-01-17

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887056 m

Y: -90.047889 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 45.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO Nº

Sondeo 3 (S-3)

HOJA 1 de 6

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)	
0.00																						
1.00	74		MA							0.00m Relleno antrópico: limo arcilloso con menor arena, color marrón rojizo, con grava. Material remodelado.		1.00		73.0 13.9	38.1 NP	20.6 NP	17.0 NP	12.1 11.6			1.00	
2.00	100		SPT	5-6-10 (16)								2.00									2.00	
3.00	62		MA									3.00										
4.00	100		SPT	12-16-13 (29)				CL		1.55m Arcilla limosa con menor arena, color marrón rojizo. Consistencia de compacta a muy compacta.		4.00		89.2	37.2	18.8	18.0	20.2				
5.00	62		MA									5.00									5.00	
6.00	100		SPT	10-15-22 (37)								6.00									6.00	
7.00	62		MA									7.00										
8.00	100		SPT	10-11-9 (20)				CL		5.55m Arcilla limosa de color marrón con menor arena y grava. Material alterado, probablemente regolita. Consistencia de muy compacta a dura.		8.00									8.00	
9.00	95		MA									9.00										
10.00	100		SPT	26-39-40 (79)								10.00									10.00	

(Continúa en la Página Siguiente)

LEYENDA



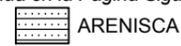
RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



SM



CONGLOMERADO

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 21-12-16

FECHA FINAL: 03-01-17

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887056 m

Y: -90.047889 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 45.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO Nº

Sondeo 3 (S-3)

HOJA 2 de 6

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)	
9.00	100	MA				67			CL	5.55m Arcilla limosa de color marrón con menor arena y grava. Material alterado, probablemente regolita. Consistencia de muy compacta a dura.(continua)		9.00		89.0	38.1	19.6	18.0	20.6	W4		9.00	
10.00	60	SPT	50/R en 0 cm			33							10.00									W4
11.00	100	MA				73				10.20m Lutita laminada de color marrón rojizo. Presencia de unos 2 tramos decimétrico, alterados y fracturados.		11.00							W3		11.00	
12.00	100	MA				83						12.00									W3	
13.00	100	MA				87						13.00									13.00	
14.00	100	MA				80					14.00	204.00							W2			14.00
15.00	100	MA										15.00								W1		15.00
16.00	100	MA																				16.00

(Continua en la Página Siguiente)

LEYENDA



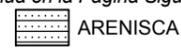
RELLENO



CL



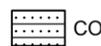
LUTITA



ARENISCA



SM



CONGLOMERADO

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 21-12-16

FECHA FINAL: 03-01-17

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887056 m

Y: -90.047889 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 45.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO Nº

Sondeo 3 (S-3)

HOJA 3 de 6

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)		
17.00	87		MA			70				10.20m Lutita laminada de color marrón rojizo. Presencia de unos 2 tramos decimétrico, alterados y fracturados. (continua)		17.00	177.00							W1		17.00	
18.00	87		MA			20							18.00		88.4	37.8	18.4	20.0	26.7	W4		18.00	
19.00	100		MA			73							19.00	269.00							W2		20.00
21.00	57		MA			53		SM					21.00		23.1	NP	NP	NP	27.3	W5		22.00	
22.00	47		MA			37					22.00								W3		23.00		
23.00										22.40m Conglomerado de color verde gris, roca sana.		23.00										23.00	

(Continua en la Página Siguiente)

LEYENDA



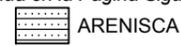
RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



SM



CONGLOMERADO

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 21-12-16

FECHA FINAL: 03-01-17

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887056 m

Y: -90.047889 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 45.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO Nº

Sondeo 3 (S-3)

HOJA 4 de 6

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

REGISTRO SUELO/ROCA - A3 FALLA KM 78 GPJ GINT STD ESPANA LAB.GDT 26/1/17

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)	
25.00	87		MA			73				22.40m Conglomerado de color verde gris, roca sana.(continua)		25.00							W1		25.00	
26.00	93		MA			80						26.00								W1		26.00
27.00											4.85	27.25	27.00	359.00								27.00
28.00	100		MA			70							28.00							W1		28.00
29.00	87		MA			37				27.25m Lutita de color rojo, termina con 1m de arena con grava (roca muy alterada).		29.00							W3		29.00	
30.00											2.80	30.05	30.00	16.6	NP	NP	NP	7.4				30.00
31.00	93		MA			67				30.05m Conglomerado de color verde gris, presencia de óxidos en las fracturas.		31.00							W1		31.00	

LEYENDA



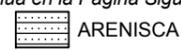
RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



SM



CONGLOMERADO

(Continua en la Página Siguiente)

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 21-12-16

FECHA FINAL: 03-01-17

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887056 m

Y: -90.047889 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 45.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO Nº

Sondeo 3 (S-3)

HOJA 5 de 6

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

REGISTRO SUELO/ROCA - A3 FALLA KM 78 GPJ GINT STD ESPANA LAB.GDT 26/1/17

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)
100			MA			60			2.15		32.20								W2		33.00
33.00			MA			80						33.00	322.00						W1		34.00
34.00			MA			80						35.00							W2		35.00
35.00			MA			100						36.00							W1		36.00
36.00			MA			100				32.20m Lutita laminada de color marrón rojizo. Presencia de unos 3 tramos decimétrico, alterados y fracturados.		37.00							W1		37.00
37.00			MA			73						38.00							W1		38.00
38.00			MA			87						39.00	145.00						W1		39.00
39.00			MA									40.00							W1		40.00

LEYENDA



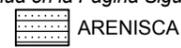
RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



SM



CONGLOMERADO

(Continúa en la Página Siguiente)

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



LOCALIZACIÓN: Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

FECHA COMIENZO: 21-12-16

FECHA FINAL: 03-01-17

DIÁMETRO de PERFORACIÓN: _____

METODO de PERFORACIÓN: _____

ORIENTACIÓN: Vertical

COORDENADAS

X: 14.887056 m

Y: -90.047889 m

Z: _____

PROFUNDIDAD TOTAL: 45.05 m

SONDISTA: Carlos Morente

SONDEO Nº

Sondeo 3 (S-3)

HOJA 6 de 6

REGISTRADO POR: _____

OBSERVACIONES: _____

CLIENTE: OECC

CÓDIGO: _____

PROYECTO: Área de Falla

PROFUNDIDAD (m)	RECUPERACIÓN (%)	MUESTRA	MUESTRA	GOLPEO (N)	GRADO de METORIZACIÓN	ROD%	FRACTURACIÓN	S.U.C.S.	SÍMBOLO GRÁFICO	DESCRIPCIÓN	NIVEL FREÁTICO	PROFUNDIDAD (m)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	% FINOS	LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICIDAD	HUMEDAD NATURAL %	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	REGISTRO FOTOGRÁFICO	PROFUNDIDAD (m)			
41.00	100		MA			27				32.20m Lutita laminada de color marrón rojizo. Presencia de unos 3 tramos decimétrico, alterados y fracturados. (continua)										W3		41.00		
42.00																						W2		42.00
43.00	100		MA			80																	W2	
44.00	100		MA			60				43.30m Areniscas y conglomerados de color gris rojizo.											W2		44.00	
45.00																								
										Fin de SONDEO a 45.05m														

REGISTRO SUELO/ROCA - A3 FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPANA LAB.GDT 26/1/17

LEYENDA



RELLENO



CL



LUTITA



ARENISCA



SM



CONGLOMERADO

MUESTRA



Muestra Alterada



Ensayo de Penetración Standard



CLIENTE OECC **PROYECTO** Área de Falla
CÓDIGO _____ **LOCALIZACIÓN** Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso
FECHA COMIENZO 21/12/16 **FECHA FINAL** 3/1/17 **ELEVACIÓN** _____ **TAMAÑO de SONDEO** mm
PERFORACIÓN SUBCONTRATISTA _____ **NIVEL FREÁTICO** _____
PERFORACIÓN MÉTODO _____ **DURANTE LA PERFORACIÓN** ---
SONDISTA Carlos Morente **REG. POR** _____ **AL FINAL DE LA PERFORACIÓN** ---
OBSERVACIONES _____ **DESPUÉS de PERFORACIÓN** ---

PROFUNDIDAD (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN % (RQD)	GOLPEOS (VALOR N)	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	▲ SPT N VALOR ▲	
								20 40 60 80	20 40 60 80
0.00		Relleno antrópico: limo arcilloso con menor arena, color marrón rojizo, con grava. Material remodelado.		MA	74			●	□
2.00		1.55m Arcilla limosa con menor arena, color marrón rojizo. Consistencia de compacta a muy compacta.		SPT	100	5-6-10 (16)		▲	
				MA	62				
				SPT	100	12-16-13 (29)		●	□
				MA	62				
6.00		5.55m Arcilla limosa de color marrón con menor arena y grava. Material alterado, probablemente regolita. Consistencia de muy compacta a dura.		SPT	100	10-15-22 (37)		▲	
				MA	57				
				SPT	100	10-11-9 (20)		▲	
				MA	95				
8.00		10.20m Lutita laminada de color marrón rojizo. Presencia de unos 2 tramos decimétrico, alterados y fracturados.		SPT	100	26-39-40 (79)			▲
				MA	100 (67)		W4	●	□
				SPT		50/R en 0 cm			>>▲
				MA	60 (33)		W4		
12.00				MA	100 (73)		W3		
				MA	100 (83)		W3		
				MA	100 (87)		W2 W2		
				MA	100		W1		

REGISTRO COLUMNAS Y GRAFICOS - A4 FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPANA LAB.GDT 20/1/17



CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

PROFUNDIDAD (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN % (ROD)	GOLPEOS (VALOR N)	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	▲ SPT N VALOR ▲	
								LP	LL
18		10.20m Lutita laminada de color marrón rojizo. Presencia de unos 2 tramos decimétrico, alterados y fracturados. <i>(continua)</i>	177.00	MA 87 (70)	87 (70)		W1		
20		19.35m Areniscas y menores conglomerados en matriz gris rosada, con intercalaciones de lutita.	269.00	MA 87 (20)	87 (20)		W4	●	□
22		21.05m Arena con grava, Material suelto. Probablemente nivel de areniscas y conglomerados muy alterado.		MA 57 (53)	57 (53)		W5	●	
24		22.40m Conglomerado de color verde gris, roca sana.		MA 47 (37)	47 (37)		W3		
26				MA 87 (73)	87 (73)		W1		
28		27.25m Lutita de color rojo, termina con 1m de arena con grava (roca muy alterada).	359.00	MA 93 (80)	93 (80)		W1		
30				MA 100 (70)	100 (70)		W1		
32		30.05m Conglomerado de color verde gris, presencia de óxidos en las fracturas.		MA 87 (37)	87 (37)		W3	●	□
34		32.20m Lutita laminada de color marrón rojizo. Presencia de unos 3 tramos decimétrico, alterados y fracturados.	322.00	MA 93 (67)	93 (67)		W1		
				MA 100 (60)	100 (60)		W2		
				MA 100 (80)	100 (80)		W1		

REGISTRO COLUMNAS Y GRAFICOS - A4 FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPANA LAB.GDT 20/1/17

(Continua en la Página Siguiente)



CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso

PROFUNDIDAD (m)	LEYENDA	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (kg/cm ²)	MUESTRA TIPO Y NÚMERO	RECUPERACIÓN % (ROD)	GOLPEOS (VALOR N)	GRADO DE ALTERACIÓN (W1 - W6)	▲ SPT N VALOR ▲							
								20	40	60	80				
36		32.20m Lutita laminada de color marrón rojizo. Presencia de unos 3 tramos decimétrico, alterados y fracturados. <i>(continua)</i>	145.00	MA	100 (80)										
				MA	100 (100)										
38				MA	100 (73)										
				MA	100 (87)										
40				MA	100 (27)										
42				MA	100 (80)										
44				43.30m Areniscas y conglomerados de color gris rojizo.		MA	100 (60)								

Fin de SONDEO a 45.05m

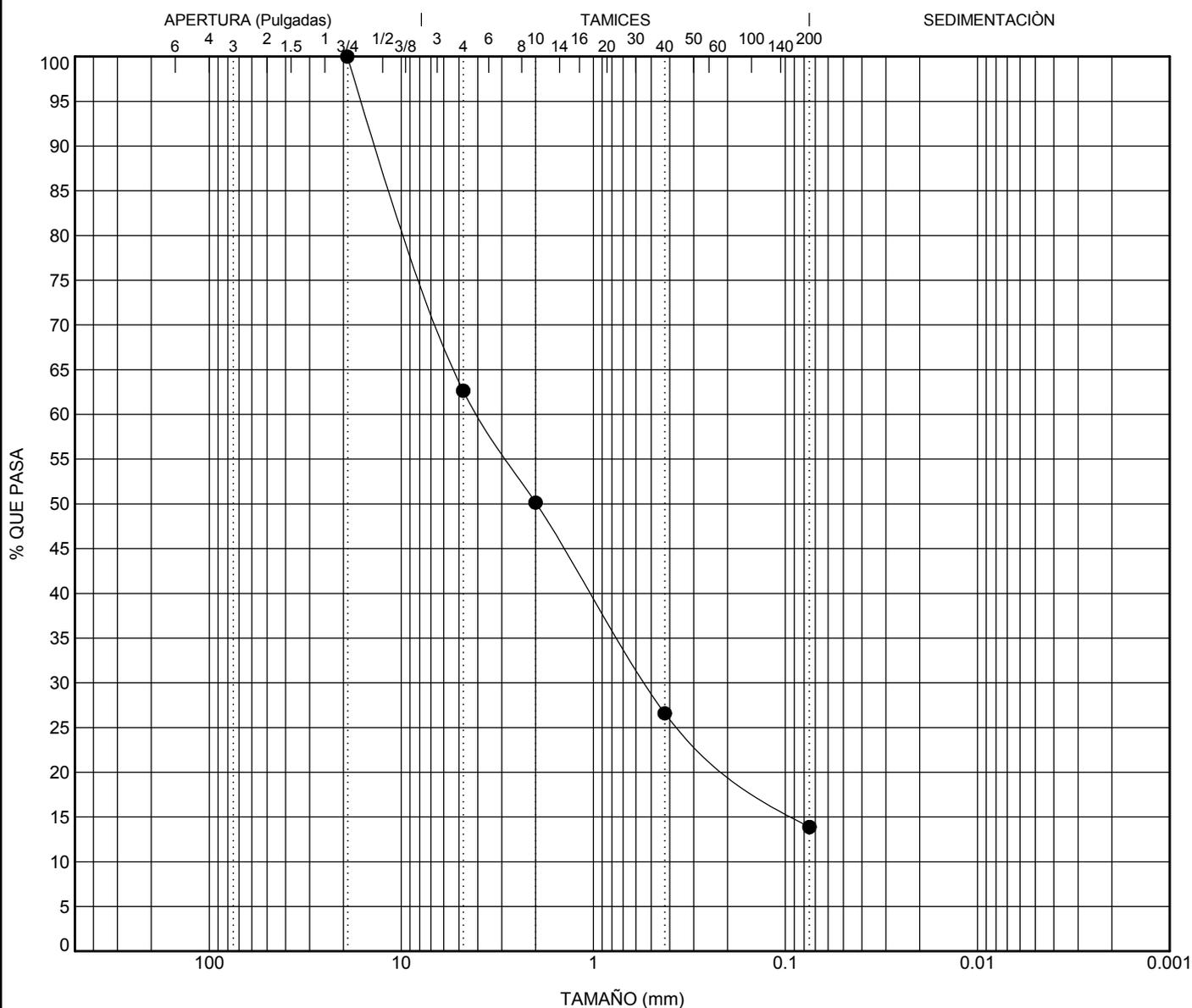
REGISTRO COLUMNAS Y GRAFICOS - A4 FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPANA LAB.GDT 20/1/17



GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC
 CÓDIGO _____

PROYECTO Área de Falla
 LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fina	gruesa	mediana	fina	

Muestra	Clasificación					LL	LP	ÍP	Cc	Cu
● Sondeo 3 (S-3) 0.00										
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla		
● Sondeo 3 (S-3) 0.00	19.1	3.961	0.532		37.4	48.7	13.9			

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



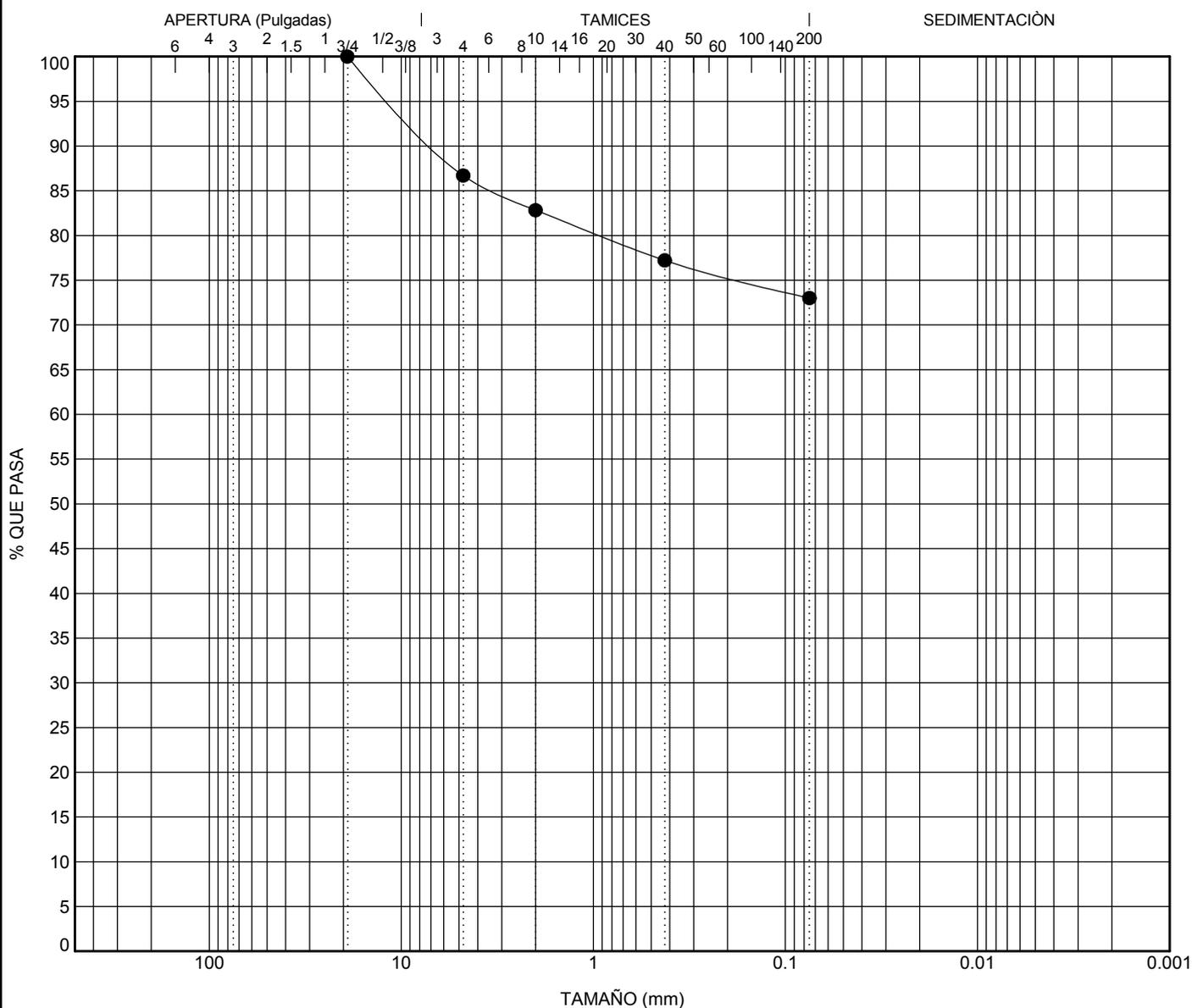
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fin	gruesa	mediana	fin	

Muestra	Clasificación	LL	LP	ÍP	Cc	Cu		
● Sondeo 3 (S-3) 0.60								
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla
● Sondeo 3 (S-3) 0.60	19.1				13.3	13.7	73.0	

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



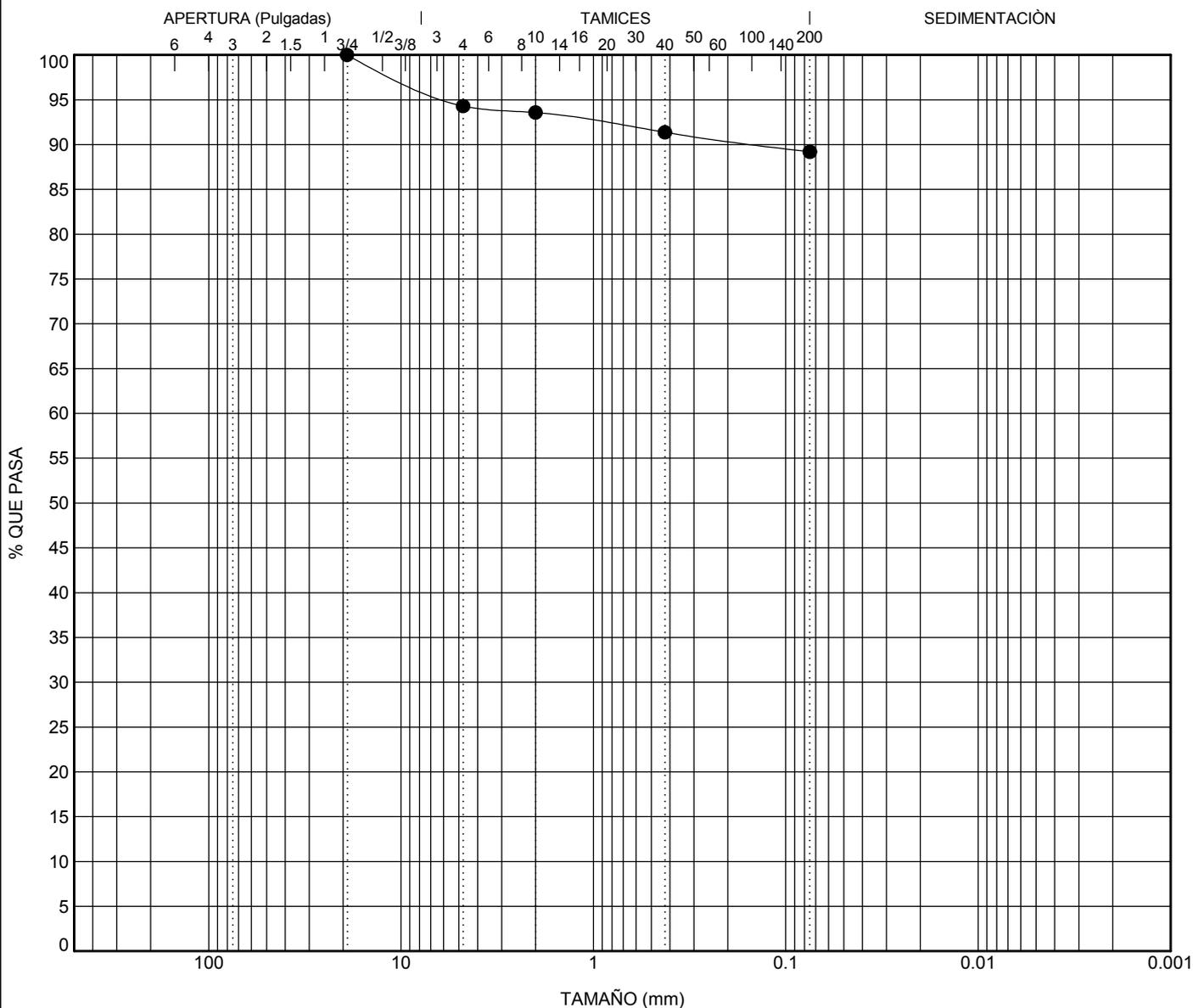
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fin	gruesa	mediana	fin	

Muestra	Clasificación	LL	LP	ÍP	Cc	Cu		
● Sondeo 3 (S-3) 3.05								
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla
● Sondeo 3 (S-3) 3.05	19.1				5.7	5.1	89.2	

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



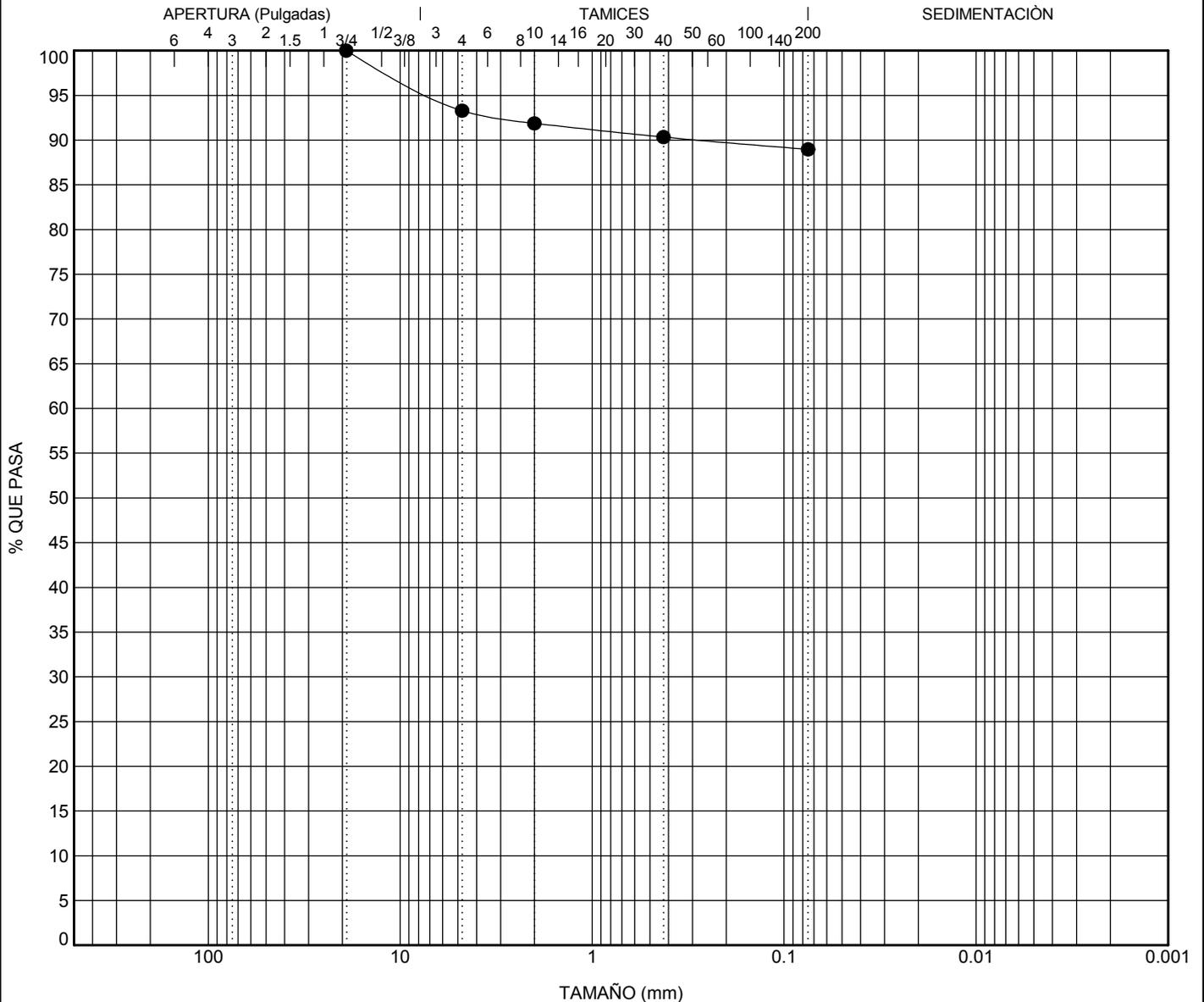
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fin	gruesa	mediana	fin	

Muestra	Clasificación				LL	LP	ÍP	Cc	Cu
● Sondeo 3 (S-3) 8.00									
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla	
● Sondeo 3 (S-3) 8.00	19.1				6.7	4.3	89.0		

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



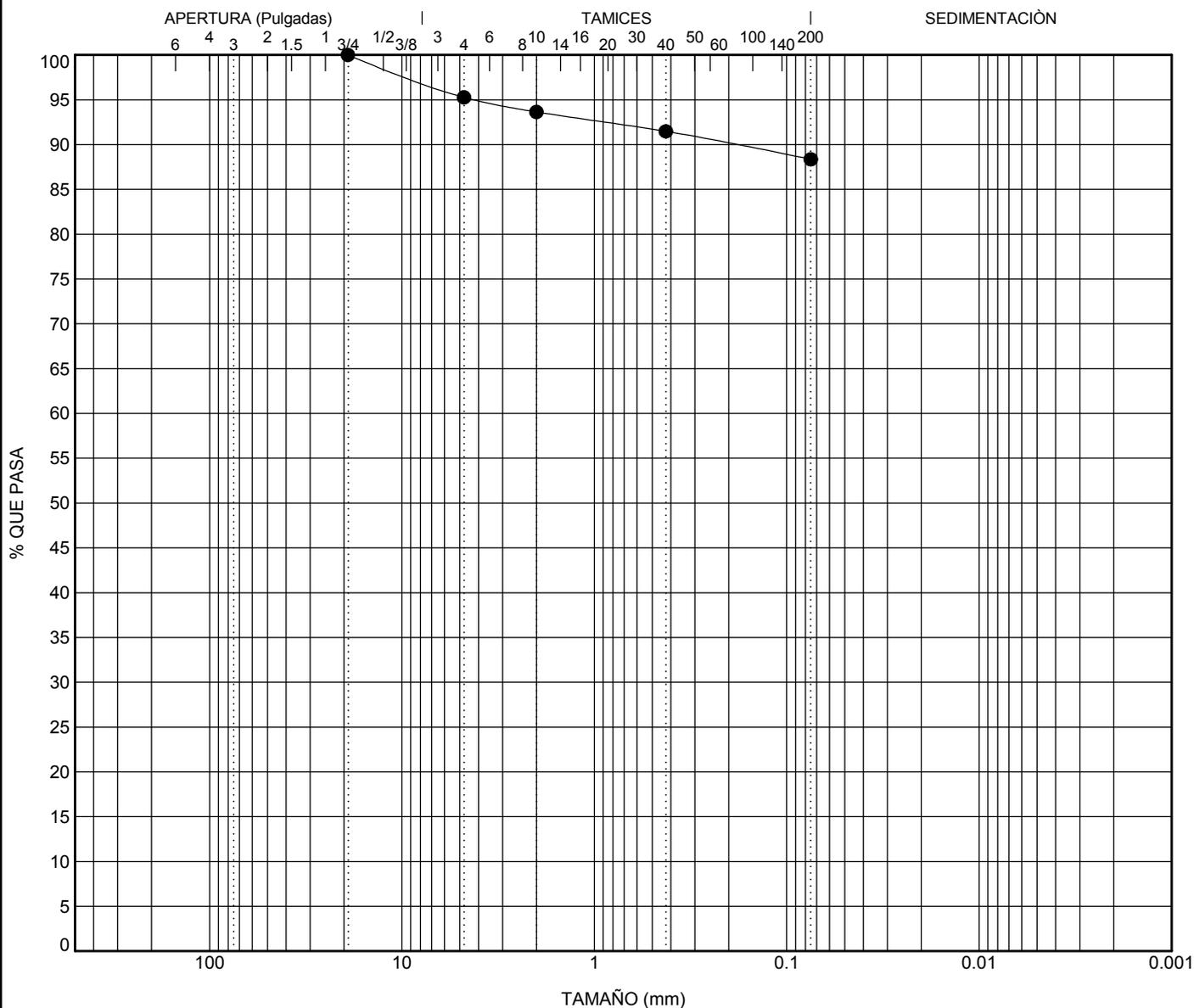
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	finá	gruesa	mediana	finá	

Muestra	Clasificación				LL	LP	ÍP	Cc	Cu
● Sondeo 3 (S-3) 18.05									
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla	
● Sondeo 3 (S-3) 18.05	19.1				4.7	6.9	88.4		

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



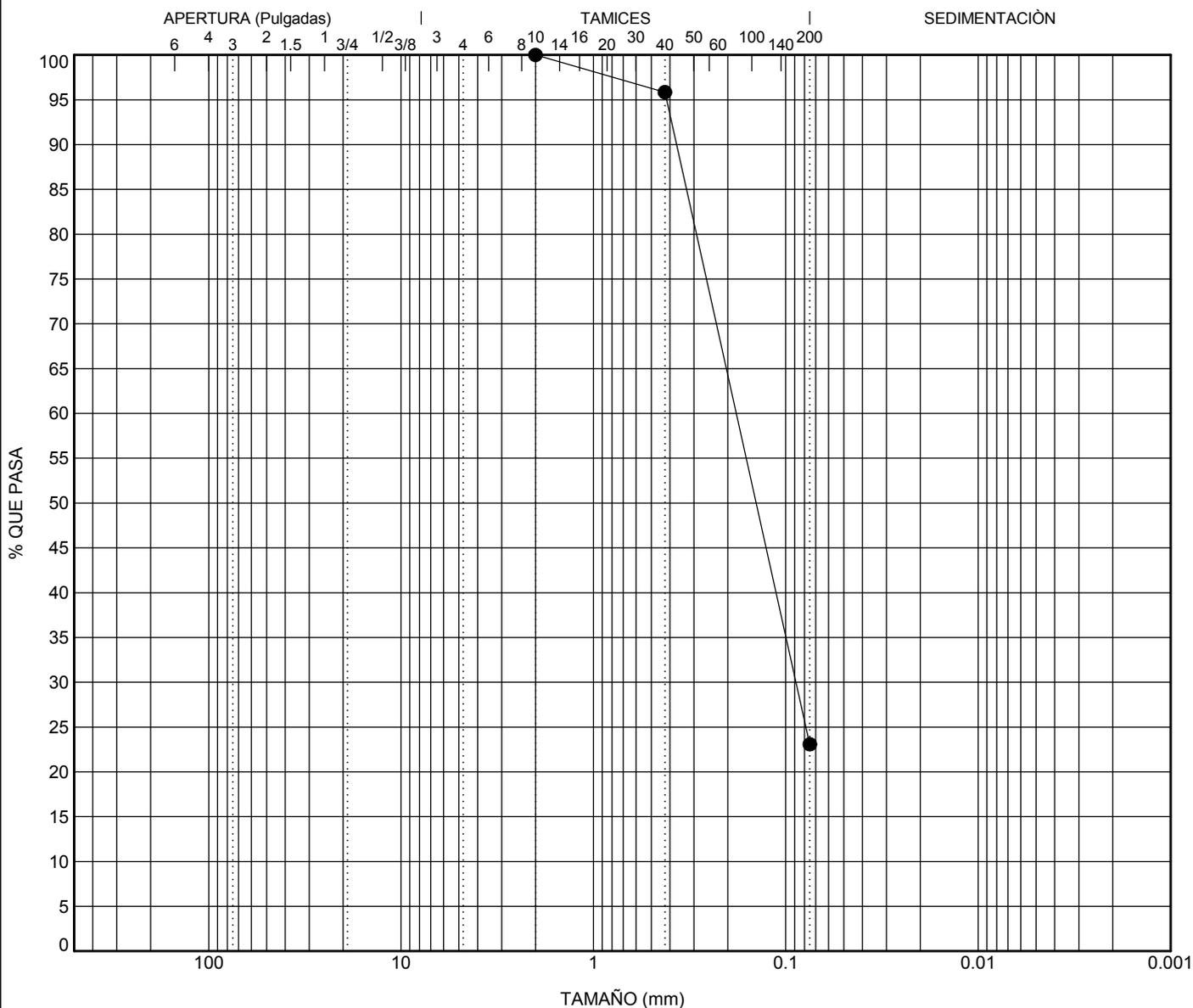
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO _____

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fin	gruesa	mediana	fin	

Muestra	Clasificación				LL	LP	ÍP	Cc	Cu
● Sondeo 3 (S-3) 21.05									
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla	
● Sondeo 3 (S-3) 21.05	2	0.181	0.088		0.0	76.9	23.1		

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17



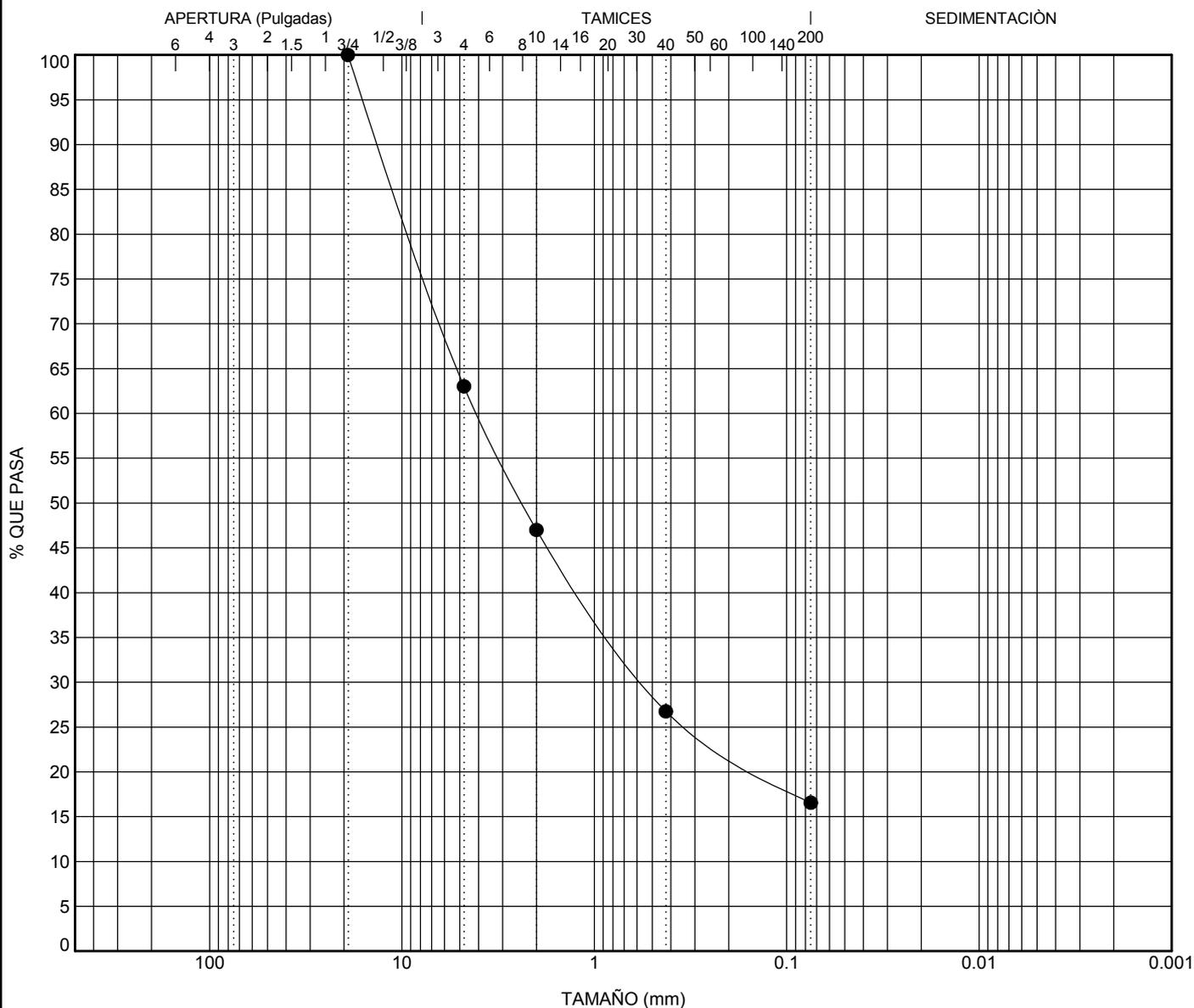
GRANULOMETRÍA

CLIENTE OECC

PROYECTO Área de Falla

CÓDIGO

LOCALIZACIÓN Km. 78 + 600, CA-9 Norte, El Progreso



CANTOS	GRAVA		ARENA			LIMO y ARCILLA
	gruesa	fina	gruesa	mediana	fina	

Muestra	Clasificación				LL	LP	ÍP	Cc	Cu
● Sondeo 3 (S-3) 29.70									
Muestra	D ₁₀₀	D ₆₀	D ₃₀	D ₁₀	%Grava	%Arena	%Limo	%Arcilla	
● Sondeo 3 (S-3) 29.70	19.1	4.042	0.545		37.0	46.4	16.6		

GRANULOMETRÍA FALLA KM 78.GPJ GINT STD ESPAÑA LAB.GDT 19/1/17

