



Universidad del Valle de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería

Maestría en Ingeniería Vial

**REGULARIZACIÓN DE LOS NIVELES DE HUMEDAD EN LA SUBRASANTE MEDIANTE
EL USO DE UN GEOTEXTIL NO TEJIDO EN RUTA RN-11 ENTRE GODÍNEZ Y DESVÍO
SAN LUCAS TOLIMÁN**

Ing. Marco Tulio Altán Ramírez

Asesorado por: Msc. Ing. Ricardo Augusto Reyes Arana

Guatemala, septiembre de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REGULARIZACIÓN DE LOS NIVELES DE HUMEDAD EN LA SUBRASANTE MEDIANTE
EL USO DE UN GEOTEXTIL NO TEJIDO EN RUTA RN-11 ENTRE GODÍNEZ Y DESVÍO
SAN LUCAS TOLIMÁN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ING. MARCO TULIO ALTAN RAMIREZ

ASESORADO POR: Msc. Ing. Ricardo Augusto Reyes Arana

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA VIAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
EXAMINADOR	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Carlo Arnoldo Morales Rosales
SECRETARIO	Mtro. 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:

**REGULARIZACIÓN DE LOS NIVELES DE HUMEDAD EN LA SUBRASANTE MEDIANTE
EL USO DE UN GEOTEXTIL NO TEJIDO EN RUTA RN-11 ENTRE GODÍNEZ Y DESVÍO
SAN LUCAS TOLIMÁN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 12 de noviembre de 2022.

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'M' and 'R' intertwined, with a horizontal line crossing through the middle.

Ing. Marco Tulio Altán Ramírez

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101- 24189102
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

LNG.DECANATO.OI.083.2024

El Decano 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 Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **REGULARIZACIÓN DE LOS NIVELES DE HUMEDAD EN LA SUBRASANTE MEDIANTE EL USO DE UN GEOTEXTIL NO TEJIDO EN RUTA RN-11 ENTRE GODÍNEZ Y DESVÍO SAN LUCAS TOLIMÁN**, presentado por: **Ing. Marco Tulio Altán Ramírez**, que pertenece al programa de Maestría en artes en Ingeniería vial después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.

Guatemala, febrero de 2024

JFGR/gaoc



Guatemala, febrero de 2024

LNG.EEP.OI.083.2024

En mi calidad de Directora 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 del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

“REGULARIZACIÓN DE LOS NIVELES DE HUMEDAD EN LA SUBRASANTE MEDIANTE EL USO DE UN GEOTEXTIL NO TEJIDO EN RUTA RN-11 ENTRE GODÍNEZ Y DESVÍO SAN LUCAS TOLIMÁN”

presentado por **Ing. Marco Tulio Altán Ramírez** correspondiente al programa de **Maestría en artes en Ingeniería vial** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





Guatemala, 6 de octubre de 2023

M.A. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrado
Presente

Estimada M.A. Inga. Cordova Estrada

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **REGULARIZACIÓN DE LOS NIVELES DE HUMEDAD EN LA SUBRASANTE MEDIANTE EL USO DE UN GEOTEXTIL NO TEJIDO EN RUTA RN-11 ENTRE GODÍNEZ Y DESVÍO SAN LUCAS TOLIMÁN** del estudiante **Marco Tulio Altán Ramírez** quien se identifica con número de carné null del programa de Maestria En Ingenieria Vial.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Msc. Ing. Armando Fuentes Roca
Coordinador
Maestria En Ingenieria Vial
Escuela de Estudios de Postgrado

Oficina Virtual



Guatemala, 6 de octubre de 2023

M.A. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Directora
Escuela de Estudios de Postgrados
Presente

Estimada M.A. Inga. Cordova Estrada

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"REGULARIZACIÓN DE LOS NIVELES DE HUMEDAD EN LA SUBRASANTE MEDIANTE EL USO DE UN GEOTEXTIL NO TEJIDO EN RUTA RN-11 ENTRE GODÍNEZ Y DESVÍO SAN LUCAS TOLIMÁN"** de el/la estudiante **Marco Tulio Altán Ramírez** del programa de **Maestria En Ingenieria Vial** identificado(a) con número de carné null.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



MSc. Ing. Ricardo A. Reyes Arana
MAESTRIA EN INGENIERÍA SANITARIA
Colegiado No. 7,338

Mtro. Ing. Ricardo Augusto Reyes Arana
Colegiado No. 7338
Asesor de Tesis

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme fortaleza, sabiduría, discernimiento y salud, para llegar a este momento tan importante en mi vida.
Mi esposa	Ericka Odily, con todo mi amor y agradecimiento por compartir momentos de alegría de lucha y de tristeza a mi lado.
Mis hijos	Samara y Ángel Armando, con mucho amor deseándoles los mejores éxitos en el logro de sus metas.
Mi Padres	Ángel (q. e. p. d) y Juana. Pilar de mi vida que me infundieron los principios de amor a Dios a la vida y al prójimo.
Mis hermanos	Iris Julieta, Ángel Antonio, Hilda Loren, amor fraterno y recuerdos imperecederos
Mis familiares	Gracias por su solidaridad y buenos deseos en todo momento.
Mis amigos	Agradecimiento por su amistad y por compartir experiencias inolvidables.

AGRADECIMIENTO A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Alma mater que me abrió las puertas de su casa de estudio, donde tuve la oportunidad de formarme académicamente

Mi hijo

Ángel Armando, por todo su apoyo en el logro de esta meta.

El Maestro Ingeniero

Ricardo Reyes Arana, por su dedicación, confianza y por sobre todo ser un ejemplo de profesional y de persona.

Ingenieros

Por la confianza brindada deseándoles éxitos en su vida profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
LISTA DE SÍMBOLOS	VI
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	VIII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	X
OBJETIVOS.....	XI
INTRODUCCIÓN	XII
ANTECEDENTES.....	XV
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Geotextil.....	1
1.2. Geotextiles Tejidos	1
1.3. Componentes de la Estructura Vial.....	2
1.3.1. Subrasante.....	2
1.3.2. Subbase	2
1.3.3. Base	3
1.3.4. Capa de rodadura	3
1.4. Fuentes de información.....	3
1.4.1. De campo	4
1.4.2. Extracción de muestras	4
1.4.3. Laboratorio.....	4
1.5. Humedad en la Subrasante	5
2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	7

2.1.	Generalidades de los ensayos.....	7
2.2.	Análisis granulométrico en suelos.....	7
2.2.1.	Normas aplicables.....	8
2.2.2.	Materiales.....	8
2.2.3.	Procedimiento	8
2.3.	Límites de Atterberg.....	10
2.3.1.	Normas aplicables.....	11
2.3.2.	Materiales.....	11
2.3.3.	Procedimiento	11
2.4.	Peso unitario de los agregados.....	13
2.4.1.	Normas aplicables.....	13
2.4.2.	Materiales.....	13
2.4.3.	Procedimiento	14
2.5.	Ensayo de Compactación Proctor.....	14
2.6.	Evaluación Valor Soporte de California (CBR).....	16
2.6.1.	Normas aplicables.....	17
2.6.2.	Materiales.....	17
2.6.3.	Procedimiento	18
2.7.	Método del cono de arena.	19
2.7.1.	Equipo y materiales.....	20
2.7.2.	Procedimiento	21
3.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	23
3.1.	Análisis granulométrico en suelos (AASHTO T27; T11)	23
3.2.	Límites de Atterberg (AASHTO T 89-96, T 90-96).....	25
3.3.	Peso unitario de los agregados AASHTO T 19.....	28

3.4.	Compactación Proctor modificado (AASHTO T 180)	31
3.5.	Valor soporte california (CBR) AASHTO T 193-93	34
3.6.	Método del cono de arena (AASHTO T 191)	41
3.7.	Costos de colocar un geotextil no tejido	43
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
4.1.	Análisis Granulométrico, estación (149+350).	45
4.2.	Límites de Atterberg, estación (149+350)	46
4.3.	Compactación Proctor, estación (149+350)	47
4.4.	Valor Soporte California (CBR), estación (149+350)	49
4.5.	Método del cono de arena, (149+260; 149+460)	50
4.6.	Comparación de costos	52
	CONCLUSIONES	53
	RECOMENDACIONES	54
	REFERENCIAS	55

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1. <i>Extracción de muestras para laboratorio análisis de laboratorio</i>	9
Figura 2. <i>Extracción de muestra para los estudios de laboratorio</i>	10
Figura 3. <i>Extracción de muestras para análisis de laboratorio</i>	19
Figura 4. <i>Extracción de muestras para densidades de campo</i>	20
Figura 5. <i>Colocación de geotextil en subrasante</i>	22
Figura 6. <i>Esquema de la colocación de geotextil sobre la subrasante</i>	22
Figura 7. <i>Gráfica de análisis granulométrico AASHTO T 27 y T11</i>	45
Figura 8. <i>Sistema de clasificación de suelos AASHTO T-27 y T-11</i>	46
Figura 9. <i>Grafica Porcentaje de Humedad</i>	47
Figura 10. <i>Gráfica de Peso Unitario seco vrs. Humedad %</i>	48

TABLAS

Tabla 1. <i>Análisis Granulométrico Grupo 1, estación (149+350)</i>	23
Tabla 2. <i>Granulométrico Grupo 1, estación (149+450)</i>	24
Tabla 3. <i>Análisis Granulométrico Grupo 1, estación (149+490)</i>	25
Tabla 4. <i>Límite de Atterberg Grupo 2, estación (149+350)</i>	26
Tabla 5. <i>Límite de Atterberg Grupo 2, estación (149+450)</i>	27
Tabla 6. <i>Límite de Atterberg Grupo 3, estación (149+490)</i>	28
Tabla 7. <i>Peso Unitario de los Agregados Grupo 1, (149+350)</i>	29
Tabla 8. <i>Peso Unitario de los Agregados Grupo 2, (149+450)</i>	30
Tabla 9. <i>Peso Unitario de los Agregados Grupo 3, (149+490)</i>	31
Tabla 10. <i>Proctor Modificado Grupo 1, estación (149+350).</i>	32
Tabla 11. <i>Proctor Modificado Grupo 2, estación (149+450).</i>	33
Tabla 12. <i>Proctor Modificado Grupo 3, estación (149+490).</i>	34

Tabla 13. Humedad y Densidad de las muestras, Grupo 1, (149+350).....	35
Tabla 14. Hinchamiento, Grupo 1, estación (149+350).	36
Tabla 15. Índice de California C.B.R, Grupo 1, estación (149+350).....	36
Tabla 16. Humedad y Densidad de las muestras, grupo 2, (149+450)	37
Tabla 17. <i>Hinchamiento, grupo 2, estación (149+450)</i>	37
Tabla 18. Índice de California C.B.R, grupo 2, estación (149+450).....	38
Tabla 19. Humedad y Densidad de las muestras, grupo 3, (149+490).	39
Tabla 20. Tabla de Hinchamiento, grupo 3, estación (149+490).	40
Tabla 21. <i>Índice de California C.B.R, grupo 3, estación (149+490)</i>	40
Tabla 22. Determinación de Humedad en Campo Grupo 4, (149+260).	41
Tabla 23. Determinación de Humedad en Campo Grupo 5, (149+460).	42
Tabla 24. <i>Costo sin colocar un geotextil no tejido en subrasante</i>	43
Tabla 25. Costo al colocar un geotextil no tejido en subrasante.....	44
Tabla 26. Costo de suministro y colocación de geotextil no tejido.....	44
Tabla 27. Determinación de Humedad en Campo Grupo 4, (149+260)	50
Tabla 28. Determinación de Humedad en Campo Grupo 5 (149+460).	51

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
m ³	metro cúbico
Cm	Centímetro
Gr	Gramo
Km	Kilometro
Min	minutos
Mm	Milímetro
%	Porcentaje
Kg	Kilogramo
Lb	Libra

GLOSARIO

Agregado	Es un material granular (grava, piedra triturada o arena) que conforma el esqueleto granular de la mezcla.
ASTM	Representa las siglas de la entidad denominada, por sus siglas en inglés, Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes)
Compactación	Acción de comprimir o compactar una masa determinada de un material a una densidad requerida.
Granulometría	Es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, tal como se determina por análisis de tamices.

RESUMEN

Como objetivo principal de la presente investigación corresponde al análisis de colocar un geotextil no tejido de polipropileno termoestable, como una alternativa para regularizar la humedad en el terreno natural o subrasante, para tal efecto se realizaron estudios completos a muestras extraídas en campo para conocer sus características físico-mecánicas, haciendo énfasis específicamente el método de Proctor modificado (AASHTO T 180 ó AASHTO T 99) y el método del cono de arena (AASHTO T 191), en consecuencia, en este documento se detalla el procedimiento de cada uno de los ensayos utilizados para analizar los materiales presentes en el terreno natural específicamente el porcentaje de humedad presente en la subrasante antes y después de colocado el geotextil no tejido.

Entre los antecedentes a esta investigación, resalta el trabajo de Bustamante (2016) afirmó que la función filtrante impide el paso de ciertas partículas del suelo a través del geotextil sin impedir el paso de líquidos y gases. Estas investigaciones, así como otras que se describen en el apartado “antecedentes” de este documento, sirvieron para analizar sobre el conocimiento de los trabajos que se pudieron establecer.

Una vez definidos los análisis para este tema, se procedió a construir un marco teórico basado en la descripción conceptual de los polímeros, sus propiedades físicas, químicas, entre otras; así como los conceptos más importantes de las generalidades de la estructura del pavimento.

Asimismo, se hizo un análisis de la variación de porcentajes de humedad en la subrasante, antes y después de colocado el geotextil no tejido utilizando los ensayos mencionados con anterioridad, se demostró que la variación fue de 3.5 %, lo que indica que la humedad disminuye.

Adicionalmente, se hicieron los cálculos respectivos considerando el costo que conlleva colocar geotextil no tejido en el terreno natural. Se determinó que el costo se incrementa en Q 20.58, que representa el suministro y colocación del geotextil no tejido antes mencionado.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La humedad que suele presentarse en las carreteras del país, es debido a que no se da importancia a los drenajes, control de erosiones y humedades, provocando una disminución considerable en la capacidad de los pavimentos.

Pregunta Principal

¿Cómo regularizar la humedad y la presión sobre el suelo por debajo de la carpeta asfáltica?

Pregunta Específicas

- ¿Qué obras de protección se pueden utilizar para evitar que las humedades fatiguen las capas inferiores de la estructura del pavimento?
- ¿Por qué utilizar geotextil para regularizar los niveles de humedad?
- ¿Qué costos deben incluirse en la utilización de un geotextil no tejido para extender la vida útil del pavimento?

OBJETIVOS

Generales:

Mejorar la problemática provocada por humedad en la estructura del pavimento en tramo carretero entre Godínez y desvío San Lucas Tolimán, mediante el uso de un geotextil.

Específicos:

1. Identificar las protecciones que ayuden a regularizar la humedad en la subrasante de la estructura del pavimento.
2. Analizar el efecto al usar geotextil no tejido como medio de filtración, separación, estabilización.
3. Comparar el costo de aplicación de un geotextil no tejido en la estructura de pavimento con otro al que no se aplica el geo sintético.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se basa en el análisis y comparación de dos métodos, para minimizar los niveles de humedad en la subrasante, uno de ellos mediante la colocación de un geotextil no tejido y el otro sin el geotextil no tejido, este ensayo se efectuó en la ruta RN-11 entre Godínez y desvío San Lucas Tolimán, para un área de 420 m², a media sección para ambos métodos.

La finalidad de este estudio es el aporte al conocimiento físico - mecánico, específicamente al comportamiento del terreno natural bajo efectos de agua, lo que se requiere es minimizar la humedad, reducir la filtración de finos y mejorar las condiciones de servicio a las que se someta el suelo por debajo de la estructura del pavimento, aportando alternativas de costos que beneficien al sector vial a largo plazo.

Para analizar el alto contenido de humedad se debe conocer que la principal causa son las condiciones climáticas que predominan en la Ruta RN-11 entre Godínez y el desvío a San Lucas Tolimán, que es una zona montañosa densamente vegetada, presenta lluvias torrenciales persistentes que provocan el deterioro de la superficie de rodadura, con el geotextil no tejido por sus características hidráulicas y de permeabilidad, permite filtración y es uno de los materiales ideales para incorporarse en el terreno natural previo a colocar la estructura del pavimento.

El principal interés en este trabajo corresponde a analizar la incorporación del geotextil no tejido sobre la subrasante en el terreno natural, y verificar el comportamiento de los porcentajes de humedad a través de estudios completos de laboratorio antes y después de colocar el geotextil.

El diseño para la obtención de resultado fue experimental debido a la necesidad de realizar ensayos con muestras extraídas en campo (calicatas a nivel de subrasante), en diferentes estacionamientos, para una mejor certeza de los materiales presentes, y verificarlos en laboratorio.

En el capítulo 1, se dan a conocer los términos generales de importancia conceptual para la investigación, definiendo geotextil no tejido, geotextiles tejidos, componentes de la estructura de pavimento, entre otros aspectos de relevancia técnica. Este capítulo ayuda a que el lector comprenda la fusión entre el (geotextil no tejido, el terreno natural y la estructura de pavimento), así como información para minimizar el daño ocasionado por la erosión medioambiental que actualmente se presenta con la humedad provocada al terreno natural.

El capítulo 2, Se describe la investigación, desde la toma de muestras en campo para su estudio en laboratorio; en comparación con los resultados obtenidos en campo, para el porcentaje de humedad antes y después de colocado el geotextil no tejido.

En el capítulo 3, Corresponde a la presentación de resultados, se examinaron los parámetros de laboratorio como granulometría, índice de plasticidad, peso unitario, compactación Proctor modificado AASHTO T -180, valor soporte del suelo CBR, método del cono de arena, entre otros, de las muestras de terreno natural tomadas en campo.

Y, por último, en el capítulo 4, Se presenta los resultados obtenidos en laboratorio de la muestra que presentan mejores características físico-mecánicas específicamente en el porcentaje de humedad, que en comparación con los resultados obtenidos en campo se verificaron mejoras al colocar el geotextil no tejido sobre la subrasante.

Como muestra final se efectuó una comparación de costos al considerar la colocación de un geotextil no tejido en un área de 420 m², con otra área similar, que no presento ningún problema a la humedad. El resultado de esta

prueba radica que el costo difiere en el precio del suministro y colocación del geotextil no tejido, que fue de Q 20.58 por metro cuadrado.

ANTECEDENTES

El tramo entre Godínez y el desvío a San Lucas Tolimán, es una zona montañosa densamente vegetada, que presenta un problema de humedad con lluvias torrenciales persistentes que provocan el deterioro de la superficie vial (normalmente en forma de grietas). Chicas (2005), recomienda instalar geotextil cuando se expone a la humedad para evitar daños en las capas de las estructuras viales.

Se determinará que el uso de geotextiles extenderá la vida útil del pavimento. Esto se debe a la alta humedad y alta carga de vehículos que se dirigen a la costa sur y viceversa, siendo el área de Sololá completamente turístico. Laboret (2018), recomienda utilizar este material en el subsuelo. Esto mejora en gran medida la distribución de las cargas que llegan a los suelos naturales.

Al ser ubicada en un área Agrícola, el agua de lluvia no puede drenar a las tierras de cultivo al lado del tramo de la carretera, y la humedad afecta la estructura del pavimento. Debido a problemas de humedad en la subrasante de este tramo, se recomienda el uso de geotextiles para mejorar la filtración del agua y evitar la formación de lechos de agua que desestabilicen la estructura del pavimento bajo la carga del tráfico. Bustamante (2016), afirmó que la función filtrante impide el paso de ciertas partículas del suelo a través del geotextil sin impedir el paso de líquidos y gases.

La humedad debe controlarse como un factor dañino para el pavimento en las operaciones de campo de construcción de pavimento. Pérez (2017). Este efecto ocurre en la sección entre el tramo de Godínez y San Lucas Tolimán, donde se requiere una estabilización a largo plazo en la interfaz entre el subsuelo y la capa granular para acomodar este efecto.

1. MARCO TEÓRICO

La humedad que normalmente ocurre en las carreteras nacionales se debe a la falta de énfasis en el drenaje, el control de la erosión y la humedad, lo que resulta en una reducción significativa de la capacidad de los materiales de subrasante. A continuación, se presentan algunos términos básicos y generalidades para desarrollar el tema.

1.1. Geotextil

Un elemento estratificado, flexible y poroso cuya estructura representa la unión mecánica y química entre filamentos. Son materiales flexibles, fáciles de procesar, ayudan a separar materiales de diferentes granos e influyen en mejoras de costos en el desarrollo de proyectos viales Icochea (2019).

El uso de este geosintético en el diseño de estructuras de suelos, especialmente en subestructuras de pavimentos, es una prioridad.

1.2. Geotextiles Tejidos

Se forman retorciendo cintas en un telar. Formado con flejes longitudinales y transversales de polipropileno mediante de esta investigación, se está considerando el uso de geotextiles tejidos en subestructuras como un dispositivo de drenaje para regular el escurrimiento de agua desde la superficie. González (2022).

Se ha propuesto utilizar geotextiles no tejidos en la subrasante, que pueden acomodar suelos blandos o saturados que se encuentran en las estructuras de pavimentación. Al colocar este material directamente sobre el terreno natural ayudara a la filtración del agua y a la retención de finos, el uso de geotextiles no tejidos en la construcción de carreteras ofrece una serie de ventajas ya que es de fácil manejo.

1.3. Componentes de la Estructura Vial

Son las capas que conforman la estructura del pavimento, siendo estas: subrasante, subbase, base y capa de rodadura. Estas garantizan las condiciones funcionales y estructurales para los usuarios.

1.3.1. Subrasante

Formado por un suelo natural altamente orgánico, la vegetación de color marrón oscuro y posiblemente los escombros influyen en la estructura de la carretera pavimentada. Esto se extiende a una profundidad que no afecta la carga de diseño para el tráfico esperado. Mata (2010), comentó que, dado que estos materiales se forman por erosión, se requieren materiales adecuados para evitar deflexiones por cargas de tráfico.

1.3.2. Subbase

Su espesor depende de los elementos que se encuentran en la subrasante. Este espesor depende de la calidad del material presente en el subsuelo y no debe exceder los 70 cm. La Dirección General de Caminos (2001) indica que, esta capa está diseñada principalmente para transportar,

transmitir y distribuir uniformemente las cargas de tráfico de manera que el subsuelo pueda soportarlas.

1.3.3. Base

Además de reducir la deformación o deflexión que las cargas en movimiento ejercen sobre la estructura vial, esta capa reduce los esfuerzos verticales que las cargas ejercen sobre la subbase, permitiendo que el agua drene desde las zanjas longitudinales a través de la calzada. Es la capa de pavimentación cuya función principal es distribuir y transmitir las cargas causadas por el tráfico aplicados en la carpeta de rodadura y distribuidos a la subrasante. Iturbide J. (2002).

1.3.4. Capa de rodadura

Es la zona por la que circulan vehículos de diversa potencia y peso, pudiendo ser rígidos o flexibles, aliviando los esfuerzos normales aplicados a la capa base para controlar la acumulación de deformaciones que se producen en dicha capa, definida como mezcla asfáltica. Proporciona una superficie antideslizante en áreas húmedas mientras ayuda a regular el contenido de humedad del pavimento para que la capa debajo del pavimento mantenga su capacidad de carga.

1.4. Fuentes de información

Datos obtenidos en campo donde se efectuó la investigación, extracción de muestras, ensayos de laboratorio e información obtenida por vecinos del lugar.

1.4.1. De campo

Se seleccionó el camino que conduce a la ruta RN-11 ENTRE GODÍNEZ Y DEVÍO SAN LUCAS TOLIMÁN en la provincia de Sololá. La descripción de la carretera tiene un promedio de 6 metros con 50 centímetros de ancho, 15 kilómetros de largo y un espesor de subbase de 25 cm, base de 20 cm, con carpeta de rodadura de 10 cm.

1.4.2. Extracción de muestras

Las excavaciones mecánicas se realizan a intervalos de 200 metros desde el subsuelo para recolectar muestras alteradas. Luego se recolecta una muestra integrada y se perfora en ambos lados del área de muestra. Esto asegura que la colección de muestras incluirá diferentes tipos de capas que existen en la carretera.

1.4.3. Laboratorio

Basado en el laboratorio de infraestructura vial, se llevan a cabo pruebas para caracterizar los materiales utilizados. Se emplea el análisis granulométrico tanto para los agregados gruesos como para los finos con el propósito de obtener información acerca de la distribución de partículas en cada tipo de material. Además, se determinan el límite plástico y el índice de plasticidad del suelo para evaluar cómo varía la consistencia del suelo en presencia de agua, utilizando los límites de Atterberg como indicadores de esta variabilidad. - Relación de Soporte de California (CBR). - Límite líquido, límite de plasticidad, índice de plasticidad, tamaño de partículas. El Laboratorio CBR determina la capacidad portante del suelo según las normas AASHTO T-193 / ASTM D-1883. Determina la resistencia al corte del suelo, subbase y

subrasante en condiciones controladas de humedad y densidad. Calderón (2011).

1.5. Humedad en la Subrasante

Una carretera correctamente diseñada y construida debe de soportar el cambio climático. Los cambios de temperatura, lluvias, el mal estado de las alcantarillas y la menor cantidad de mantenimiento aceleran el deterioro de las estructuras viales.

Se tiene en cuenta que el tiempo y el tránsito son factores externos que afectan las estructuras viales y pueden causar daños regulares durante su vida funcional. Los factores ambientales que afectan la actividad de las estructuras son:

- Precipitación
- Temperatura
- Nubosidad
- Velocidad del viento
- Profundidad
- Humedad relativa

La precipitación, la humedad y la profundidad afectan directamente en el nivel de saturación o niveles de humedad en que se encuentra el subsuelo, incidiendo en gran medida en su deformación como resultado de esfuerzos de larga duración que ponen en peligro toda la estructura de la red vial.

El agua ingresa a las estructuras del pavimento y la infraestructura mediante grietas en el pavimento asfáltico, terraplenes de caminos, zanjas, zanjas sin pavimentar o mal mantenidas, cambios en el nivel freático y ascenso

por capilaridad. Existe una posibilidad de que todo ello contribuye a la reducida capacidad sobre la portación de la estructura. Chon Kan (2017)

Cuantificar el daño por humedad requiere conocer los datos de humedad del piso, que no debe ser directamente relacionado con la lluvia. La importancia de la composición líquida que se encuentra en el suelo, es una de las características más importantes que explican su comportamiento en términos de cambio de estabilidad mecánica, volumen y cohesión. Rodríguez (2016).

La humedad afecta el subsuelo al alterar las características químicas y físicas del componente, tanto el módulo de elasticidad, la solidez al corte, la expansión, la contracción y la sensibilidad a la erosión.

En el concepto de módulo de Young desarrollado por Hveem y Carmany en 1948 [25], el módulo de Young dinámico de la calzada es un parámetro muy importante para comprender el agrietamiento (fatiga) de la superficie asfáltica, y su determinación es monótona. que las cargas pesadas pueden no ser adecuadas. En 1955 Hveem [26] desarrolló el tema "Comportamiento elástico de las carreteras". Propuso una prueba de estabilómetro para caracterizar el sustrato. (1955) siguió al establecido por Hveem de la Universidad de California. Desarrollaron la prueba de esfuerzo repetido e introdujeron el término módulo elástico. Johnson, (2018).

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se describe los ensayos y toma de muestras realizadas para poder comparar los resultados del uso de un geotextil no tejido en la subrasante, en un tramo con niveles elevados de humedad.

2.1. Generalidades de los ensayos

Se realizaron 3 calicatas del material de subrasante previo a colocar el geotextil en una longitud de 140 m, del tramo de la carretera RN-11-02. Esta información fue extraída, debidamente registrada.

Para comparar los resultados, se tomaron densidades de campo antes de colocar el geotextil no tejido utilizando el ensayo de Proctor modificado AASHTO T 99 ó T 180, el resultado de humedad optima fue de 19.8 %. Después de 30 días de ser colocado el geotextil no tejido se efectuó un segundo ensayo en donde se perforo el geotextil no tejido para la toma de muestra, utilizando el método de cono de arena AASHTO T 191 para el porcentaje de humedad a Speedy, el resultado para el porcentaje de humedad fue de 16.3 %, al evaluar los resultados tenemos una disminución de humedad de 3.5 % lo que significa que el geotextil no tejido si regularizo la humedad en la subrasante. La información de campo es la siguiente:

2.2. Análisis granulométrico en suelos

El objetivo es evaluar el tamaño de las partículas de una cantidad de muestra de suelo obtenida extraída de la subrasante y que cumpla con las

normas correspondientes. Esto determinará el tamaño de las partículas contra el porcentaje de suelo menor respecto al peso total de la muestra.

Se aplicará el método de análisis granulométrico mecánico para esta muestra de suelo y se interpretará la curva granulométrica. Se espera tener un margen de error menor o igual a 0.3 %.

2.2.1. Normas aplicables

AASHTO T 27 y T 11

2.2.2. Materiales

- Un juego de tamices normados.
- Una balanza: que cumpla con los requerimientos del análisis a efectuar.
- Herramienta y accesorios (Plato metálico, envases, cepillo, paleta, horno o estufa).
- Rasadora.

2.2.3. Procedimiento

- Se extrajo una muestra representativa de 1300 gramos (peso previo al lavado) de acuerdo con el procedimiento de cuarteo realizado anteriormente. Esta muestra fue posteriormente sometida a un breve remojo para permitir la separación de las partículas finas.
- Seguidamente, se procedió a lavar la muestra utilizando un tamiz No. 200 como filtro.

- El material retenido durante el proceso de lavado se depositó en un recipiente adecuado.
- Posteriormente, se coloca el material en un conjunto de tamices y se agita durante un período de 5 a 10 minutos. Durante este proceso, se registra el peso del material retenido en cada uno de los tamices.
- Los pesos obtenidos en cada tamiz se sumaron para obtener el peso final después de completar el ensayo. Luego, se comparó este peso final con el peso inicial de la muestra, calculando el porcentaje de error. Es importante destacar que el porcentaje de error calculado fue significativamente menor que el valor máximo permitido.

En la figura No. 1, se detalla la muestra extraída a través de una de las calicatas que se realizaron en el área de estudio para que fuese ensayada aplicando esta norma.

Figura 1. *Extracción de muestras para laboratorio análisis de laboratorio*



Fuente: [fotografía de Marco Altán]. (km. 149+450 entre Godínez y San Lucas Tolimán, 2023), colección particular, Guatemala.

2.3. Límites de Atterberg

La evaluación de los límites del rango de humedad en los cuales el suelo mantiene su estado plástico se rige por las normas AASHTO T 89-96 y AASHTO T 90-96. Estas normas se basan en el principio de que en suelos de grano fino existen cuatro estados de consistencia en función de su contenido de humedad. Inicialmente, el suelo se encuentra en estado sólido cuando está completamente seco. A medida que se añade agua gradualmente, el suelo pasa sucesivamente por los estados de semisólido, plástico y, finalmente, líquido.

Este ensayo se realiza con el propósito de determinar si el material presente en la subrasante del tramo en cuestión posee un índice de plasticidad menor al 25 %, lo cual lo calificaría como de alta calidad. Esto puede contribuir a abordar de manera efectiva el problema de humedad en la zona

Figura 2. *Extracción de muestra para los estudios de laboratorio*



Fuente: [fotografía de Marco Altán]. (km. 149+450 entre Godínez y San Lucas Tolimán, 2023), colección particular, Guatemala.

2.3.1. Normas aplicables

AASHTO T 89-96 y T 90-96

2.3.2. Materiales

- Aparato de líquido (copa Casagrande).
- Acanalador (casa grande).
- Plato evaporador de porcelana.
- Placa de vidrio para hacer el ensayo de límite plástico.
- Varilla de soldadura de 3 mm. Para visualizar por comparación el diámetro del cilindro para límite plástico.
- Balanza de sensibilidad de 0.01 g.
- Horno u estufa con circulación de aire.
- Accesorios (espátula, gotero, franela, envases).

2.3.3. Procedimiento

Límite líquido

- Se tamizo 6000 gr de suelo (seco al aire), por la malla No. 40 al cual se le realizó el cuarteo para tomar una muestra representativa de 500 gr, luego se dejó saturar durante 1 hora con la finalidad de que el agua ocupe todos los espacios vacíos del suelo. Una vez saturado el suelo se procede con el siguiente paso.
- Se calibró la copa de Casagrande verificando que la altura de la máquina del límite líquido sea exactamente de 1 cm.
- Se colocó 250 gr de suelo saturado en el recipiente de porcelana, se añade una pequeña cantidad de agua, y mezclamos cuidadosamente el suelo hasta obtener una muestra pastosa y de color uniforme puesto que

estas características son indicadores de que la muestra está en un estado adecuado para el ensayo.

- Se coloca una muestra de la pasta con espátula en la copa Casagrande de manera que se tenga una superficie de 10 mm de espesor.
- Luego se realizó las cuatro pruebas, una menor de 25 golpes y los otros más de 25 golpes.
- Se tomó una muestra para medir el contenido de humedad del suelo colapsado en la ranura asegurándose que corresponda a la zona donde se cerró la ranura y la pasta restante se regresó al plato de evaporación para la siguiente repetición.
- Se repitió la secuencia para dos pruebas adicionales con número de golpes comprendidos entre 18 y 25, entre 25 y 30 respectivamente.

Límite plástico

- De la pasta preparada anteriormente se tomó porciones pequeñas formando esferas aproximadamente 6, que se colocaron sobre la placa de vidrio para iniciar la prueba de límite plástico una vez concluido el ensayo del límite líquido.
- Se tomaron dos esferas y se rolaron sobre la placa de vidrio aplicándole presión suficiente para moldearlo como varilla cilíndrica, cuando el diámetro del cilindro del suelo llegó a 3 mm y aun no se produjo rotura en pequeños pedazos se moldea nuevamente de la misma manera hasta que se produzca rotura. Si el cilindro se desmorona a un diámetro mayor a 3 mm, esta condición es satisfactoria para definir el límite plástico.
- A la muestra que sufrió rotura se le determina el contenido de humedad

2.4. Peso unitario de los agregados

Con la finalidad de evaluar en laboratorio el peso unitario de una muestra de material y cumpliendo con la norma AASHTO T 19 (ASTM C 29), que define la densidad total o bruta o peso unitario de los agregados presentes en la capa de subrasante.

Lo que se desea es determinar el peso unitario para determinar la densidad de masa en condición compactada o suelta por el método de apisonado y el porcentaje de vacíos en el agregado fino, grueso o en una mezcla de ambos.

2.4.1. Normas aplicables

AASHTO T 19 (ASTM C 29)

2.4.2. Materiales

- Balanza: con una exactitud de 0.3 %
- Barra compactadora: recta de acero, 16 mm de diámetro y 600 mm de largo, con una punta semiesférica.
- Recipiente cilíndrico: de metal, con asas. Su altura estará comprendida entre el 80 % y 150 % del diámetro del cilindro.
- Pala o cuchara: de buen tamaño para llenar recipiente, en la práctica fueron usadas ambas la cuchara para llenar el recipiente y la pala para recoger.

2.4.3. Procedimiento

Antes de comenzar la práctica, el recipiente donde se compactara debe estar calibrado, para dicha práctica el mismo ya lo estaba, en el caso de determinar el peso unitario suelto, se llenaba el recipiente hasta el tope y con la barra se enrazaba tanto para el agregado fino como para el grueso, en el caso del peso unitario compacto, se procedió a; llenar primero la tercera parte del recipiente y con la barra se le daba 25 golpes para lograr así la compactación, luego se llenaba otra parte y se volvía a compactar con 25 golpes más y por último se llenaba hasta el tope y se enrazaba y luego se procedía a golpear 25 veces más el agregado, luego de todo esto por cada prueba se pesó la muestra. El procedimiento de compactación debía ser golpes muy leves y dejar caer la barra desde una altura no tan alta

2.5. Ensayo de Compactación Proctor.

Para la evaluación de la densidad, se perforaron calicatas para la toma de muestras de material existente en la capa de subrasante, para ser analizadas en laboratorio por medio del ensayo de compactación Proctor cumpliendo con la norma AASHTO T 180

En este estudio se compara el porcentaje de humedad del material en terreno natural o subrasante además de las características del material existente, como medio de prueba se analizaron 3 pruebas de material extraídas en la ruta RN-11-02, en una longitud de 140 m, de la estación 149.350 a la estación 149.490.

Se trabajó media sección del lado izquierdo ya que era el área afectada por la humedad y por consiguiente por ser una prueba para conocer el comportamiento de la humedad en subrasante al colocar un polímero.

En la figura 3, se detalla la toma de la muestra extraída para los análisis de laboratorio, el cual muestra el equipo, la maquinaria y el personal requerido para la toma de muestra.

El ensayo de laboratorio puede realizarse en cada capa de la estructura del pavimento, para conocer el comportamiento de los materiales.

2.5.1. Normas aplicables

AASHTO T 99 o T 180

2.5.2. Materiales

- Molde Proctor de compactación con base y collar.
- Pistón o martillo con altura libre de caída de 18" y 4,54 kg de peso.
- Envases (para la determinación del contenido de humedad)
- Estufa u horno de secado con circulación de aire.
- Tamices acordes al material de muestra.
- Herramientas y accesorios (bandeja metálica, espátula, balanza, un mezclador)

2.5.3. Procedimiento

- La muestra seca al aire fue pulverizada.
- Se preparó un espécimen de 6000 gr. con 10 % de humedad en peso seco y se removió la muestra hasta obtener un color uniforme, para luego dividir la muestra en cuatro partes proporcionalmente iguales que conformarán cada capa respectiva de la compactación.

- Se procedió a determinar el peso y el volumen del Proctor más su base para luego ensamblarlo con el collar.
- De la muestra dividida se tomó una de las partes para colocarla en el molde Proctor y así formar la primera capa para la compactación con 56 golpes a razón de 25 golpes/por capa. Este proceso se repitió para cada una de las cuatro partes restantes escarpando y retirando el suelo restante antes de cada capa.
- Después de compactar la última capa se removió el collarín teniendo cuidado de no desgarrar el suelo del molde Proctor, y luego se enrasó el molde usando un cuchillo y una regla de metal recta adecuados de manera que se formó una superficie plana.
- Se retiró el molde de su base y se pesó cuidadosamente.

Usando el extractor de muestra se retiró la probeta del molde Proctor para tomar muestras de suelo compactado para la determinación de la humedad según norma ASTM d 2216-71

2.6. Evaluación Valor Soporte de California (CBR)

Para la evaluación de las características del material al ser sometido a humedad se utilizó la norma AASHTO T 193, el cual consiste en la extracción de muestras, utilizando maquinaria, equipo y personal, que luego serán analizado en laboratorio para conocer el potencial de resistencia que se tiene en la subrasante, previo a colocar el geotextil.

En la figura 3, muestra el ensayo de extracción de muestra que dará a conocer el valor soporte del material existente sometido a humedad que a su vez proporcionará el índice de plasticidad previo a la colocación de un geotextil no tejido que cubra la subrasante, con el propósito de evitar que haya filtración

de humedad y por consiguiente que se evite la contaminación con finos en las capas de material de la estructura del pavimento.

2.6.1. Normas aplicables

AASHTO T 193-93

2.6.2. Materiales

- Prensa similar a las usadas en ensayos de compresión.
- Molde, de metal, cilíndrico, de 152,4 mm \pm 0.66 mm (6 \pm 0.026") de diámetro interior y de 177,8 \pm 0.66 mm (7 \pm 0.026") de altura, provisto de un collar suplementario de 51 mm (2.0") de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm (3/8") de espesor.
 - Disco espaciador, circular, de metal, de 150.8 mm de diámetro y de 50.8 mm (2") de espesor.
 - Una placa de metal perforada, por cada molde, de 149.2 mm (5 7/8") de diámetro.
 - Un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde.
 - Sobrecargas metálicas.
 - Pistón de penetración, cilíndrico, metálico de 49.6 mm de diámetro.
 - Dos diales (deformímetros).
 - Tanque, con capacidad suficiente para la inmersión de los moldes en agua.
 - Horno.
 - Balanzas, una de 20 kg de capacidad, y otra de 1000 g con sensibilidades de 2 g y 0.1 g respectivamente.
 - Tamices, de 4.75 mm (No.4) y de 19.0 mm (3/4").

2.6.3. Procedimiento

- Determinar la cantidad óptima de humedad y la máxima densidad de las muestras de suelo mediante la ejecución del ensayo Proctor, que puede ser en su versión normal o modificada.
- Añadir agua a una muestra de suelo hasta alcanzar el nivel de humedad óptimo deseado.
- Compactar la muestra en tres moldes CBR que cumplen con las dimensiones estándar de 15,24 cm de diámetro y 17,78 cm de altura.
- La compactación se realiza en tres capas por molde, y se utiliza una maza de 2,5 kg que se deja caer desde una altura de 305 mm para aplicar una energía de compactación específica, que puede ser de 15, 30 o 60 golpes por capa.
- Luego, se nivelan los moldes, se desmontan y se vuelven a montar, pero esta vez en sentido inverso.
- Los moldes se sumergen en agua (aunque en algunas variantes del ensayo, esto no es necesario).
- Se instala una placa perforada y un vástago en los moldes, junto con los pesos necesarios para calcular la sobrecarga calculada.
- Se coloca un trípode de medición en el borde del molde, asegurando que el vástago coincida con el punto de referencia del micro comparador.
- Se toman mediciones diarias con el micro comparador durante un período de al menos 4 días.
- Luego, se retira la muestra del agua, se drena y se seca por fuera.
- Se aplica una carga en el pistón de penetración utilizando una prensa CBR, y se registran las lecturas de la curva de presión-penetración.

Una vez concluido el ensayo, los resultados se deben presentar en un gráfico que muestre la relación entre la densidad seca y el índice CBR.

También es importante incluir los datos relativos a la compactación, la humedad, la densidad, la expansión y la absorción del suelo.

Figura 3. *Extracción de muestras para análisis de laboratorio*



Fuente: [fotografía de Marco Altán]. (km. 149+450 entre Godínez y San Lucas Tolimán, 2023), colección particular, Guatemala.

2.7. Método del cono de arena.

Un método veloz y conveniente para medir el contenido de humedad en los materiales involucra la aplicación de la norma AASHTO T 191. Esta técnica implica la determinación de la humedad en el terreno utilizando un cono y arena. Su propósito principal es la comparación entre los niveles de humedad obtenidos en el lugar de trabajo y los que se logran en un laboratorio.

Este procedimiento se convierte en una herramienta esencial para analizar cómo varía el contenido de humedad en las capas de subrasante y subbase antes de la colocación del geotextil. Después de la instalación del geotextil, se realiza una segunda medición de humedad en ambas capas para evaluar los cambios en el tiempo.

En la figura 4, se muestra la toma de densidad de campo tomada en la subrasante, mismo método utilizado en la subbase, se muestra el equipo y el laboratorista de campo.

Figura 4. *Extracción de muestras para densidades de campo*



Fuente: [fotografía de Marco Altán]. (km. 149+420, 149+470 entre Godínez y San Lucas Tolimán, 2023), colección particular, Guatemala.

2.7.1. Equipo y materiales

- Cilindro metálico
- Bandeja metálica
- Placa base metálica con un cilindro hueco.
- Dos bolsas de arena calibrada o arena Ottawa.
- Cíncel de acero.
- Cuchara.,
- Brocha de 4"
- Mazo de dos libras y medio de peso
- Taras para el contenido de humedad.
- Balanza con capacidad de 2kg.
- Balanza con capacidad de 25 kg.
- Cono de arena
- Picnómetro
- Un Speedy

2.7.2. Procedimiento

- Se obtuvo los pesos del cono, con la arena a utilizar.
- Colocar el cono sobre la placa base (el hueco de la placa base debe coincidir con el cono). Verificar que la válvula de pase esté cerrada. Abrir la válvula de pase y dejar caer la arena hacia el cono inferior y el suelo. Cuando la arena deje de verter, cerrar la válvula.
- Se volvió a pesar la arena sobrante en el cono.
- Se coloca la placa base en situ y se comienza a excavar sobre el suelo con ayuda del mazo y del cincel hasta una profundidad de 10 a 15 cm y todo lo excavado de la placa base se coloca en un recipiente para poder pesar la muestra.
- Se coloca el cono sobre la placa base habra la válvula de pase y deje que la arena fluya hacia la parte inferior del cono y el hueco (excavado) hasta llenar estos. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula y la arena sobrante se vuelve a pesar junto con el cono.
- Retirar de la excavación la arena usada y deposítela en un balde para que sea lavada y se volverá a cribar para usar en otro ensayo.
- Se pesa el peso húmedo del suelo excavado en la balanza de precisión y se anota su peso. Después de esto la muestra se seca al aire libre para saber el peso de la muestra seca.

Figura 5, se presenta el tendido del geotextil, se dejó un tiempo permisible de 30 días para conocer el comportamiento de la humedad en la subbase de la estructura del pavimento.

Figura 5. *Colocación de geotextil en subrasante*



Fuente: [fotografía de Marco Altán]. (km. 136+470 entre Godínez y San Lucas Tolimán, 2023), colección particular, Guatemala.

Figura 6. *Esquema de la colocación de geotextil sobre la subrasante*



Fuente: Elaboración propia utilizando Word

3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

3.1. Análisis granulométrico en suelos (AASHTO T27; T11)

A continuación, se presentan los resultados del análisis granulométrico en suelos (AASHTO T 27 Y T 11).

3.1.1. Resultados

En las tablas se presentan los valores de los materiales presentes en una población de material de subrasante, estos se comparan con otras muestras extraídas con las mismas características.

Tabla 1. Análisis Granulométrico Grupo 1, estación (149+350)

Malla		Peso Bruto Retenido	Peso Neto Retenido	% Retenido	% que pasa	Observaciones	
3"	75.000 mm					> 2 mm	41.9%
2 1/2"	63.000 mm					Arena gruesa	27.5%
2"	50.000 mm					Arena Fina	22.5%
1 1/2"	38.100 mm					Limo	
1"	25.000 mm	69.20	69.20	5.5%	94.5%	Arcilla	
3/4"	19.000 mm	114.80	114.80	9.2%	90.8%	Coloides	
1/2"	12.500 mm	146.20	146.20	11.7%	88.3%	% Humedad	20.7
3/8"	9.500 mm	208.70	208.70	16.7%	83.3%	LL	29.4%
No. 4	4.750 mm	333.00	333.00	26.6%	73.4%	LP	22.9%
No. 10	2.000 mm	525.20	525.20	41.9%	58.1%	IP	6.5%
No. 40	0.425 mm	869.00	869.00	69.4%	30.6%	IG	0
No.200	0.075 mm	1,151.20	1151.20	91.9%	8.1%		

Descripción: En esta tabla, se presenta el análisis de fracción retenida en malla 10

Fuente: Elaboración Propia utilizando Excel

Se efectuó el método de tamizado para conocer el tamaño de las partículas presentes en el análisis de fracción retenida en la malla No.10 para una muestra de 1252.20 gr. utilizando los tamices de 3" (75.000 mm) a No.

200 (0.075 mm), se obtuvo el mayor porcentaje de retenido para el tamiz de 1" de 94.5 %, y para la clasificación para un diámetro mayor a 2 mm del tamiz no. 10. fue de 41.9 %, por lo que se puede definir que la muestra presenta una arena gruesa de 27.5 % y un 22.5 % de arena fina.

Tabla 2. Granulométrico Grupo 1, estación (149+450)

Malla		Peso Bruto Retenido	Peso Neto Retenido	% Retenido	% que pasa	Observaciones	
3"	75.000 mm					> 2 mm	32.5%
2 1/2"	63.000 mm					Arena gruesa	24.5%
2"	50.000 mm					Arena Fina	21.1%
1 1/2"	38.100 mm					Limo	
1"	25.000 mm	42.60	42.60	3.1%	96.9%	Arcilla	
3/4"	19.000 mm	61.50	61.50	4.5%	95.5%	Coloides	
1/2"	12.500 mm	101.50	101.50	7.5%	92.5%	% Humedad	20.5
3/8"	9.500 mm	135.10	135.10	10.0%	90.0%	LL	28.7%
No. 4	4.750 mm	237.20	237.20	17.5%	82.5%	LP	21.4%
No. 10	2.000 mm	440.00	440.00	32.5%	67.5%	IP	7.3%
No. 40	0.425 mm	771.70	771.70	57.0%	43.0%	IG	0
No.200	0.075 mm	1,057.20	1057.20	78.2%	21.8%		

Descripción: En esta tabla, se presenta el análisis de fracción retenida en malla 10

Fuente: Elaboración Propia utilizando Excel

Se efectuó el método de tamizado para conocer el tamaño de las partículas presentes en el análisis de fracción retenida en la malla No.10 para una muestra de 1352.70 gr. utilizando los tamices de 3" (75.000 mm) a No. 200 (0.075 mm), se obtuvo el mayor porcentaje de retenido para el tamiz de 1" de 96.9 %, y para la clasificación para un diámetro mayor a 2 mm del tamiz no. 10. fue de 32.5 %, por lo que se puede definir que la muestra presenta una arena gruesa de 24.5 % y un 21.1 % de arena fina.

Tabla 3. Análisis Granulométrico Grupo 1, estación (149+490)

Malla		Peso Bruto Retenido	Peso Neto Retenido	% Retenido	% que pasa	Observaciones
3"	75.000 mm					> 2 mm 30.8%
2 1/2"	63.000 mm					Arena gruesa 26.1%
2"	50.000 mm					Arena Fina 24.0%
1 1/2"	38.100 mm					Limo
1"	25.000 mm	12.00	12.00	0.9%	99.1%	Arcilla
3/4"	19.000 mm	30.00	30.00	2.3%	97.7%	Coloides
1/2"	12.500 mm	54.10	54.10	4.1%	95.9%	% Humedad 23.2
3/8"	9.500 mm	93.20	93.20	7.0%	93.0%	LL 26.2%
No. 4	4.750 mm	219.50	219.50	16.6%	83.4%	LP 20.8%
No. 10	2.000 mm	407.30	407.30	30.8%	69.2%	IP 5.4%
No. 40	0.425 mm	752.40	752.40	56.8%	43.2%	IG 0
No.200	0.075 mm	1,069.80	1069.80	80.8%	19.2%	

Descripción: En esta tabla, se presenta el análisis de fracción retenida en malla 10

Fuente: Elaboración Propia utilizando Excel

Se efectuó el método de tamizado para conocer el tamaño de las partículas presentes en el análisis de fracción retenida en la malla No.10 para una muestra de 1324.00 gr. utilizando los tamices de 3" (75.000 mm) a No. 200 (0.075 mm), se obtuvo el mayor porcentaje de retenido para el tamiz de 1" de 99.1 %, y para la clasificación para un diámetro mayor a 2 mm del tamiz no. 10. fue de 30.8 %, por lo que se puede definir que la muestra presenta una arena gruesa de 26.1 % y un 24.0 % de arena fina.

3.2. Límites de Atterberg (AASHTO T 89-96, T 90-96)

A continuación, se presentan los resultados de límites de Atterberg (AASHTO T 89-96, T 90-96)

3.2.1. Resultados

En la tabla se presenta los límites de humedad dentro del cual la muestra de suelo de la subrasante cambia de una consistencia a otra, esto se

efectúa utilizando la cuchara de Casagrande 25 veces desde una altura de 1cm. Estos resultados se compararán con otras muestras que se extrajeron del área en estudio para conocer mejor el comportamiento del material.

Tabla 4. Límite de Atterberg Grupo 2, estación (149+350)

Límites de Atterberg	Límite Líquido				Limite Plástico			
Prueba No.	1	2	3	4	1	2	3	4
No. de Golpes	45	24	15					
Peso Suelo Húmedo + Tara	34.25	36.23	35.20		17.79	17.70		
Peso Suelo Seco + Tara	30.10	32.15	31.15		17.20	17.08		
Peso del Agua	4.15	4.08	4.05		0.59	0.62		
Peso de la Tara	15.15	18.26	18.22		14.59	14.41		
Peso del Suelo Seco	14.95	13.89	12.93		2.61	2.67		
Contenido de Agua	27.8%	29.4%	31.3%		22.6%	23.2%		

Descripción: En esta tabla se presentan los límites de consistencia tanto de líquido como plástico

Para conocer mejor las características del material analizado se realizaron ensayos de laboratorio para determinar si corresponde al límite líquido o plástico y para ello se tomaron 3 muestras que al ser ensayados en laboratorio para límite líquido, fueron sometidos a 45 golpes dando una humedad de 27.8 % de agua, a 24 golpes con 29.4 % de agua y a 15 golpes con 31.3 % de agua, para el límite plástico de 2 muestras que se ensayaron se obtuvo una humedad de 22.6 % de agua y una humedad de 23.2 % de agua. El ensayo de límite líquido se efectuó usando la copa de Casagrande de Atterberg.

Tabla 5. Límite de Atterberg Grupo 2, estación (149+450)

Límites de Atterberg	Límite Líquido				Límite Plástico			
Prueba No.	1	2	3	4	1	2	3	4
No. de Golpes	44	25	15					
Peso Suelo Húmedo + Tara	33.95	34.78	35.31		21.94	21.83		
Peso Suelo Seco + Tara	29.90	30.40	31.30		21.29	21.21		
Peso del Agua	4.05	4.38	4.01		0.65	0.62		
Peso de la Tara	14.54	15.16	18.25		18.28	18.29		
Peso del Suelo Seco	15.36	15.24	13.05		3.01	2.92		
Contenido de Agua	26.4%	28.7%	30.7%		21.6%	21.2%		

Descripción: En esta tabla se presentan los límites de consistencia tanto de líquido como plástico.

Para conocer mejor las características del material analizado se realizaron ensayos de laboratorio para determinar si corresponde al límite líquido o plástico y para ello se tomaron 3 muestras que al ser ensayados en laboratorio para límite líquido, fueron sometidos a 44 golpes dando una humedad de 26.4 % de agua, a 25 golpes con 28.7 % de agua y a 15 golpes con 30.7 % de agua, para el límite plástico de 2 muestras que se ensayaron se obtuvo una humedad de 21.6 % de agua y una humedad de 21.2 % de agua. El ensayo de límite líquido se efectuó usando la copa de Casagrande de Atterberg.

Tabla 6. Límite de Atterberg Grupo 3, estación (149+490)

Límites de Atterberg	Límite Líquido				Límite Plástico			
Prueba No.	1	2	3	4	1	2	3	4
No. de Golpes	43	24	16					
Peso Suelo Húmedo + Tara	32.92	40.65	36.94		26.49	26.26		
Peso Suelo Seco + Tara	30.16	36.00	32.10		25.08	24.88		
Peso del Agua	2.76	4.65	4.84		1.41	1.38		
Peso de la Tara	18.36	18.27	15.50		18.28	18.28		
Peso del Suelo Seco	11.80	17.73	16.60		6.80	6.60		
Contenido de Agua	23.4%	26.2%	29.2%		20.7%	20.9%		

Descripción: En esta tabla se presentan los límites de consistencia tanto de líquido como plástico

Para conocer mejor las características del material analizado se realizaron ensayos de laboratorio para determinar si corresponde al límite líquido o plástico y para ello se tomaron 3 muestras que al ser ensayados en laboratorio para límite líquido, fueron sometidos a 43 golpes dando una humedad de 23.4 % de agua, a 24 golpes con 26.2 % de agua y a 16 golpes con 29.2 % de agua, para el límite plástico de 2 muestras que se ensayaron se obtuvo una humedad de 20.7 % de agua y una humedad de 20.9 % de agua. El ensayo de límite líquido se efectuó usando la copa de Casagrande de Atterberg.

3.3. Peso unitario de los agregados AASHTO T 19

A continuación, se presentan los resultados del peso unitario de los agregados AASHTO T 19 (ASTM C 29).

3.3.1. Resultados

En la tabla se presentan los pesos de los materiales presentes en la muestra obtenida de la subrasante que se comparan con otras poblaciones de materiales con las mismas características para que sean comparados utilizando las normas respectivas para este ensayo.

Tabla 7. Peso Unitario de los Agregados Grupo 1, (149+350)

Descripción de la muestra		Grava mal graduada ligeramente arcillosa						
Peso de Molde, g		1,790.0			Volumen de Molde (cc)			2,776
Tipo de ensayo		Peso Suelto			Peso Varillado			
Punto		1	2	3	1	2	3	
Peso de Masa + Molde	g	5482	5496	5489	5860	5849	5855	
Peso de Masa	g	3692	3706	3699	4070	4059	4065	
Peso unitario	g/cc	1.330	1.335	1.332	1.466	1.462	1.464	
Promedios	g/cc	1.332			1.464			
Promedios	lb/pie³	83.18			91.41			
Absorción (AASHTO T84 ó T85)					23.0%			
Gravedad Específica (AASHTO T 84 ó T 85)					2.14			
Peso Unitario Suelto (SSS)					1.639 g/cc	102.32 lb/pie³		
Peso Unitario Varillado (SSS)					1.801 g/cc	112.43 lb/pie³		
Vacíos en Material Suelto					37.5%			
Vacíos en Material Compactado					31.3%			
Peso Suelo Húmedo + Tara	g				99.8			
Peso Suelo Seco + Tara	g				92.2			
Tara	g				55.4			
Contenido de Humedad Nat.	%				20.7			

Descripción: En esta tabla se presentan los pesos que tiene cada material tanto suelto como compactado

Para obtener los resultados obtenidos de una muestra de grava mal graduada ligeramente arcillosa, se efectuaron 2 tipos de ensayo el de peso suelto y el de peso varillado, tomando 3 muestras de material para cada ensayo y con pesos variables, y con datos de pesos específicos o unitarios, dando como resultados en un promedio de g/cc, en peso suelto 1.332 o 83.18 Lb/p3, con un promedio en de g/cc en peso varillado de 1.464 o 91.41 Lb/p3; en base a estos resultados podemos obtener una gravedad específica de 2.14 y un porcentaje de absorción según AASHTO T 84 Y T 85 de 23 %, contenido de humedad natural de 20.7

Tabla 8. Peso Unitario de los Agregados Grupo 2, (149+450)

Descripción de la muestra		Grava mal graduada ligeramente arcillosa					
Peso de Molde, g		1,790.0			Volumen de Molde (cc)		
Tipo de ensayo		Peso Suelto			Peso Varillado		
Punto		1	2	3	1	2	3
Peso de Masa + Molde	g	5290	5281	5288	5708	5716	5713
Peso de Masa	g	3500	3491	3498	3918	3926	3923
Peso unitario	g/cc	1.261	1.258	1.260	1.411	1.414	1.413
Promedios	g/cc	1.259			1.413		
Promedios	lb/pe ³	78.63			88.21		

Absorción (AASHTO T84 ó T85)	23.0%	
Gravedad Específica (AASHTO T 84 ó T 85)	2.14	
Peso Unitario Suelto (SSS)	1.549 g/cc	96.71 lb/pe ³
Peso Unitario Varillado (SSS)	1.738 g/cc	108.49 lb/pe ³
Vacios en Material Suelto	40.9%	
Vacios en Material Compactado	33.7%	

Peso Suelo Húmedo + Tara	g	154.1
Peso Suelo Seco + Tara	g	137.3
Tara	g	55.5
Contenido de Humedad Nat.	%	20.5

Descripción: En esta tabla se presentan los pesos que tiene cada material tanto suelto como compactado

Para obtener los resultados obtenidos de una muestra de grava mal graduada ligeramente arcillosa, se efectuaron 2 tipos de ensayo el de peso suelto y el de peso varillado, tomando 3 muestras de material para cada ensayo y con pesos variables, y con datos de pesos específicos o unitarios, dando como resultados en un promedio de g/cc, en peso suelto 1.259 o 78.63 Lb/p³, con un promedio en de g/cc en peso varillado de 1.413 o 88.21 Lb/p³; en base a estos resultados podemos obtener una gravedad especifica de 2.14 y un porcentaje de absorción según AASHTO T 84 Y T 85 de 23 %, contenido de humedad natural de 20.5

Tabla 9. Peso Unitario de los Agregados Grupo 3, (149+490).

Descripción de la muestra		Grava mal graduada ligeramente arcillosa					
Peso de Molde, g		1,790.0			Volumen de Molde (cc)		
					2,776		
Tipo de ensayo		Peso Suelto			Peso Varillado		
Punto		1	2	3	1	2	3
Peso de Masa + Molde	g	5008	5018	5013	5398	5386	5391
Peso de Masa	g	3218	3228	3223	3608	3596	3601
Peso unitario	g/cc	1.159	1.163	1.161	1.300	1.295	1.297
Promedios	g/cc	1.161			1.297		
Promedios	lb/pie³	72.48			81.00		

Absorción (AASHTO T84 ó T85)	23.0%
Gravedad Específica (AASHTO T 84 ó T 85)	2.14
Peso Unitario Suelto (SSS)	1.428 g/cc 89.15 lb/pie³
Peso Unitario Varillado (SSS)	1.596 g/cc 99.63 lb/pie³
Vacios en Material Suelto	45.5%
Vacios en Material Compactado	39.1%

Peso Suelo Húmedo + Tara	g	120.8
Peso Suelo Seco + Tara	g	108.5
Tara	g	55.5
Contenido de Humedad Nat.	%	23.2

Descripción: En esta tabla se presentan los pesos que tiene cada material tanto suelto como compactado

Para obtener los resultados obtenidos de una muestra de grava mal graduada ligeramente arcillosa, se efectuaron 2 tipos de ensayo el de peso suelto y el de peso varillado, tomando 3 muestras de material para cada ensayo y con pesos variables, y con datos de pesos específicos o unitarios, dando como resultados en un promedio de g/cc, en peso suelto 1.161 o 72.48 Lb/p3, con un promedio en de g/cc en peso varillado de 1.297 o 81.00 Lb/p3; en base a estos resultados podemos obtener una gravedad especifica de 2.14 y un porcentaje de absorción según AASHTO T 84 Y T 85 de 23 %, contenido de humedad natural de 23.2

3.4. Compactación Proctor modificado (AASHTO T 180)

A continuación, se presentan los resultados de la determinación de porcentajes de vacíos en la compactación Proctor modificado (AASHTO T 99 O AASHTO T 180).

3.4.1. Resultados

En las tablas se presentan datos de los materiales extraídos en campo para ser ensayados en laboratorio, y en los que se presentan las características de cada uno para luego ser comparados con otras muestras extraídas para el estudio.

Tabla 10. Proctor Modificado Grupo 1, estación (149+350).

Norma y Método de Compactación: AASHTO T 180-C				No. de capas: 5		No. de golpes por capa:		25	
Volumen del Molde (cm³): 929.0				Peso de Molde (g): 4,180					
Punto			1	2	3	4	5	6	
Contenido de Humedad deseado		%	8%	10.0%	12.0%	14.0%			
Contenido de Humedad Inicial		%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%			
Contenido de humedad adicional		%	3.0%	5.0%	7.0%	9.0%			
Peso de Muestra Inicial Húmeda		g	3,000	3,000	3,000	3,000			
Peso de Muestra Inicial Seca		g	2,857.14	2,857.14	2,857.14	2,857.14			
Volumen de agua adicional		cc	85.71	142.86	200.00	257.14			
Peso Suelo Húmedo + Molde		g	6,053	6,136	6,160	6,160			
Peso Suelo Húmedo		g	1,873	1,956	1,980	1,980			
Contenido de Humedad		%	17.0	19.3	21.2	23.2			
Peso Suelo Húmedo + Tara		g	110.50	106.80	92.60	108.80			
Peso Suelo Seco + Tara		g	102.50	98.50	86.10	98.50			
Tara		g	55.40	55.40	55.40	54.10			
Peso unitario total (Húmedo), γt		g/cc	2.016	2.105	2.131	2.131			
Peso unitario seco, γd		g/cc	1.723	1.765	1.759	1.730			
Peso unitario seco, γd		g/cc	107.6	110.2	109.8	108.0			

Descripción: En esta tabla se presentan los resultados de la obtención de muestras de los suelos compactados

Para este ensayo se toman 2857.14 g de material seco al que se le agrega un 2 % de agua al contenido de humedad deseado dando un volumen de agua adicional de 85.71 cc, al usar el cilindro Proctor se procede a realizarle 25 golpes con el mazo movilizad (AASHTO T 180) a cada capa dando una humedad de 17 %, este proceso se repite por 4 veces más hasta que el material se deflacte. Las humedades obtenidas para cada caso fueron de 19.3 %, 21.2 % y 23.2 % respectivamente.

Tabla 11. Proctor Modificado Grupo 2, estación (149+450).

Norma y Método de Compactación:		AASHTO T 180-C		No. de capas:	5	No. de golpes por capa:	25
Volumen del Molde (cm ³):		929.0		Peso de Molde (g):		4,180	
Punto		1	2	3	4	5	6
Contenido de Humedad deseado	%	8%	10.0%	12.0%	14.0%		
Contenido de Humedad Inicial	%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%		
Contenido de humedad adicional	%	3.0%	5.0%	7.0%	9.0%		
Peso de Muestra Inicial Húmeda	g	3,000	3,000	3,000	3,000		
Peso de Muestra Inicial Seca	g	2,857.14	2,857.14	2,857.14	2,857.14		
Volumen de agua adicional	cc	85.71	142.86	200.00	257.14		
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	5,950	6,030	6,090	6,080		
Peso Suelo Húmedo	g	1,770	1,850	1,910	1,900		
Contenido de Humedad	%	15.9	18.2	20.8	24.2		
Peso Suelo Húmedo + Tara	g	115.20	118.50	99.10	108.30		
Peso Suelo Seco + Tara	g	107.00	108.80	91.60	98.00		
Tara	g	55.50	55.50	55.50	55.50		
Peso unitario total (Húmedo), gt	g/cc	1.905	1.991	2.056	2.045		
Peso unitario seco, γ _d	g/cc	1.644	1.685	1.702	1.646		
Peso unitario seco, γ _d	g/cc	102.6	105.2	106.3	102.8		

Descripción: En esta tabla se presentan los resultados de la obtención de muestras de los suelos compactados

Para este ensayo se toman 2857.14 g de material seco al que se le agrega un 2 % de agua al contenido de humedad deseado dando un volumen de agua adicional de 85.71 cc, al usar el cilindro Proctor se procede a realizarle 25 golpes con el mazo movilizado (AASHTO T 180) a cada capa dando una humedad de 15.9 %, este proceso se repite por 4 veces más hasta que el material se deflacte. Las humedades obtenidas para cada caso fueron de 18.2 %, 20.8 % y 24.2 % respectivamente.

Tabla 12. Proctor Modificado Grupo 3, estación (149+490).

Norma y Método de Compactación:		AASHTO T 180-C		No. de capas:	5	No. de golpes por capa:	25
Volumen del Molde (cm ³):		929.0		Peso de Molde (g):		4,180	
Punto		1	2	3	4	5	6
Contenido de Humedad deseado	%	8%	10.0%	12.0%	14.0%		
Contenido de Humedad Inicial	%	5.0%	5.0%	5.0%	5.0%		
Contenido de humedad adicional	%	3.0%	5.0%	7.0%	9.0%		
Peso de Muestra Inicial Húmeda	g	3,000	3,000	3,000	3,000		
Peso de Muestra Inicial Seca	g	2,857.14	2,857.14	2,857.14	2,857.14		
Volumen de agua adicional	cc	85.71	142.86	200.00	257.14		
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	5,910	5,990	6,044	6,040		
Peso Suelo Húmedo	g	1,730	1,810	1,864	1,860		
Contenido de Humedad	%	17.4	19.9	23.2	25.7		
Peso Suelo Húmedo + Tara	g	127.70	122.50	120.80	131.90		
Peso Suelo Seco + Tara	g	117.00	111.40	108.50	116.30		
Tara	g	55.50	55.50	55.50	55.50		
Peso unitario total (Húmedo), gt	g/cc	1.862	1.948	2.006	2.002		
Peso unitario seco, γ _d	g/cc	1.586	1.626	1.629	1.593		
Peso unitario seco, γ _d	g/cc	99.0	101.5	101.7	99.5		

Descripción: En esta tabla se presentan los resultados de la obtención de muestras de los suelos compactados

Para este ensayo se toman 2857.14 g de material seco al que se le agrega un 2 % de agua al contenido de humedad deseado dando un volumen de agua adicional de 85.71 cc, al usar el cilindro Proctor se procede a realizarle 25 golpes con el mazo movlizado (AASHTO T 180) a cada capa dando una humedad de 17.4 %, este proceso se repite por 4 veces más hasta que el material se deflacte. Las humedades obtenidas para cada caso fueron de 19.9 %, 23.3 % y 25.7 % respectivamente.

3.5. Valor soporte california (CBR) AASHTO T 193-93

A continuación, se presentan los resultados del valor soporte california (CBR) AASHTO T 193-99

3.5.1. Resultados

En las tablas se presentan los niveles de saturación de los materiales y el valor de hinchamiento, así como los valores de CBR para definir la penetración y resistencia de las muestras, que luego serán comparadas con otros materiales de similares características.

Tabla 13. Humedad y Densidad de las muestras, Grupo 1, (149+350)

Molde No.	1	2	3	1	2	3
No. de Golpes por capa	65	30	10	65	30	10
Condiciones de la muestra	Antes de Saturación (Inicio)			Despues de saturación (Final)		
Peso Suelo Húmedo + Molde (gr)	11,600	11,250	10,715	11,740	11,402	10,900
Peso del Molde (gr)	7,172	7,002	6,673	7,172	7,002	6,673
Peso del Suelo Húmedo (gr)	4,428	4,248	4,042	4,568	4,400	4,227
Volumen del Suelo: CC	2,105	2,105	2,105	2,105	2,105	2,105
Densidad Húmeda: kg/m³	2104	2018	1920	2170	2090	2008
Peso Lata + Suelo Húmedo (gr)	131.10	131.10	131.10	151.20	160.20	149.90
Pesa Lata + Suelo Seco (gr)	117.90	117.90	117.90	133.40	141.00	131.30
Peso de la Lata (gr)	52.50	52.50	52.50	49.90	55.20	53.20
Peso de Agua (gr)	13.20	13.20	13.20	17.80	19.20	18.60
Peso del suelo Seco (gr)	65.40	65.40	65.40	83.50	85.80	78.10
% de Humedad	20.2%	20.2%	20.2%	21.3%	22.4%	23.8%
Densidad Seca: kg/m³	1750	1679	1598	1789	1708	1622

Descripción: En esta tabla se presentan los índices de humedad de las muestras ensayadas

Los ensayos efectuados a la muestra de material presentan resultados óptimos en el ensayo de humedad y densidad del material antes de la saturación ensayado en el molde de 65 golpes por capa se obtuvo un 20.2 % de humedad y una densidad 1750 kg/m³, en el molde de 30 golpes por capa se obtuvo una humedad de 20.2 % y una densidad de 1679 kg/m³, y en el molde de 10 golpes por capa con una humedad del 20.2 % y densidad de 1598 kg/m³, después de la saturación se ensayó en molde de 65 golpes por capa y se obtuvo 21.3 % de humedad y una densidad de 1789 kg/m³, en el molde de 30 golpes por capa una humedad de 22.4 % y densidad de 1708 kg/m³, en el molde de 10 golpes una humedad de 23.8 % y densidad de 1622 kg/m³.

Tabla 14. Hinchamiento, Grupo 1, estación (149+350).

Fecha	Hora	Tiempo hrs	Molde # 1			Molde # 2			Molde # 3		
			Lect. Def.	Hinchamiento		Lect. Def.	Hinchamiento		Lect. Def.	Hinchamiento	
				0.001 in	%		0.001 in	%		0.001 in	%
10-may-23	10:30 a. m.	0.00	50.00	0.050	0.00	50.00	0.050	0.00	50.00	0.050	0.00
11-may-23	10:30 a. m.	24.00	52.00	0.052	0.04	60.00	0.060	0.20	70.00	0.070	0.40
12-may-23	10:30 a. m.	48.00	52.00	0.052	0.04	66.00	0.066	0.32	74.00	0.074	0.48
13-may-23	10:30 a. m.	72.00	52.00	0.052	0.04	66.00	0.066	0.32	74.00	0.074	0.48
MARCA DE ANILLO: ELE			No. DE SERIE: 780060-00425			CARGA MÁXIMA : 50 KN					
MÁX. DEFLEXIÓN: 0.002 in			ÁREA DEL PISTÓN: 3.00 plg²			CONSTANTE (kg): k=9.4427*y(div)-56.6917*2.2046					

Descripción: En esta tabla se presentan los índices de hinchamiento de las muestras ensayadas

En la tabla se presentan los resultados que se tienen para 3 moldes que al evaluarse presentan valores de hinchamiento conforme pasa el tiempo en días y horas para cada muestra. Se toman los valores para cada muestra en un lapso de tiempo siendo para el molde # 1, un valor de 0.04 %, molde # 2, valor de 0.32 % y para el molde # 3, un valor de 0.48 %. Con estos resultados tomamos el valor del molde # 2, con un 0.32 %.

Tabla 15. Índice de California C.B.R, Grupo 1, estación (149+350).

Deformación		Carga Estandar	Molde No.	1	65 Golpes	Molde No.	2	30 Golpes	Molde No.	3	10 Golpes
pulg	mm	Psi	Carga de Prueba			Carga de Prueba			Carga de Prueba		
			Lectura	Carga	Psi	Lectura	Carga	Psi	Lectura	Carga	Psi
0.025	0.635		20	132	44	8	19	6	3	-28	-9
0.050	1.270		35	274	91	13	66	22	7	9	3
0.075	1.905		52	434	145	23	160	53	11	47	16
0.100	2.540	1,000	70	604	201	32	245	82	16	94	31
0.200	5.080	1,500	130	1,171	390	69	595	198	38	302	101
0.300	7.620		190	1,737	579	107	954	318	58	491	164
C.B.R. Corregido				Psi	CBR %		Psi	CBR %		Psi	CBR %
0.100 plg				209.00	20.9		103.67	10.37		60.80	6.08
0.200 plg				397.85	26.5		220.73	14.72		127.42	8.49

Descripción: En esta tabla se presentan los índices C.B.R de las muestras ensayadas

Se presentan los valores de deformación para tres pruebas de material que fueron sometidos a 65, 30 y 10 golpes, para 6 lecturas diferentes que dan resultados para el CBR de la prueba # 1, de 26.5 % y 397.85 psi, prueba # 2, de 14.72 % y 220.73 psi, prueba # 3, de 8.49 % y 127.42 psi.

Tabla 16. Humedad y Densidad de las muestras, grupo 2, (149+450)

Molde No.	1	2	3	1	2	3
No. de Golpes por capa	65	30	10	65	30	10
Condiciones de la muestra	Antes de Saturación (Inicio)			Después de saturación (Final)		
Peso Suelo Húmedo + Molde (gr)	11,450	11,328	11,101	11,625	11,493	11,291
Peso del Molde (gr)	7,141	7,178	7,207	7,141	7,178	7,207
Peso del Suelo Húmedo (gr)	4,309	4,150	3,894	4,484	4,315	4,084
Volumen del Suelo: CC	2,105	2,105	2,105	2,105	2,105	2,105
Densidad Húmeda: kg/m³	2047	1971	1850	2130	2050	1940
Peso Lata + Suelo Húmedo (gr)	142.50	142.50	142.50	150.20	149.30	155.20
Peso Lata + Suelo Seco (gr)	127.70	127.70	127.70	132.50	130.20	136.50
Peso de la Lata (gr)	55.50	55.50	55.50	52.50	49.90	62.20
Peso de Agua (gr)	14.80	14.80	14.80	17.70	19.10	18.70
Peso del suelo Seco (gr)	72.20	72.20	72.20	80.00	80.30	74.30
% de Humedad	20.5%	20.5%	20.5%	22.1%	23.8%	25.2%
Densidad Seca: kg/m³	1699	1636	1535	1744	1656	1550

Descripción: En esta tabla se presentan los índices de humedad de las muestras ensayadas

Los ensayos efectuados a la muestra de material presentan resultados óptimos en el ensayo de humedad y densidad del material antes de la saturación ensayado en el molde de 65 golpes por capa se obtuvo un 20.5 % de humedad y una densidad 1699 kg/m³, en el molde de 30 golpes por capa se obtuvo una humedad de 20.5 % y una densidad de 1636 kg/m³, y en el molde de 10 golpes por capa con una humedad del 20.5 % y densidad de 1535 kg/m³, después de la saturación se ensayó en molde de 65 golpes por capa y se obtuvo 22.1 % de humedad y una densidad de 1744 kg/m³, en el molde de 30 golpes por capa una humedad de 23.8 % y densidad de 1656 kg/m³, en el molde de 10 golpes una humedad de 25.2 % y densidad de 1550 kg/m³.

Tabla 17. Hinchamiento, grupo 2, estación (149+450)

Fecha	Hora	Tiempo hrs	Molde # 1		Molde # 2		Molde # 3	
			Lect. Def.	Hinchamiento	Lect. Def.	Hinchamiento	Lect. Def.	Hinchamiento
10-may-23	10:30 a. m.	0.00	50.00	0.050	0.00	50.00	0.050	0.00
11-may-23	10:30 a. m.	24.00	62.00	0.062	0.24	80.00	0.080	0.60
12-may-23	10:30 a. m.	48.00	65.00	0.065	0.30	82.00	0.082	0.64
13-may-23	10:30 a. m.	72.00	65.00	0.065	0.30	82.00	0.082	0.64
MARCA DE ANILLO: ELE			No. DE SERIE: 780060-00425			CARGA MÁXIMA: 50 KN		
MÁX. DEFLEXIÓN: 0.002 in			ÁREA DEL PISTÓN: 3.00 pig²			CONSTANTE (kg): k=9.4427*(div)-56.6917*2.2046		

Descripción: En esta tabla se presentan los índices de hinchamiento de las muestras ensayadas

En la tabla se presentan los resultados que se tienen para 3 moldes que al evaluarse presentan valores de hinchamiento conforme pasa el tiempo en días y horas para cada muestra. Se toman los valores para cada muestra en un lapso de tiempo siendo para el molde # 1, un valor de 0.03 %, molde # 2, valor de 0.64 % y para el molde # 3, un valor de 0.80 %. Con estos resultados tomamos el valor del molde # 2, con un 0.64 %.

Tabla 18. Índice de California C.B.R, grupo 2, estación (149+450)

Deformación		Carga Estandar	Molde No.	1	65 Golpes	Molde No.	2	30 Golpes	Molde No.	3	10 Golpes
pulg	mm	Psi	Carga de Prueba			Carga de Prueba			Carga de Prueba		
			Lectura	Carga	Psi	Lectura	Carga	Psi	Lectura	Carga	Psi
0.025	0.635		30	227	76	9	28	9	5	-9	-3
0.050	1.270		55	463	154	19	123	41	10	38	13
0.075	1.905		85	746	249	35	274	91	15	85	28
0.100	2.540	1,000	108	963	321	52	434	145	20	132	44
0.200	5.080	1,500	200	1,832	611	110	982	327	40	321	107
0.300	7.620		290	2,682	894	180	1,643	548	60	510	170
C.B.R. Corregido				Psi	CBR %		Psi	CBR %		Psi	CBR %
0.100 plg				326.62	32.7		180.88	18.09		62.98	6.30
0.200 plg				616.07	41.1		370.90	24.73		125.96	8.40

Descripción: En esta tabla se presentan los índices C.B.R de las muestras ensayadas

Se presentan los valores de deformación para tres pruebas de material que fueron sometidos a 65, 30 y 10 golpes, para 6 lecturas diferentes que dan resultados para el CBR de la prueba # 1, de 41.1 % y 616.07 psi, prueba # 2, de 24.73 % y 370.90 psi, prueba # 3, de 8.40 % y 125.96 psi.

Tabla 19. Humedad y Densidad de las muestras, grupo 3, (149+490).

Molde No.	1	2	3	1	2	3
No. de Golpes por capa	65	30	10	65	30	10
Condiciones de la muestra	Antes de Saturación (Inicio)			Después de saturación (Final)		
Peso Suelo Húmedo + Molde (gr)	11,315	11,288	10,983	11,448	11,444	11,164
Peso del Molde (gr)	7,141	7,279	7,207	7,141	7,279	7,207
Peso del Suelo Húmedo (gr)	4,174	4,009	3,776	4,307	4,165	3,957
Volumen del Suelo: CC	2,105	2,105	2,105	2,105	2,105	2,105
Densidad Húmeda: kg/m ³	1983	1905	1794	2046	1979	1880
Peso Lata + Suelo Húmedo (gr)	139.10	139.10	139.10	151.20	147.80	161.80
Peso Lata + Suelo Seco (gr)	124.00	124.00	124.00	132.20	128.90	141.90
Peso de la Lata (gr)	55.50	55.50	55.50	52.50	53.20	66.20
Peso de Agua (gr)	15.10	15.10	15.10	19.00	18.90	19.90
Peso del suelo Seco (gr)	68.50	68.50	68.50	79.70	75.70	75.70
% de Humedad	22.0%	22.0%	22.0%	23.8%	25.0%	26.3%
Densidad Seca: kg/m ³	1625	1561	1470	1652	1583	1489

Descripción: En esta tabla se presentan los índices de humedad de las muestras ensayadas

Los ensayos efectuados a la muestra de material presentan resultados óptimos en el ensayo de humedad y densidad del material antes de la saturación ensayado en el molde de 65 golpes por capa se obtuvo un 22.0 % de humedad y una densidad $1625 \frac{kg}{m^3}$, en el molde de 30 golpes por capa se obtuvo una humedad de 22.0 % y una densidad de $1561 \frac{kg}{m^3}$, y en el molde de 10 golpes por capa con una humedad del 22.0 % y densidad de $1470 \frac{kg}{m^3}$, después de la saturación se ensayó en molde de 65 golpes por capa y se obtuvo 23.8 % de humedad y una densidad de $1652 \frac{kg}{m^3}$, en el molde de 30 golpes por capa una humedad de 25.0 % y densidad de $1583 \frac{kg}{m^3}$, en el molde de 10 golpes una humedad de 26.3 % y densidad de $1489 \frac{kg}{m^3}$.

Tabla 20. Tabla de Hinchamiento, grupo 3, estación (149+490).

Fecha	Hora	Tiempo hrs	Molde # 1			Molde # 2			Molde # 3		
			Lect. Def.	Hinchamiento		Lect. Def.	Hinchamiento		Lect. Def.	Hinchamiento	
				0.001 in	%		0.001 in	%		0.001 in	%
10-may-23	10:30 a. m.	0.00	50.00	0.050	0.00	50.00	0.050	0.00	50.00	0.050	0.00
11-may-23	10:30 a. m.	24.00	64.00	0.064	0.28	78.00	0.078	0.56	92.00	0.092	0.84
12-may-23	10:30 a. m.	48.00	65.00	0.065	0.30	80.00	0.080	0.60	95.00	0.095	0.90
13-may-23	10:30 a. m.	72.00	65.00	0.065	0.30	80.00	0.080	0.60	95.00	0.095	0.90
MARCA DE ANILLO: ELE			No. DE SERIE: 780060-00425			CARGA MÁXIMA: 50 KN					
MÁX. DEFLEXIÓN: 0.002 in			ÁREA DEL PISTÓN: 3.00 plg ²			CONSTANTE (kg): $k=9.4427 \cdot y(dv)-56.8917 \cdot 2.2048$					

Descripción: En esta tabla se presentan los índices de hinchamiento de las muestras ensayadas

En la tabla se presentan los resultados que se tienen para 3 moldes que al evaluarse presentan valores de hinchamiento conforme pasa el tiempo en días y horas para cada muestra. Se toman los valores para cada muestra en un lapso de tiempo siendo para el molde # 1, un valor de 0.03 %, molde # 2, valor de 0.60 % y para el molde # 3, un valor de 0.90 %. Con estos resultados tomamos el valor del molde # 2, con un 0.60 %.

Tabla 21. Índice de California C.B.R, grupo 3, estación (149+490).

Deformación		Carga Estandar	Molde No.	1	65 Golpes	Molde No.	2	30 Golpes	Molde No.	3	10 Golpes
pulg	mm	Psi	Carga de Prueba			Carga de Prueba			Carga de Prueba		
			Lectura	Carga	Psi	Lectura	Carga	Psi	Lectura	Carga	Psi
0.025	0.635		28	208	69	9	28	9	5	-9	-3
0.050	1.270		50	415	138	20	132	44	10	38	13
0.075	1.905		75	652	217	30	227	76	15	85	28
0.100	2.540	1,000	100	888	296	44	359	120	20	132	44
0.200	5.080	1,500	190	1,737	579	92	812	271	40	321	107
0.300	7.620		265	2,446	815	140	1,265	422	60	510	170
C.B.R. Corregido				Psi	CBR %		Psi	CBR %		Psi	CBR %
0.100 plg				301.77	30.2		147.67	14.77		62.98	6.30
0.200 plg				584.07	38.9		298.75	19.92		125.96	8.40

Descripción: En esta tabla se presentan los índices C.B.R de las muestras ensayadas

Se presentan los valores de deformación para tres pruebas de material que fueron sometidos a 65, 30 y 10 golpes, para 6 lecturas diferentes que dan

resultados para el CBR de la prueba # 1, de 38.9 y 584.07 psi, prueba # 2, de 19.92 % y 298.75 psi, prueba # 3, de 8.40 % y 125.96 psi.

3.6. Método del cono de arena (AASHTO T 191)

A continuación, se presentan los resultados del método del cono de arena (AASHTO T 191).

3.6.1. Resultados

Se presentan las humedades obtenidas previas a colocar el geotextil en la subrasante y subbase para luego ser comparadas con otros resultados obtenidos en la subrasante y subbase luego de colocado el geotextil.

Tabla 22. *Determinación de Humedad en Campo Grupo 4, (149+260).*

DETERMINACION DE HUMEDAD DE CAMPO, USANDO ARENA, AASHTO T-191	
Interesado	Marco Tulio Altán Ramírez
Proyecto	RN-11-022, Entre Godines(km.136+470) Agua Escondida, desvío San Lucas Toliman (km.151+400)
Fecha de Prueba	9/05/2023
Estación	149+260
Lado	lza.
% HUMEDAD A SPEEDY	
% HUMEDAD	22.4
P.U.S. de Campo	92.4
P.U.S. de Laboratorio	101.09
% Humedad Optima	21.8
% Compactacion	90.68
No. De ensayo	1
Observaciones	Ensayo No1 efectuado a la subrasante 149+260 antes de colocar el Geotextil No Tejido.

Descripción: Tabla que presenta el porcentaje de humedad en campo, utilizando el método de cono de Arena, antes de ser colocado el geotextil.

Se presentan los resultados de humedad y compactación obtenidos en campo para la muestra de material, en la subrasante antes de ser colocado el geotextil, se utilizó el equipo de laboratorio necesario y tomo el peso unitario seco en campo del material y el peso unitario seco en laboratorio, tomando el porcentaje de humedad optima requerida. Utilizando el método de humedad a Speedy la muestra de subrasante obtuvo un valor de la humedad de 22.4 % con una compactación de 90.68 %.

Tabla 23. Determinación de Humedad en Campo Grupo 5, (149+460).

DETERMINACION DE HUMEDAD DE CAMPO, USANDO ARENA, AASHTO T-191	
Interesado	Marco Tulio Altán Ramírez
Proyecto	RN-11-022, Entre Godines(km.136+470) Agua Eescondida, desvio San Lucas Toliman (km.151+400)
Fecha de Prueba	6/07/2023
Estación	149+460
Lado	Izq.
% HUMEDAD A SPEEDY	
% HUMEDAD	16.3
P.U.S. de Campo	89.63
P.U.S. de Laboratorio	101.9
% Humedad Optima	21.8
% Compactacion	87.96
No. De ensayo	2
Observaciones	Ensayo No2 efectuado a la subrasante 149+460 despues de colocar el Geotextil No Tejido.

Descripción: Porcentaje de humedad, Método de cono de Arena, después de colocado el geotextil no tejido.

Se presentan los resultados de humedad y compactación obtenidos en campo para la muestra de material, en la subrasante después de ser colocado el geotextil, se utilizó el equipo de laboratorio necesario y tomo el peso unitario seco en campo del material y el peso unitario seco en laboratorio, tomando el porcentaje de humedad optima requerida. Utilizando el método de humedad a Speedy la muestra de subrasante obtuvo un valor de la humedad de 16.3 % con una compactación de 87.96 %.

3.7. Costos de colocar un geotextil no tejido

A continuación, la tabla 24, presenta los renglones de trabajos ejecutados, en una muestra a media sección, en donde no se encontró problemas de humedad en una longitud de 140 m. y ancho de 3 m, por lo que se efectuó el ensayo en 420 m² sin colocar un geotextil no tejido que luego se comparó con los datos de la tabla 25, en donde si se colocó un geotextil no tejido (Mirafi MPV 600) cuyo costo de compra fue de \$ 2.34 por metro cuadrado a un tipo de cambio de Q 8.00 por Dólar, que se utilizara en la integración de precio para cubrir la misma área de subrasante, Los resultados se detallan a continuación:

Tabla 24. *Costo sin colocar un geotextil no tejido en subrasante*

COSTO DE REACONDICIONAMIENTO DE SUBRASANTE SIN GEOTEXTIL NO TEJIDO					
No.	Maquinaria y equipo	Cantidad	Unidad	Precio	Total
1	Motoniveladora Cat. 140 H	8.00	h	Q 625.00	Q 5,000.00
2	Rodo Vibrocompactador Bomag. 12 ton.	5.00	h	Q 425.00	Q 2,125.00
3	Camión cisterna	1.00	dia	Q 1,300.00	Q 1,300.00
4	Estudios de Suelos	1.00	Global	Q 15,000.00	Q 15,000.00
5	Geotextil no tejido	420.00	m ²	Q -	Q -
				TOTAL	Q 23,425.00
				M2	Q 55.77

Fuente: Costo de ejecución sin geotextil no tejido, elaboración propia. Utilizando Excel.

La tabla 24. Detalla el costo de ejecución por metro cuadrado al reacondicionamiento de subrasante, sin geotextil no tejido con total de Q 55.77, al considerar que no se presenta problemas de humedad.

Tabla 25. Costo al colocar un geotextil no tejido en subrasante.

COSTO DE REACONDICIONAMIENTO DE SUBRASANTE CON GEOTEXTIL NO TEJIDO					
No.	Maquinaria y equipo	Cantidad	Unidad	Precio	Total
1	Motoniveladora Cat. 140 H	8.00	h	Q 625.00	Q 5,000.00
2	Rodo Vibrocompactador Bomag. 12 ton.	5.00	h	Q 425.00	Q 2,125.00
3	Camión cisterna	1.00	dia	Q 1,300.00	Q 1,300.00
4	Estudios de Suelos	1.00	Global	Q 15,000.00	Q 15,000.00
5	Geotextil no tejido	420.00	m2	Q 20.58	Q 8,643.60
				TOTAL	Q 32,068.60
				M2	Q 76.35

Fuente: Costo de ejecución con geotextil no tejido, elaboración propia. Utilizando Excel.

La tabla 25. Presenta el mismo ejemplo del costo de ejecución por metro cuadrado al reacondicionamiento de subrasante, al colocar un geotextil no tejido, con total de Q 76.35, ya que presenta problemas de humedad en la subrasante.

Tabla 26. Costo de suministro y colocación de geotextil no tejido

COSTO DE SUMINISTRO Y COLOCACION DE GEOTEXTIL NO TEJIDO					
No.	Materiales	Cantidad	Unidad	Precio	Total
1	Geotextil no tejido Mirafi MPV 600	420	m2	Q 18.70	Q 7,854.00
	Mano de obra				
3	Encargado	8	h	Q 37.50	Q 300.00
4	Ayudantes	24	h	Q 18.75	Q 450.00
	Herramienta				
5	Herramienta menor (5% mano de obra)	1	global	Q 37.50	Q 37.50
				TOTAL	Q 8,641.50
				m2	Q 20.58

Fuente: Costo de un geotextil no tejido, sobre la capa de subrasante, elaboración propia. Utilizando Excel.

La tabla 26. Detalle de integración de los renglones de ejecución considerado al colocar un geotextil no tejido por problemas de humedad en la subrasante, el costo del renglón por metro cuadrado es de Q 20.58.

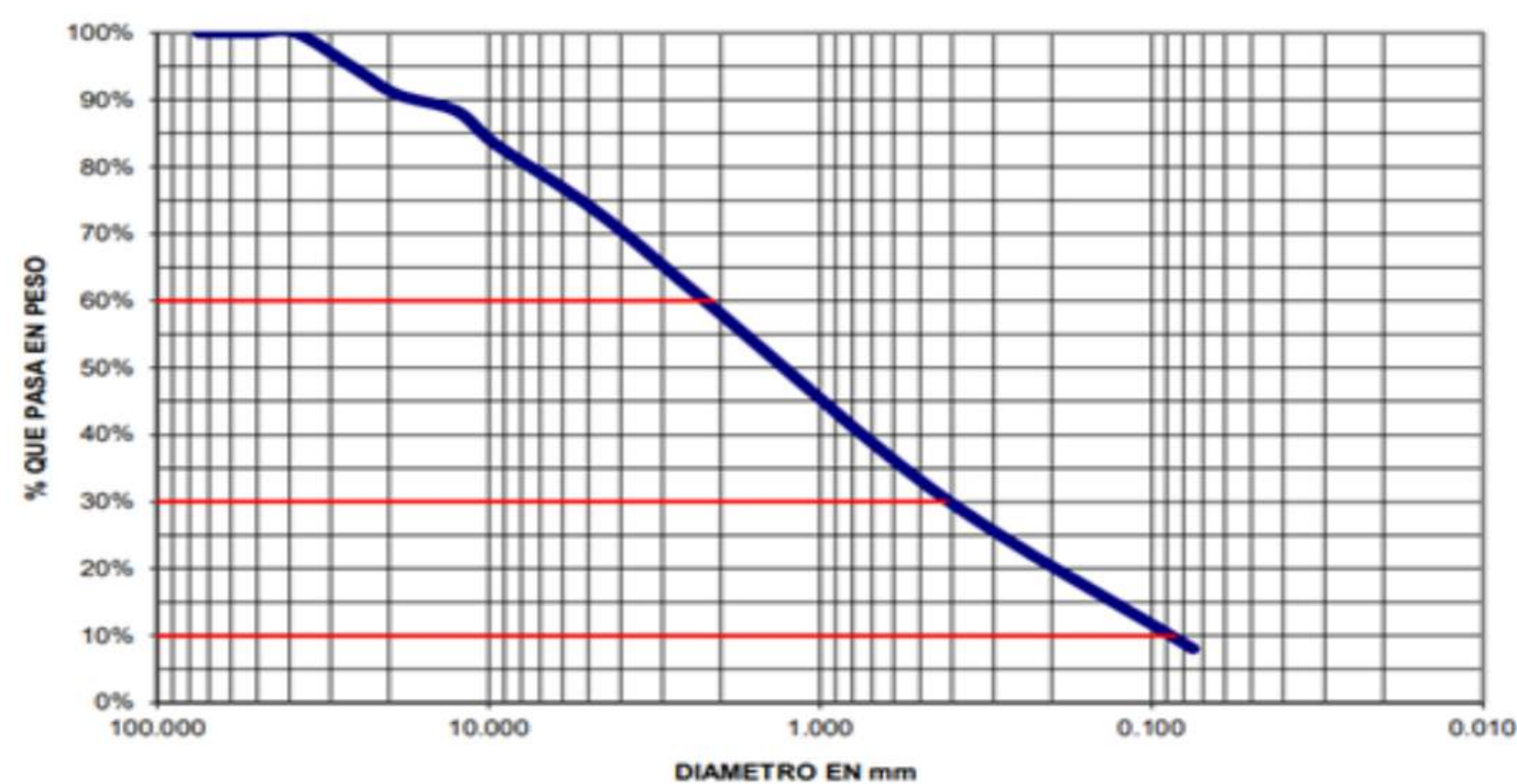
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se muestran las discusiones de los resultados presentados en el capítulo anterior.

4.1. Análisis Granulométrico, estación (149+350).

Método de análisis granulométrico mecánico, para una muestra de suelo y su interpretación en la curva logarítmica.

Figura 7. *Gráfica de análisis granulométrico AASHTO T 27 y T11*



Fuente: Elaboración propia utilizando Excel.

En la a gráfica logarítmica se representa los valores de los materiales que pasan en peso el tamiz No. 10, para diámetros mayores a 2 mm. 41.9 %, arena gruesa 27.5 % y arena fina 22.5 %

Figura 8. Sistema de clasificación de suelos AASHTO T-27 y T-11

SUCS	%
Contenido de Grava	26.6%
Contenido de Arena	65.3%
Contenido de Finos	8.1%
D ₁₀	0.085
D ₃₀	0.420
D ₆₀	2.10
C _u	24.706
C _c	0.988
Clasificación AASHTO	A - 2 - 6
Clasificación SUCS	GP - GC
Descripción del suelo: GRUPO Suelos de Partículas Gruesas SUB-GRUPO Gravas (caso límite requiere símbolo doble) Grava mal graduada ligeramente arcillosa	

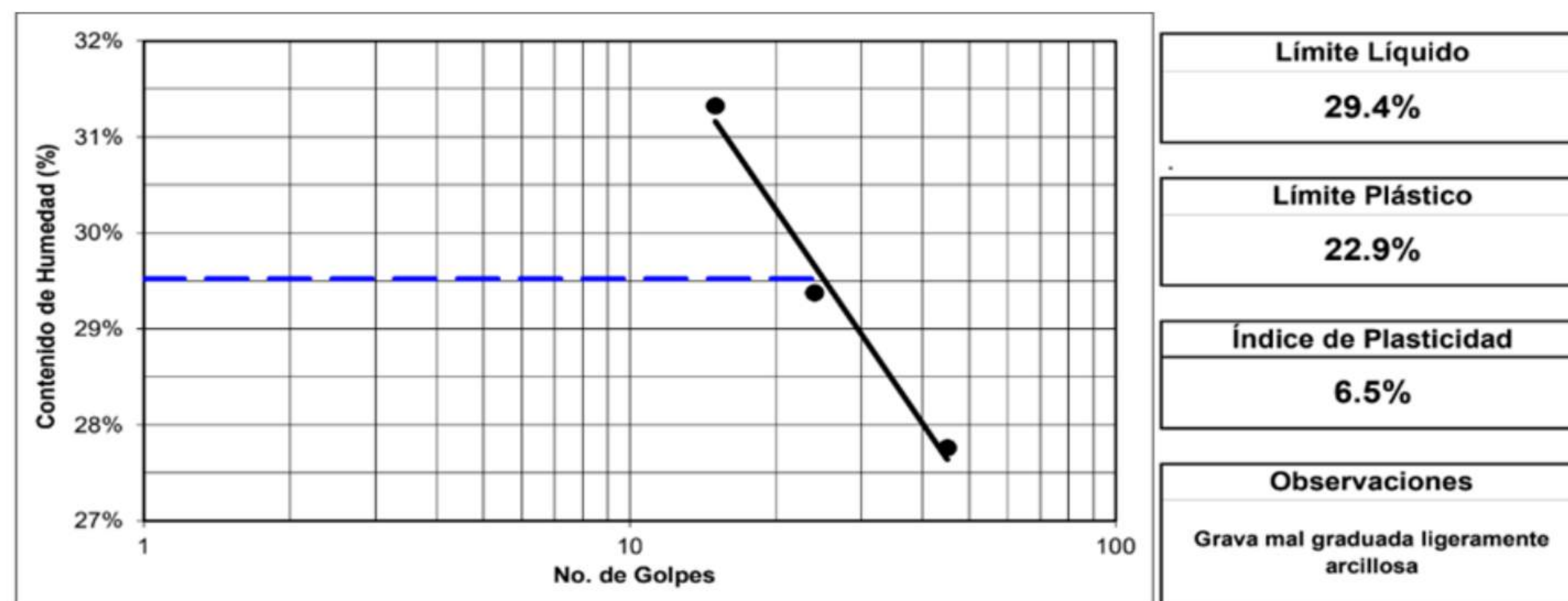
Fuente: Elaboración propia usando Excel.

La interpretación de estos resultados en la clasificación de suelos, se obtuvo un contenido de grava de 26.6 % con un contenido de grava semi gruesa del 65.3 % y un contenido de finos del 8.1 %, de lo que se concluye que los materiales pertenecen al grupo de suelos de partículas gruesas, clasificadas en el subgrupo de gravas y si cumplen para su proceso constructivo.

4.2. Límites de Atterberg, estación (149+350)

Evaluación de los límites del rango de humedad, en los cuales el suelo mantiene su estado plástico, según normas AASHTO T 89-96 y AASHTO T 90-96.

Figura 9. Grafica Porcentaje de Humedad



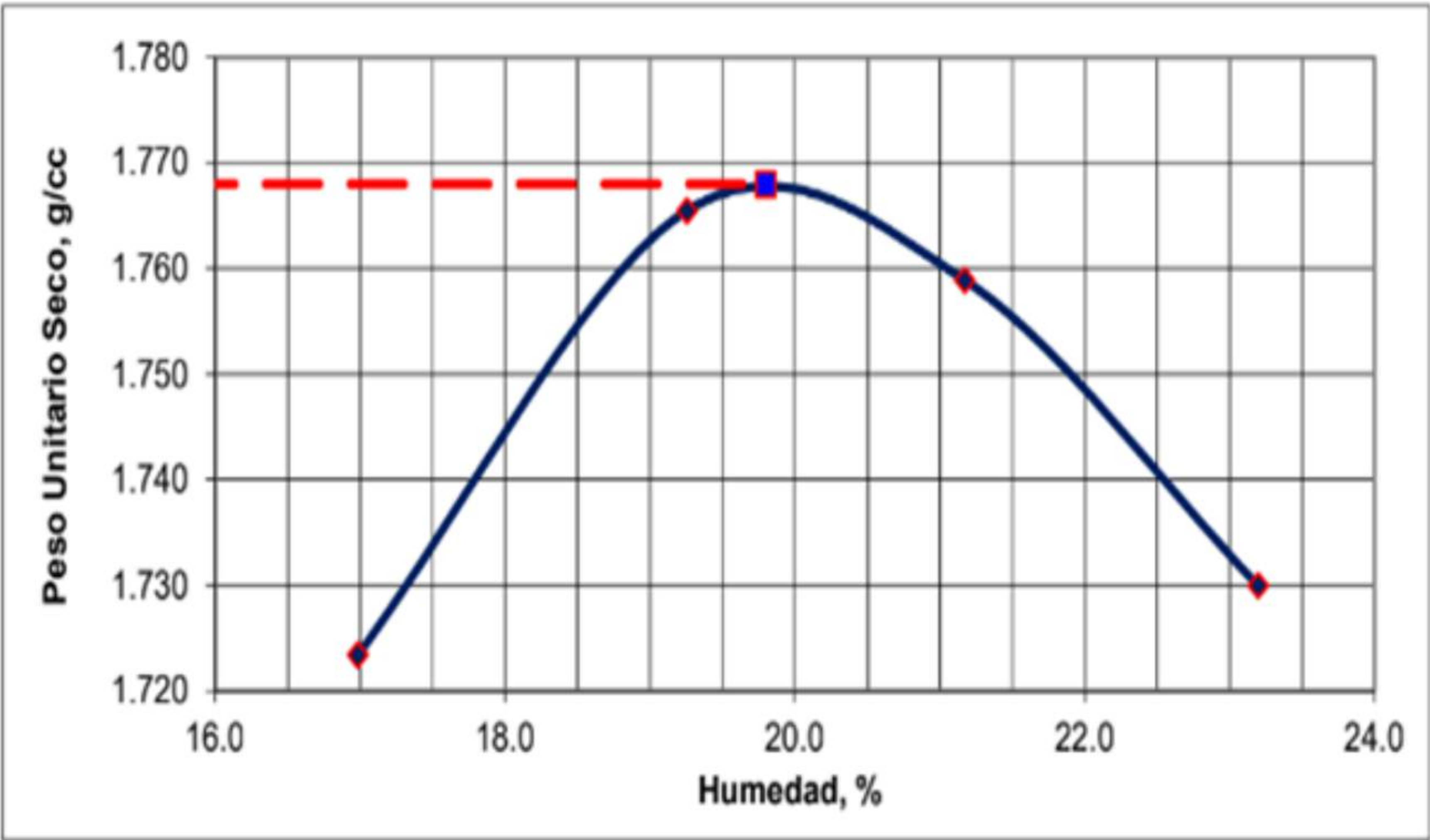
Descripción: En esta gráfica se presentan los porcentajes de límite plástico y líquido junto con el índice de plasticidad.

Al graficar los porcentajes en la curva logarítmica obteniendo como resultados 29.4 % de límite líquido, 22.9 % de límite plástico y un índice de plasticidad 6.5 %, que es la diferencia entre el límite líquido y plástico. Se puede concluir que el material analizado es completamente plástico.

4.3. Compactación Proctor, estación (149+350)

Método que compara el porcentaje de humedad, del material en terreno natural y que se representan en la curva logarítmica, según norma AASHTO T 180.

Figura 10. Gráfica de Peso Unitario seco vrs. Humedad %



Descripción: Gráfica se presentan datos de los pesos unitarios secos obtenidos en Proctor, elaboración propia utilizando Excel

La curva logarítmica representa el porcentaje de humedad en escala de 16.0 a 24 cms. Con 5 capas con un promedio de 25 golpes por capa en un monde con un volumen 1/30 p3. Esto nos indica que el material cumple con lo establecido en la norma AASHTO T 99 Y AASHTO T 180.

Figura 11. Grafica que presenta los valores al colocar geotextil no

Clasificación		
LL =	29.4%	LP = 22.9%
		IP = 6.5%
SUCS		GP - GC
Índice de grupo		0
AASHTO		A - 2 - 6
γ_t (kg/m³)		2118
γ_d óptimo (kg/m³)		1768
γ_d óptimo (lb/pie³)		110.4
w optima (%)		19.8%

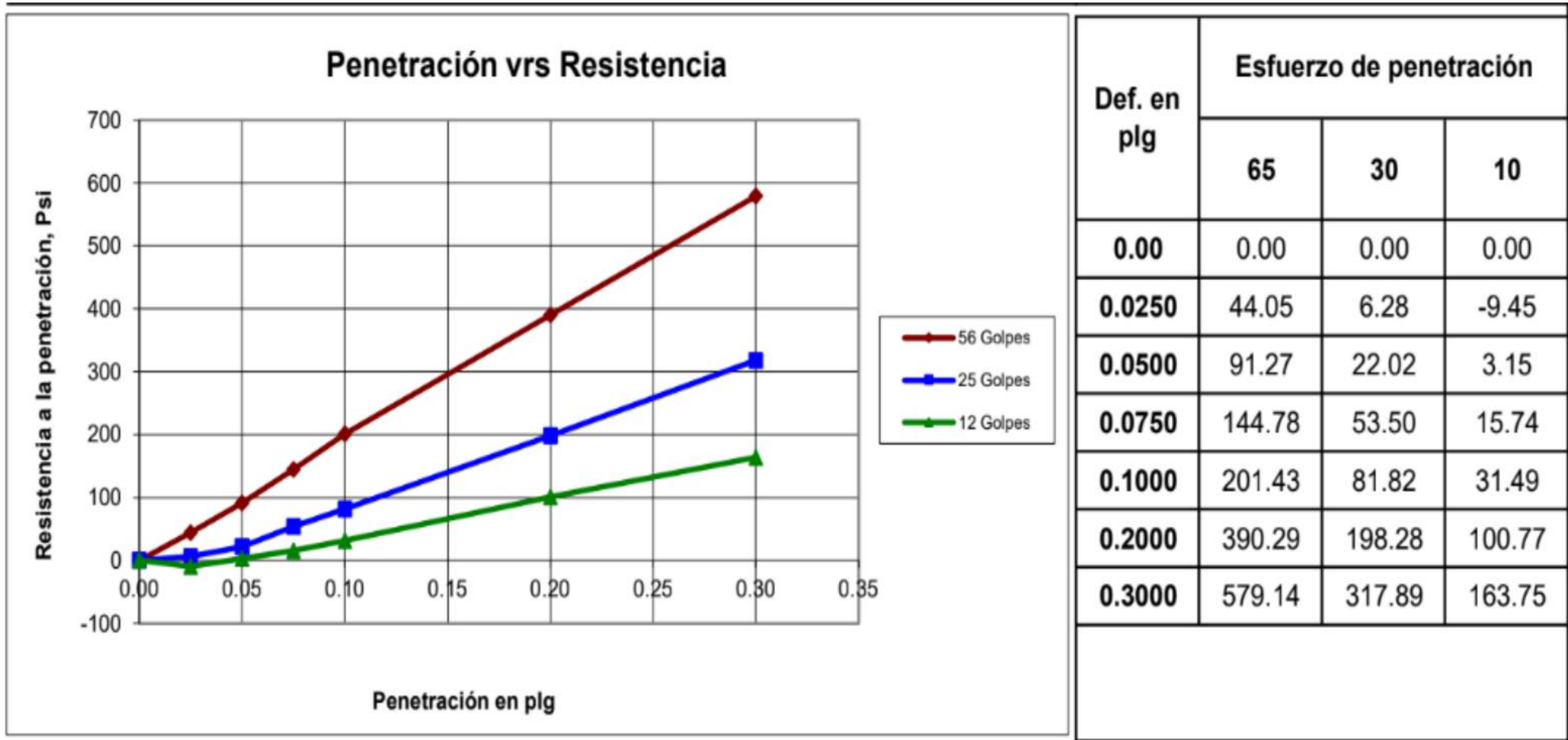
Fuente: Elaboración propia usando Excel

En la clasificación del ensayo efectuado con material de grava graduada ligeramente arcillosa, se obtuvo como resultado 1768 kg/m3 ó 110.4 Lb/p3. Con una humedad optima de 19.8 %, esto se demuestra en la figura 9.

4.4. Valor Soporte California (CBR), estación (149+350)

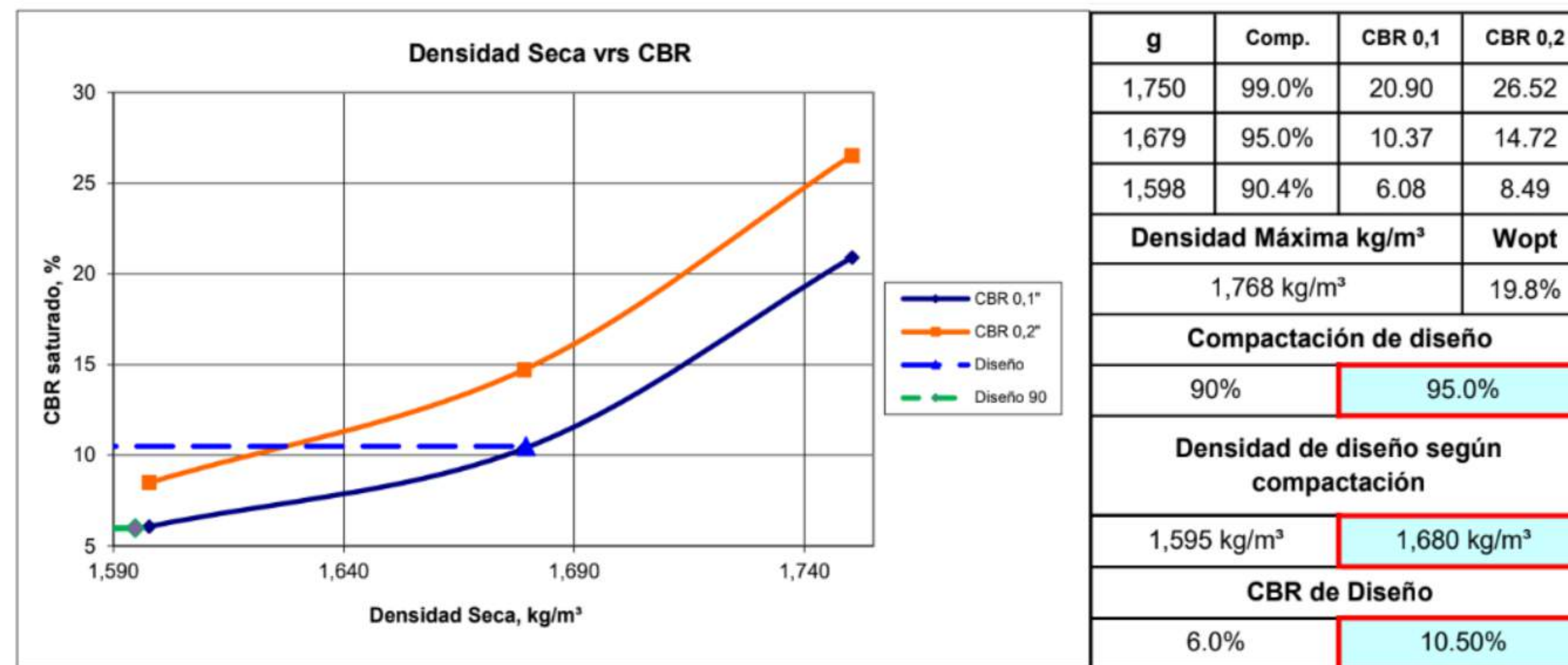
Método para la evaluación de las características del material, al ser sometido a humedad, utilizando norma AASHTO T 193.

Figura 12. Penetración Vrs Resistencia



Descripción: En esta tabla se presentan los índices de penetración en plg. De las muestras ensayadas. Los resultados se indican en las gráficas logarítmicas en color rojo, azul y verde.

Figura 13. Grafica de densidad seca Vs C.B.R



Descripción: En esta tabla se presentan los índices de densidad seca, kg/m2

La grafica muestra la densidad en color naranja y azul, con este material se obtuvo un 95 % de compactación a una densidad de 1680 kg/m3, con un CBR de 10.50 %.

4.5. Método del cono de arena, (149+260; 149+460)

Esta técnica implica la determinación de los niveles de humedad, en campo, del terreno natural utilizando un cono y arena, según norma AASHTO T 191.

Tabla 27. Determinación de Humedad en Campo Grupo 4, (149+260)

DETERMINACION DE HUMEDAD DE CAMPO, USANDO ARENA, AASHTO T-191	
Interesado	Marco Tulio Altán Ramírez
Proyecto	RN-11-022, Entre Godines(km.136+470) Agua Eescondida, desvío San Lucas Toliman (km.151+400)
Fecha de Prueba	
Estación	
Lado	Izq.
% HUMEDAD A SPEEDY	
% HUMEDAD	22.4
P.U.S. de Campo	92.4
P.U.S. de Laboratorio	101.09
% Humedad Optima	21.8
% Compactacion	90.68
No. De ensayo	1
Observaciones	Ensayo No1 efectuado a la subrasante 149+260 antes de colocar el Geotextil No Tejido.

Descripción: Tabla que presenta el porcentaje de humedad en campo, utilizando el método de cono de Arena, antes de ser colocado el geotextil.

Se presentan los resultados de humedad y compactación obtenidos en campo para la muestra de material, en la subrasante antes de ser colocado el geotextil, se utilizó el equipo de laboratorio necesario y tomo el peso unitario seco en campo del material y el peso unitario seco en laboratorio, tomando el porcentaje de humedad optima requerida. Utilizando el método de humedad a Speedy la muestra de subrasante obtuvo un valor de la humedad de 22.4 % con una compactación de 90.68 %.

Tabla 28. Determinación de Humedad en Campo Grupo 5 (149+460).

DETERMINACION DE HUMEDAD DE CAMPO, USANDO ARENA, AASHTO T-191	
Interesado	Marco Tulio Altán Ramírez
Proyecto	RN-11-022, Entre Godines(km.136+470) Agua Eescondida, desvio San Lucas Toliman (km.151+400)
Fecha de Prueba	6/07/2023
Estación	149+460
Lado	Izq.
% HUMEDAD A SPEEDY	
% HUMEDAD	16.3
P.U.S. de Campo	89.63
P.U.S. de Laboratorio	101.9
% Humedad Optima	21.8
% Compactacion	87.96
No. De ensayo	2
Observaciones	Ensayo No2 efectuado a la subrasante 149+460 despues de colocar el Geotextil No Tejido.

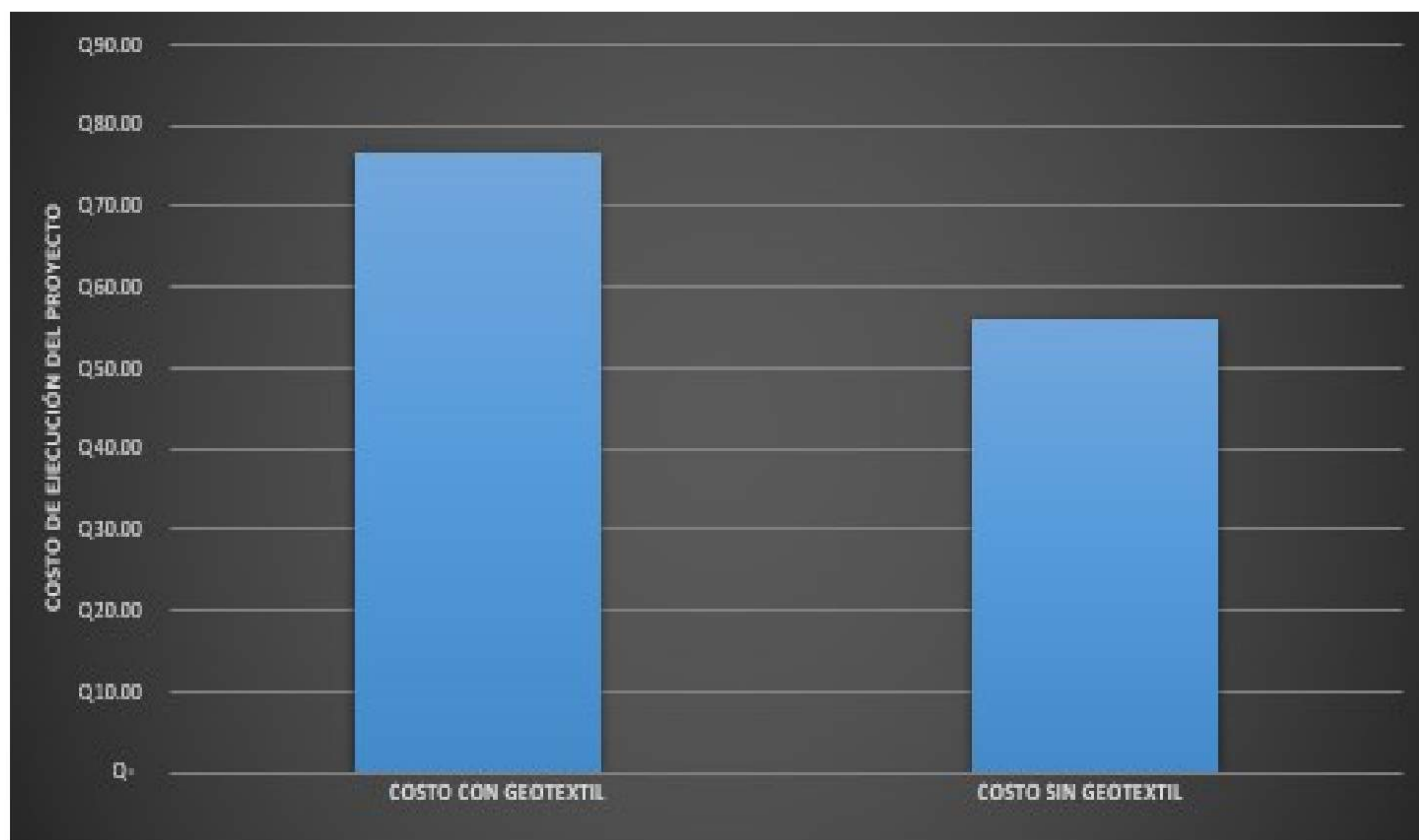
Descripción: Porcentaje de humedad, Método de cono de Arena, después de colocado el geotextil no tejido.

Se presentan los resultados de humedad y compactación obtenidos en campo para la muestra de material, en la subrasante después de ser colocado el geotextil, se utilizó el equipo de laboratorio necesario y tomo el peso unitario seco en campo del material y el peso unitario seco en laboratorio, tomando el porcentaje de humedad optima requerida. Utilizando el método de humedad a Speedy la muestra de subrasante obtuvo un valor de la humedad de 16.3 % con una compactación de 87.96 %.

4.6. Comparación de costos

En la interpretación de resultados se utiliza el diagrama de barras, para los valores obtenidos al usar geotextil no tejido y representarlos en forma gráfica.

Figura 13. *Grafica que presenta los valores al colocar geotextil no tejido*



Fuente: Costo con un geotextil no tejido y sin geotextil en la capa de subrasante, elaboración propia. Utilizando Excel.

La figura 12. Presenta el costo obtenido en la tabla 25, por Q 76.35 al colocar un geotextil no tejido, y de la tabla 24, con Q 55.77 sin geotextil no tejido, el costo difiere en Q 20.58, que se representa en la tabla 26. Al colocar un geotextil no tejido sobre la subrasante.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que, mediante el uso de geotextil no tejido, para las condiciones y materiales del proyecto se logró reducir la humedad como mínimo en 3.5 %, ya que si actúa como filtro que ayuda al drenaje del agua y a la retención de finos.

2. Mediante el análisis realizado al colocar el geotextil no tejido se determinó que el porcentaje de humedad disminuyó en 3.5 % en terreno natural o subrasante. Los resultados demuestran en el capítulo cuatro, figura 9, y tabla 28, logrando el objetivo de reducir la humedad en los materiales de subrasante.

3. Al analizar la figura 12, del capítulo 4, se determinó que el costo de colocar geotextil no tejido sobre la subrasante, es Q 76.35, al compararlo con el costo de no colocar el geotextil no tejido que es Q 55.77, difieren en Q 20.58, que es el costo de suministro y colocación del geotextil no tejido que demuestra que además de aumentar el costo por colocación, disminuye la humedad en la subrasante.

RECOMENDACIONES

1 Recomendar utilizar un geotextil no tejido cuando los estudios determinen que se tiene una humedad de campo mayor significativamente a la humedad optima del material.

2 Recomendar realizar estudios de Proctor modificado y método del cono de arena a la subrasante antes y después de colocar el geotextil no tejido con el fin de realizar la comparación entre los dos valores de humedad que originen los ensayos.

3 Recomendar que se efectúen más análisis de costo en el uso del geotextil no tejido con el propósito de dar más opciones a los profesionales que se dedican a la construcción de carreteras.

4. Recomendar que, debido a que el geotextil no tejido proporciona grandes ventajas como, fácil manejo, rendimiento y bajo costo de instalación, se recomienda incluirlo en los proyectos de infraestructura vial que se vean afectados por problemas de humedad en la subrasante.

REFERENCIAS

BUSTAMANTE, A. (2016). *Evaluación en el Nivel de Resistencia de una Subrasante, con el Uso Combinado de una Geomalla y un Geotextil*. (Tesis de Maestría, Universidad de Cuenca, Ecuador) Archivo Digital.
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/25429/1/tesis.pdf.pdf>

CALDERÓN A. (2011). Guía de pruebas de laboratorio y muestreo en campo para la verificación de calidad en materiales de un pavimento asfáltico. En Métodos y Materiales Artículo de revista en línea.
[Dialnet-GuiaDePruebasDeLaboratorioYMuestreoEnCampoParaLaVe-6240953 %20\(6\).pdf](http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6240953)

CHICAS, L. (2005). *REHABILITACIÓN DE TRAMOS CARRETEROS PAVIMENTADOS UTILIZANDO GEOTEXTILES NO TEJIDOS - SISTEMA PETROMAT*. (Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala). Archivo Digital. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2535_C.pdf

MUÑOZ, P. (2017). *Modelado de Curvas Características Suelo-Agua para carreteras en Costa Rica* (Tesis de Postgrado, Universidad de Costa Rica) Archivo Digital
<http://repo.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/5640/1/42045.pdf>

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS. (2001). *bgbs*. Recuperado de <https://www.caminos.gob.gt/files/Desc-LibroAzul-Sept2001.pdf>

GONZALES, J. (2022). *Generalidades geotextiles*. COURSE HERO.
<https://www.coursehero.com/file/86834545/Generalidades-geotextilespptx/>

ICOCHEA, S. (2019). *¿Para qué se usan los geotextiles en la construcción?* (Entrada de blog). <https://igc.com.pe/para-que-usan-geotextiles-en-la-construccion/>

ITURBIDE, J. (2022). *Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos*. Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional,
<https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-pavimentos.pdf>

JOHNSON, W. (2018). *El módulo resiliente*. Recuperado de
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3252/50777-10.pdf>

LABORET M. (2018). *Estabilización de subrasantes con geotextil tejido*. Vial. (Entrada de blog). <https://revistavial.com/estabilizacion-de-subrasantes-con-geotextil-tejido/>

MARCO. T. (2010). *GUÍA BÁSICA PARA LA CONFORMACIÓN DE BASES Y SUBBASES PARA CARRETERAS EN EL SALVADOR*. (Tesis de Postgrado, Universidad de El Salvador).
[https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2191/1/Gu%C3%ADab%C3%A1sica para la conformaci%C3%B3n de bases y subbases para carreteras en El Salvador.pdf](https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2191/1/Gu%C3%ADab%C3%A1sica%20para%20la%20conformaci%C3%B3n%20de%20bases%20y%20subbases%20para%20carreteras%20en%20El%20Salvador.pdf)

SANDRA M. (2013). *BENEFICIOS DEL USO DE GEOTEXTILES EN LAS CAPAS ESTRUCTURALES DE UN CAMINO*. VIAL (Entrada de blog). <https://revistavial.com/beneficios-del-uso-de-geotextiles-en-las-capas-estructurales-de-un-camino/>

PARERA, A. (2016). *Capa de rodadura*. Pavimentos Industriales <https://www.unifort.es/pavimentos-industriales/suelos-hormigon/capa-de-rodadura/>

RODRÍGUEZ, D. (2016). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA COMPACTACIÓN Y HUMEDAD DE LA SUBRASANTE NATURAL Y LA SUBRASANTE UTILIZANDO PRODUCTOS QUÍMICOS BIODEGRADABLES (TERRASIL), DE LA VÍA ECOLÓGICA DEL CANTÓN QUEVEDO, PROVINCIA DE LOS RÍOS*. (Tesis de Postgrado, Universidad Técnica de Ambato). <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23558/1/Tesis%201031%20-%20Rodríguez%20Vinces%20Diego%20Israel.pdf>

VARGAS J. (2019). *Importancia y beneficios del refuerzo de subrasantes con geotextil*. Geomatrix. <https://geomatrix.co/es/importancia-y-beneficios-del-refuerzo-de-subrasantes-con-geotextil/>