



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL
DE SUBRASANTE CON ADICIÓN DE BOLSAS DE
POLIETILENO FUNDIDO, CHACHAPOYAS, 2018**

AUTOR: Bach. Roiser Rene Linares Chavez

ASESOR: Ing. Manuel Eduardo Aguilar Rojas

CO – ASESOR: Dr. Edward Enrique Rojas De La Puente

CHACHAPOYAS - PERÚ

2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS A NIVEL
DE SUBRASANTE CON ADICIÓN DE BOLSAS DE
POLIETILENO FUNDIDO, CHACHAPOYAS, 2018**

AUTOR: Bach. Roiser Rene Linares Chavez

ASESOR: Ing. Manuel Eduardo Aguilar Rojas

CO – ASESOR: Dr. Edward Enrique Rojas De La Puente

CHACHAPOYAS – PERÚ

2019

DEDICATORIA

A DIOS

Por haberme otorgado los más bellos regalos: La vida, mi familia y por guiar mis pasos para poder cumplir mis objetivos.

A MIS PADRES

Jesús Linares y Edelmira Chávez. Por su apoyo incondicional, por sus consejos y por darme la confianza y las fuerzas para poder seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Quiero empezar agradeciendo a Dios por toda la fortaleza que me ha brindado hasta ahora, ya que gracias a él es que he logrado enfrentar todos los obstáculos que se me han presentado.

A mis padres Jesús Linares y Edelmira Chávez por su apoyo incondicional y porque confiaron siempre en mí, a mis hermanos que han sido de gran ayuda en mi desarrollo profesional y personal.

A los docentes de la facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por impartir sus conocimientos y experiencias a lo largo de su vida profesional. Y de manera especial al Asesor Ing. Manuel Eduardo Aguilar Rojas, Co-asesor Dr. Edward Enrique Rojas de la Puente y al Dr. Manuel Emilio Milla Pino, por la ayuda y dedicación constante durante el desarrollo de la investigación.

Por último, quiero agradecer a todas aquellas personas que de una u otra forma han contribuido en la realización de esta investigación.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS**

Dr. Policarpio Chauca Valqui

RECTOR

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

VICERRECTOR ACADÉMICO

Dra. Flor Teresa García Huamán

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

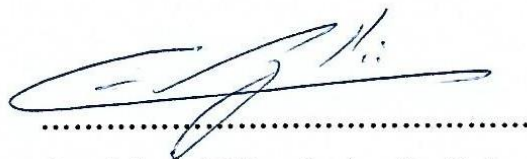
M.Sc. Ing. Edwin Adolfo Díaz Ortiz

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

Yo Ing. Manuel Eduardo Aguilar Rojas, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, hace constar que he asesorado la tesis titulada **“Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de bolsas de polietileno fundido, Chachapoyas, 2018”**, del tesista Bach. Roiser Rene Linares Chavez, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, considerando que la mencionada tesis cumple con los requisitos de fondo y forma doy el VISTO BUENO respectivo para su evolución y sustentación correspondiente.

Chachapoyas, 19 de agosto de 2019




Ing. Manuel Eduardo Aguilar Rojas

ASESOR

VISTO BUENO DEL CO - ASESOR DE TESIS

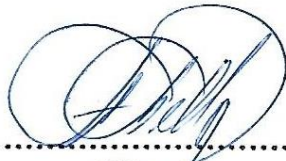
Yo Dr. Edward Enrique Rojas de la Puente, docente de la Facultad de Ciencias Sociales y Humanidades de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, hace constar que he asesorado la tesis titulada **“Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de bolsas de polietileno fundido, Chachapoyas, 2018”**, del tesista Bach. Roiser Rene Linares Chavez, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, considerando que la mencionada tesis cumple con los requisitos de fondo y forma doy el VISTO BUENO respectivo para su evolución y sustentación correspondiente.

Chachapoyas, 19 de agosto de 2019



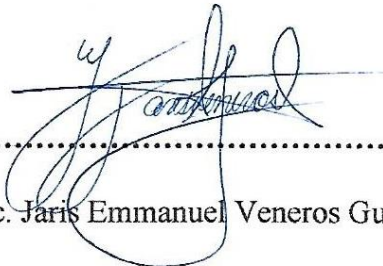
.....
Dr. Edward Enrique Rojas de la Puente
CO-ASESOR

JURADO EVALUADOR



.....
Ing. Franklin Alfonso Tello Reyna

PRESIDENTE



.....
M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara

SECRETARIO



.....
Lic. José Luis Quispe Osorio

VOCAL

viii

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Bach. Roiser Rene Linares Chavez, identificado con DNI N° 70562115, egresado de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DECLARO BAJO JURAMENTO QUE:

1. Soy autor de la tesis titulada: “Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de bolsas de polietileno fundido, Chachapoyas, 2018”; que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, y para su realización se ha respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. La información presentada es real y no ha sido falsificada, ni duplicada, ni copiada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así para obtener el Título Profesional, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Así mismo por la presente me comprometo a asumir además todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse para la UNTRM-A en favor de terceros por motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumpliendo de lo declarado o las que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que la tesis para obtener el Título Profesional haya sido publicada anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones civiles y penales que de mis acciones se deriven.


Chachapoyas, 19 de agosto de 2019



.....
Roiser Rene Linares Chavez

DNI N° 70562115

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS</p>	<p>Secretaría General OFICINA DE GRADOS Y TÍTULOS</p>
--	---

ANEXO 2-N

ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

En la ciudad de Chachapoyas, el día 19 de Agosto del año 2019, siendo las 19:00 horas, el aspirante: Bach. Raiser Rene Linares Chavez defiende públicamente la Tesis titulada: Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de bolsas de polietileno fundido, Chachapoyas, 2018. para optar el Título Profesional en Ingeniería Civil otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado, constituido por:
Presidente : Ing. Franklin Alfonso Tello Reyna
Secretario : M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara
Vocal : Lic. José Luis Quispe Osorio



Procedió el (los) aspirante (s) a hacer la exposición de los antecedentes, contenido de la tesis y conclusiones obtenidas de la misma, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la tesis presentada, los miembros del jurado pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones u objeciones consideran oportunas, las cuales fueron contestadas por el los aspirante (s).


Tras la intervención de los miembros del jurado y las oportunas contestaciones del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los miembros del jurado presentes en el acto, a fin de que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el jurado determinará la calificación global concedida a la tesis, en términos de:

Notable o sobresaliente () Aprobado (X) No apto ()

Otorgada la calificación el presidente del Jurado comunica, en sesión pública, la calificación concedida. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las horas 20:30 del mismo día, el jurado concluye el acto de sustentación del Trabajo de Investigación.

 PRESIDENTE	 SECRETARIO	 VOCAL
OBSERVACIONES: _____		
 FEDATARIO		
 DRA. CARMEN ROSA HUAMAN MUIÑOZ FEDATARIA		
FORMATOS PROYECTO DE TESIS		

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS.....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS	vi
VISTO BUENO DEL CO - ASESOR DE TESIS	vii
JURADO EVALUADOR.....	viii
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO	ix
ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	x
ÍNDICE GENERAL	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS	3
2.1. Localización de la investigación	3
2.2. Diseño de la investigación.....	4
2.3. Población, muestra y muestreo.....	5
2.3.1. Universo muestral.....	5
2.3.2. Muestreo	5
2.4. Métodos	5
2.4.1. Método inductivo.....	5
2.5. Térmicas e instrumentos de recolección de datos	6

2.5.1. Técnicas	6
2.5.2. Instrumentos	6
2.6. Metodología y procedimiento	6
2.6.1. Fase preliminar	6
2.6.1.1. Localizar y ubicar la muestra	6
2.6.1.2. Trabajo de campo	7
2.6.1.3. Reciclaje de bolsas de polietileno	8
2.6.2. Fase experimental	9
2.6.2.1. Ensayos para determinar las propiedades físicas-mecánicas.	9
2.6.2.2. Tratamiento del suelo arcilloso	14
2.6.3. Fase de gabinete.....	14
2.6.3.1. Procesamiento y análisis de datos	14
III. RESULTADOS	15
3.1. Resumen de resultados de ensayos de las cinco repeticiones	15
3.2. Detalle de resultados de ensayos de la primera repetición	17
3.2.1. Límites de consistencia.....	17
3.2.2. Proctor modificado	18
3.2.2.1. Proctor con 0% BPF	18
3.2.2.2. Proctor con 4% BPF	19
3.2.2.3. Proctor con 8% BPF	20
3.2.2.4. Proctor con 12% BPF	21
3.2.3. California Bearing Ratio (CBR).....	23
3.2.3.1. CBR con 0% BPF.....	23
3.2.3.2. CBR con 4% BPF.....	23
3.2.3.3. CBR con 8% BPF.....	23

3.2.3.4. CBR con 12% BPF.....	24
3.3. Análisis estadístico.....	25
3.3.1. Análisis de varianza y prueba de comparaciones múltiples Diferencia Mínima Significativa (DMS).....	25
3.3.1.1. Límite líquido (LL)	27
3.3.1.2. Límite plástico (LP).....	30
3.3.1.3. Índice plástico (IP)	31
3.3.1.4. Máxima densidad seca (MDS)	33
3.3.1.5. Óptimo contenido de humedad (OCH)	34
3.3.1.6. California Bearing Ratio (CBR).....	36
3.3.2. Resultados del análisis de varianza y prueba estadística diferencia mínima significativa (DMS)	38
3.4. Análisis de costos unitarios	39
IV. DISCUSIÓN	41
V. CONCLUSIONES	43
VI. RECOMENDACIONES	44
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
ANEXOS.....	47
ANEXO 1 Panel Fotográfico	47
ANEXO 2. Tablas para el análisis estadístico	50
ANEXO 3. Resultados de los ensayos de mecánica de suelos	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM del lugar de estudio	3
Tabla 2. Cantidad de repeticiones de suelo natural y con adición de BPF	5
Tabla 3. Resultados de ensayos de las cinco repeticiones	15
Tabla 4. Características del índice de plasticidad del suelo	17
Tabla 5. Proctor con 0% BPF.....	18
Tabla 6. Proctor con 4% BPF.....	19
Tabla 7. Proctor con 8% BPF.....	20
Tabla 8. Proctor con 12% BPF.....	21
Tabla 9. Resumen de la MDS y OCH del suelo.....	22
Tabla 10. CBR con 0% BPF	23
Tabla 11. CBR con 4% BPF	23
Tabla 12. CBR con 8% BPF	24
Tabla 13. CBR con 12% BPF	24
Tabla 14. Resumen de las Características del CBR al 95%	24
Tabla 15. Resumen de las Características del CBR al 100%	25
Tabla 16. Matriz base para el análisis estadístico	27
Tabla 17. Análisis de varianza para LL	28
Tabla 18. Promedio de tratamientos para LL.....	29
Tabla 19. Combinación de tratamientos para LL.....	29
Tabla 20. Análisis de varianza para LP.....	30
Tabla 21. Análisis de varianza para IP.....	31
Tabla 22. Promedio de tratamientos para IP	32
Tabla 23. Combinación de tratamientos para IP	32

Tabla 24. Análisis de varianza para MDS.....	33
Tabla 25. Promedio de tratamientos para MDS.....	33
Tabla 26. Combinación de tratamientos para MDS.....	34
Tabla 27. Análisis de varianza para OCH.....	35
Tabla 28. Promedio de tratamientos para OCH.....	35
Tabla 29. Combinación de tratamientos para OCH.....	35
Tabla 30. Análisis de varianza para CBR.....	36
Tabla 31. Promedio de tratamientos para CBR.....	37
Tabla 32. Combinación de tratamientos para el CBR.....	37
Tabla 33. Resultados del análisis de varianza y prueba estadística diferencia mínima significativa (DMS)	38
Tabla 34. Costo de producción de material estabilizante (BPF).....	39
Tabla 35. Presupuesto para realizar la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de 12% BPF.....	39
Tabla 36. Análisis de precios unitarios para realizar la estabilización	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa del Perú y de la Región Amazonas.....	3
Figura 2. Mapa de la Provincia de Chachapoyas - Pueblo Joven 16 de Octubre	4
Figura 3. Detalle de calicata realizada	7
Figura 4. Máquina cacaera para fundir las bolsas de polietileno.....	8
Figura 5. Curva granulométrica de un suelo.....	10
Figura 6. Clasificación SUCS del suelo.....	11
Figura 7. Clasificación AASHTO del suelo	12
Figura 8. Índice plástico para diferentes adiciones BPF.....	17
Figura 9. MDS y OCH del suelo con 0% BPF	18
Figura 10. MDS y OCH del suelo con 4% BPF	19
Figura 11. MDS y OCH del suelo con 8% BPF	20
Figura 12. MDS y OCH del suelo con 12% BPF	21
Figura 13. MDS para las diferentes adiciones de BPF	22
Figura 14. OCH para las diferentes adiciones de BPF	22
Figura 15. CBR al 95% para los diferentes porcentajes de adición de BPF.....	25
Figura 16. Comportamiento del límite líquido	30
Figura 17. Comportamiento del límite plástico	31
Figura 18. Comportamiento del índice plástico.....	32
Figura 19. Comportamiento de la máxima densidad seca	34
Figura 20. Comportamiento del óptimo contenido de humedad	36
Figura 21. Comportamiento del CBR.....	37

RESUMEN

La finalidad de la investigación fue determinar la influencia de las bolsas de polietileno fundido en la estabilización de un suelo arcilloso a nivel de subrasante, las muestras de suelo para conocer sus propiedades físico-mecánicas fueron extraídas de la intersección de la Av. Los Libertadores y Jr. Las Orquídeas, Pueblo Joven 16 de Octubre, Chachapoyas, Amazonas. El suelo, según Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO) varía de A-4(3) (suelo limo-arcilloso) a A-7-6(9) (suelo arcilloso); asimismo mediante Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) el suelo varía de ML (suelo arcilloso con ligera plasticidad) a CL (suelo arcilloso de mediana a baja plasticidad). Para elaborar la muestra, se fundieron las bolsas de polietileno, el líquido producto de la fundición se mezcló con el material del suelo arcilloso en la proporción 1:1. El agregado base constituido, sirvió para elaborar las muestras tomando proporciones de 4%, 8% y 12% respecto al peso seco de la muestra. El tratamiento que presenta mejor comportamiento para las propiedades físicas es el T1 (4%) donde se logra una disminución promedio del índice de plasticidad de 13.55% (suelo natural) hasta 8.98% (4% BPF). Y para las propiedades mecánicas el tratamiento que presenta mejor incidencia es el T3 (12%) ya que el OCH promedio tiende a disminuir de 18.23% (suelo natural) a 15.46% (12% BPF), mientras que la MDS promedio aumenta de 1.730gr/cm³ (suelo natural) a 1.807gr/cm³ (12% BPF) y el CBR promedio aumenta de 5.6% (suelo natural) a 9.9% (12% BPF). Se concluye que la adición de bolsas de polietileno fundido si mejoran las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcilloso a nivel de subrasante, por lo tanto, se logró estabilizar el suelo en estudio según del Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos ya que el CBR con 12% BPF es 10.3%.

Palabras Clave: Estabilización de suelos arcillosos, bolsas de polietileno fundido.

ABSTRACT

The purpose of the investigation was to determine the influence of the molten polyethylene bags in the stabilization of a clay soil at subgrade level, the soil samples to know their physical-mechanical properties were extracted from the intersection of Los Libertadores Avenue and Las Orquídeas Street, Pueblo Joven 16 de Octubre, Chachapoyas, Amazonas. The soil, according American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO varies from A-4 (3) (silt-clay soil) to A-7-6 (9) (clay floor); also by Unified Soil Classification System (SUCS) the soil varies from ML (clay soil with slight plasticity) to CL (medium to low plasticity clay soil). To prepare the sample, the polyethylene bags were melted, the liquid foundry product was mixed with the clay soil material in the 1: 1 ratio. The constituted base aggregate was used to prepare the samples taking proportions of 4%, 8% and 12% with respect to the dry weight of the sample. The treatment that presents the best behavior for physical properties is T1 (4%) where an average decrease in the plasticity index of 13.55% (natural soil) is achieved up to 8.98% (4% BPF). And for the mechanical properties the treatment that presents the best incidence is T3 (12%) since the average OCH tends to decrease from 18.23% (natural soil) to 15.46% (12% BPF), while the average MDS increases from 1,730 gr / cm³ (natural soil) to 1,807gr / cm³ (12% BPF) and the average CBR increases from 5.6% (natural soil) to 9.9% (12% BPF). It is concluded that the addition of molten polyethylene bags if the physical and mechanical properties of the clay soil at the subgrade level improve, therefore, it was possible to stabilize the soil under study according to the Manual of Soils, Geology, Geotechnics and Pavement Roads since The CBR with 12% BPF is 10.3%.

Keywords: Stabilization of clay soils, cast polyethylene bags.

I. INTRODUCCIÓN

La estabilización de suelos es el mejoramiento de las propiedades de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales y sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general, se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidos como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos (DGIP, 2015). Además, los suelos arcillosos generalmente no cumplen con los requerimientos necesarios para garantizar la estabilidad del pavimento debido a su baja resistencia al corte, altas deformaciones e índice de plasticidad (Núñez & Gil, 2018).

A la vez, si el terreno existente conocido como subrasante no asegura la estabilidad y durabilidad que garantice geotécnicamente el comportamiento de la estructura del pavimento se tiene dos opciones, el de sustituir realizando grandes movimientos de tierra y la segunda opción es el de mejorar el suelo existente (Leiva, 2016).

Asimismo, los suelos inestables pueden crear problemas significativos en la estructura del pavimento, por tal motivo desde hace algunas décadas se ha tratado de realizar el mejoramiento de estos suelos empleando diversas técnicas de estabilización como la cal, cemento, productos asfálticos, cloruro de sodio, entre otros, y que se emplean de acuerdo a las características del suelo y el alcance de la vía (MTC, 2014), en la presente tesis se investigó un nuevo método para la estabilización de suelo arcilloso que consiste en el uso de bolsas de polietileno fundido donde se busca mejorar las propiedades físico-mecánicas del suelo de fundación.

Por otra parte, en la actualidad la contaminación ambiental es generada en gran medida es por la generación de residuos sólidos los cuales no se pueden biodegradar rápidamente y están contaminando el medio ambiente en gran medida, por tal motivo se trata de reciclar y dándole un mejor uso en mejoramiento de suelos (Leiva, 2016).

Por ejemplo, la generación total de residuos sólidos municipales para el distrito de Chachapoyas está estimada en 12.78 Tn/día para el año 2018, esta generación total está conformada por la suma de la generación de los residuos sólidos domiciliarios que equivale a

10.98 Tn/día, mientras que la generación de los residuos sólidos no domiciliarios equivale a 1.80 Tn/día. Con respecto a la composición física de los residuos sólidos domiciliarios la fracción de materia orgánica ocupa el primer lugar y equivale al 69.13%, seguido de los residuos sanitarios con 10.04%, las bolsas de polietileno con 4.70%, seguido del cartón que representa 2.41%, luego el vidrio el 2.21%, el papel con 2.04% y otros 9.47%. Actualmente la basura generada se arroja en botaderos a cielo abierto y algunas fuentes de agua; causando un grave daño ambiental ya que muchos de los residuos generados por las industrias y los hogares se demoran más de 50 años en ser descompuestos (Municipalidad Provincial de Chachapoyas, 2018).

Debido a esta problemática se plantea una pregunta a resolver ¿En qué medida las bolsas de polietileno influyen en el mejoramiento de un suelo arcilloso a nivel de subrasante? y se va comprobar si las bolsas de polietileno influyen o no en el mejoramiento de un suelo arcilloso a nivel de subrasante.

Por último la finalidad de esta investigación fue determinar la influencia de las bolsas de polietileno fundido en la estabilización de un suelo arcilloso a nivel de subrasante, también consiste en delimitar la zona de estudio en el Pueblo Joven 16 de Octubre Chachapoyas, así como obtener muestras del material en estudio para ser analizadas en el laboratorio para determinar las propiedades físico-mecánicas de las muestras en estudio antes y después de la adición de bolsas de polietileno fundido y estimar estadísticamente la proporción adecuada de bolsas de polietileno fundido que respondan a las condiciones impuestas en la norma técnica peruana.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización de la investigación

El día 30/04/19 a las 8.45 am se extrajo 55 kg de material arcilloso por repetición para su análisis de laboratorio, fue de la calicata realizada en la intersección de la Av. Los Libertadores y Jr. Las Orquídeas, Pueblo Joven 16 de Octubre, Chachapoyas, Amazonas, Perú.

Tabla 1. Coordenadas UTM del lugar de estudio

Ubicación	Este	Norte	Altitud
Lugar de estudio (Zona 18)	183452	9311705	2376 msnm

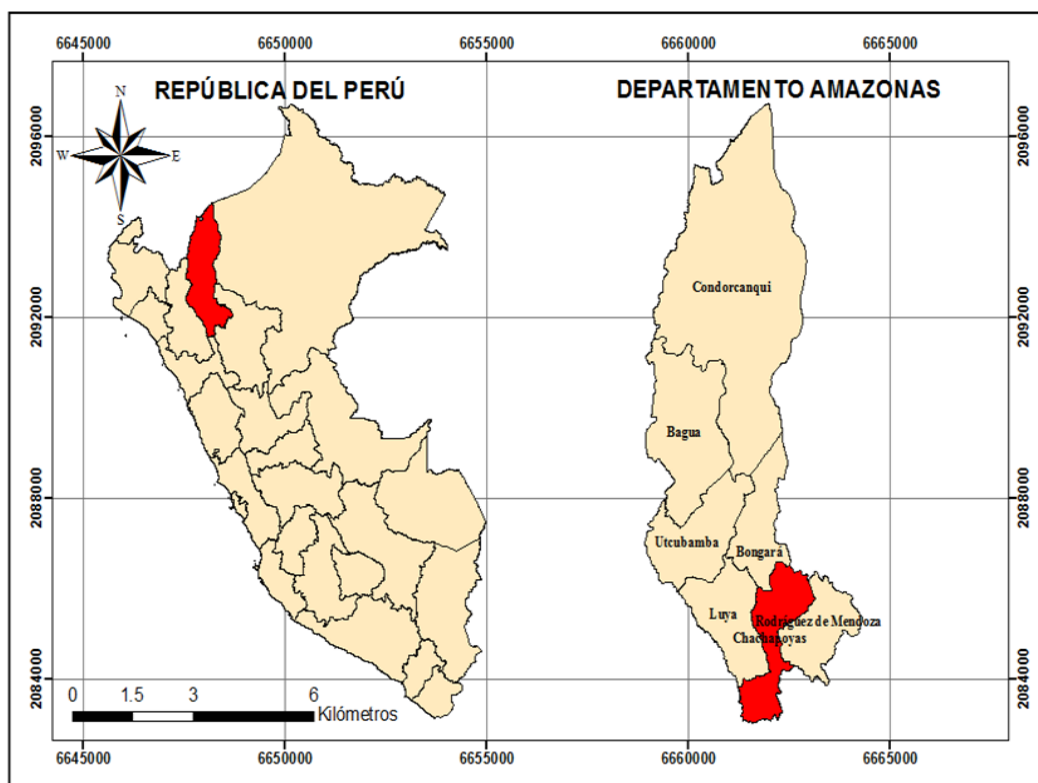


Figura 1. Mapa del Perú y de la Región Amazonas

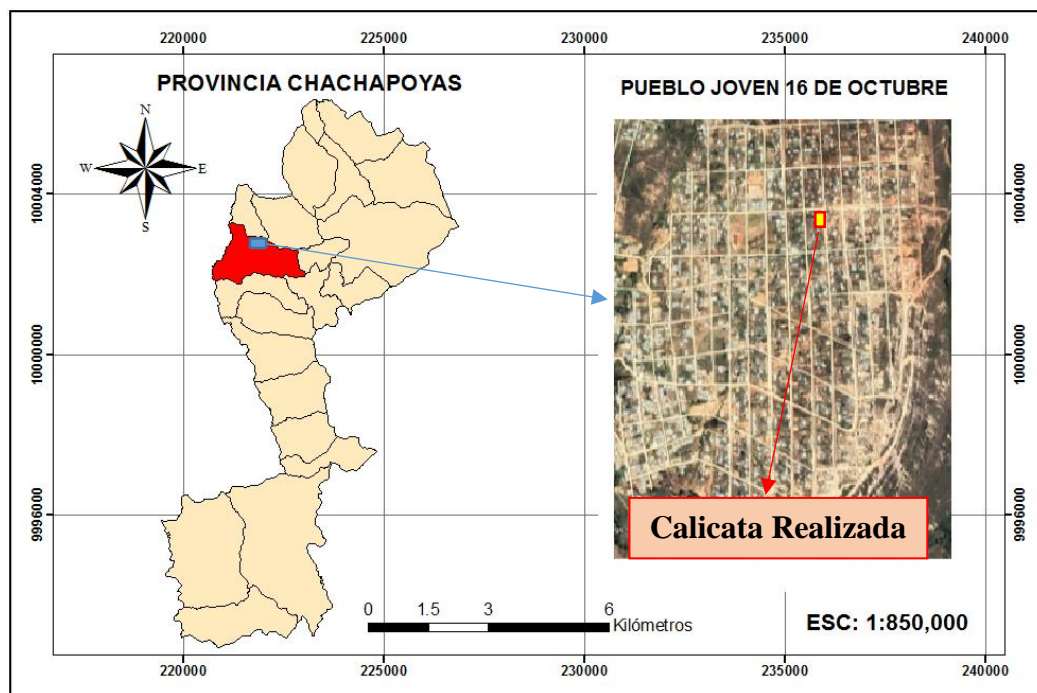


Figura 2. Mapa de la Provincia de Chachapoyas - Pueblo Joven 16 de Octubre

Clima

El clima en la ciudad de Chachapoyas es templado cálido y ligeramente húmedo con temperatura promedio anual de 14. 7° C y precipitación promedio de 868.1 mm/año (Municipalidad Provincial de Chachapoyas, 2013).

Laboratorios donde se realizó los ensayos de mecánica de suelos

Los laboratorios para realizar los ensayos de mecánica de suelos están ubicados en la provincia de Chachapoyas, se realizaron en dos laboratorios DIAZ & OCAMPO CONSTRUCTORES Y CONSULTORES SRL y GEOTEST EIRL ESTUDIOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS-MECÁNICA DE SUELOS-PAVIMENTOS. Los ensayos que se realizaron fueron: Límites de Consistencia, Análisis Granulométrico por Tamizado, Proctor Modificado y California Bearing Ratio (CBR).

2.2. Diseño de la investigación

La investigación es de tipo experimental y se aplicó el Diseño Completamente al Azar (DCA).

Variable independiente: Bolsas de polietileno fundido

Variable dependiente: Estabilización de la subrasante del suelo arcilloso

2.3. Población, muestra y muestreo

2.3.1. Universo muestral

El universo muestral fue el suelo arcilloso del Pueblo Joven 16 de Octubre, Chachapoyas.

Tabla 2. Cantidad de repeticiones de suelo natural y con adición de BPF

Ensayos	0% BPF	4% BPF	8% BPF	12% BPF
Límites de consistencia	5	5	5	5
Análisis granulométrico por tamizado	5	5	5	5
Proctor modificado	5	5	5	5
California Bearing Ratio	5	5	5	5
Total	20	20	20	20

2.3.2. Muestreo

Se realizó un muestreo no probabilístico porque se seleccionó las muestras basadas en un juicio subjetivo, se tomó como guía al protocolo de procedimientos para la toma de muestras (exploración y muestreo de suelos), conservación y transporte de muestras de suelos.

2.4. Métodos

2.4.1. Método inductivo

Se inicia con la observación de casos particulares (toma de muestras de suelo) a casos generales (conocer su propiedades físicas y mecánicas), que se aplicaron en el laboratorio con adición de bolsas de polietileno fundido para el mejoramiento del suelo a nivel de la subrasante de la intersección de la Av. Los Libertadores y Jr. Las Orquídeas, Pueblo Joven 16 de Octubre, Chachapoyas.

2.5. Térmicas e instrumentos de recolección de datos

2.5.1. Técnicas

La técnica que se utilizó para la toma de datos fue la observación porque existe una relación directa con la realidad. Se hizo la visita al campo, se seleccionó el lugar donde se observó la presencia de arcilla.

2.5.2. Instrumentos

Fichas técnicas de ensayos de laboratorio para cada variable en estudio.

- ✓ Límites de consistencia
- ✓ Análisis granulométrico por tamizado
- ✓ Proctor modificado
- ✓ California Bearing Ratio

2.6. Metodología y procedimiento

Para esta investigación se utilizó el método estadístico Diseño Completamente al Azar (DCA), específicamente la prueba de comparaciones múltiples Diferencia Mínima Significativa (DMS) que consiste en identificar el tratamiento (0%, 4%, 8% y 12%) que presentó mayor incidencia.

T₀: 0% Suelo en estado natural

T₁: 4% BPF con respecto al peso del suelo

T₂: 8% BPF con respecto al peso del suelo

T₃: 12% BPF con respecto al peso del suelo

Para cumplir con los objetivos planteados en la investigación, el estudio se realizó en tres fases:

2.6.1. Fase preliminar

2.6.1.1. Localizar y ubicar la muestra

Se hizo un recorrido por el Pueblo Joven 16 de Octubre y se seleccionó el lugar donde se observó la presencia de suelo arcilloso (Intersección de la Av. Los Libertadores y Jr. Las Orquídeas) (Anexo 1, Imagen 3).

2.6.1.2. Trabajo de campo

La obtención de las muestras para el estudio de mecánica de suelos, se realizó en el Pueblo Joven 16 de Octubre (intersección de la Av. Los Libertadores y Jr. Las Orquídeas), Chachapoyas.

En el registro de excavación se anotó el espesor de los estratos del suelo; las muestras disturbadas representativas de suelos, se han obtenido en cantidades suficientes para realizar las cinco repeticiones de los ensayos de laboratorio, habiendo sido debidamente identificadas y embaladas en sacos y bolsas plásticas de polietileno para su conservación y traslado al laboratorio.

La excavación se ejecutó con herramientas manuales como son pico, barreta y palana, posteriormente se almacenó las muestras en sacos y bolsas para luego ser transportadas al laboratorio.

Se excavó una profundidad de 1.70 metros, se extrajo muestras de los tres estratos inferiores al material orgánico para ser analizadas en laboratorio, donde se observó la presencia de arena limosas en los estratos M1 y M2 y arcilla en el estrato M3 de la calicata.

- Estrato M1 espesor de 0.70 a 1.20 m = 0.50 m.
- Estrato M2 espesor de 1.20 a 1.45 m = 0.25 m.
- Estrato M3 espesor de 1.45 a 1.70 m = 0.25 m.

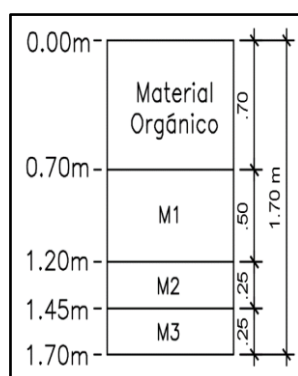


Figura 3. Detalle de calicata realizada

2.6.1.3. Reciclaje de bolsas de polietileno

Identificación del botadero

Para esta investigación se seleccionó el Botadero Rondón de Chachapoyas (Anexo 1, Imagen 1).

Reciclaje de bolsas de polietileno en el botadero

Se reciclaron las bolsas de cualquier código de identificación de plástico, la cual señala la composición de los plásticos elaborada por la sociedad de la industria de plásticos (Anexo 1, Imagen 2).

Procesamiento de las bolsas de polietileno y uso

Se realizó el fundido de las bolsas de polietileno en una máquina cacera que consta de dos latas de aceite vacías que están conectado entre sí mediante un tubo galvanizado para no contaminar el medio ambiente, en una de las latas se encuentra bolsas de polietileno y la otra con agua para atrapar el humo cuando se realiza la combustión.

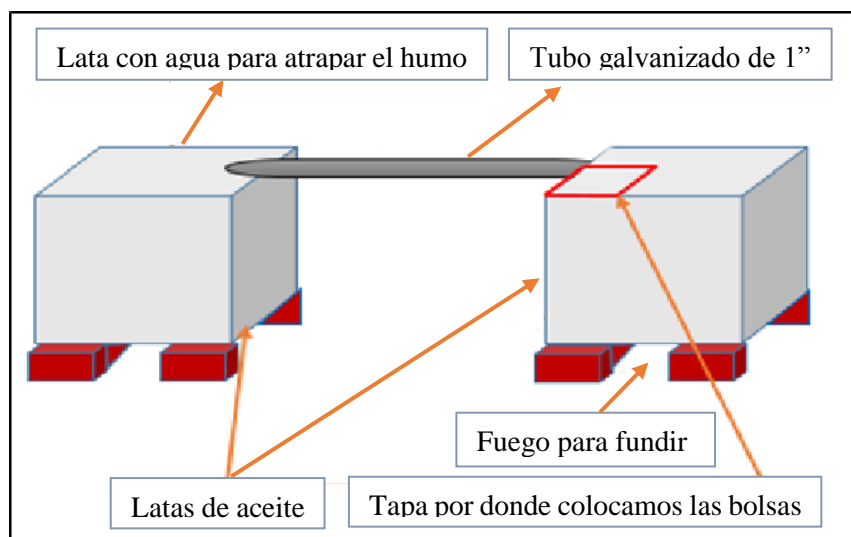


Figura 4. Máquina cacera para fundir las bolsas de polietileno

Después de un tiempo de 10 minutos de fundido se obtiene el líquido, se verificó que después del término de la fundición el peso disminuye

en un 35% de su peso inicial por ejemplo se quema 1000 gr de bolsas recicladas y se obtiene 650 gr de líquido. Considerando esta disminución, el líquido producto de la fundición se mezcló con el material del suelo arcilloso en la proporción 1:1 (un litro de bolsas de polietileno fundido y un kilo de material arcilloso). El agregado base constituido, sirvió para elaborar las muestras tomando proporciones de 0%, 4%, 8% y 12% respecto al peso seco de la muestra.

2.6.2. Fase experimental

2.6.2.1. Ensayos para determinar las propiedades físicas-mecánicas.

Se realizaron con la finalidad de determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo antes y después de la adición de bolsas de polietileno fundido, los cuales se hicieron mediante los procedimientos establecidos en el manual de ensayos de materiales para carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Con el material de los estratos M1 y M2 no se trabajó ya que se analizó y se observó que no tenían plasticidad. Del estrato M3 de espesor 0.25 m. se extrajo todas las muestras para hacer las cinco repeticiones y ser analizadas en el laboratorio.

➤ Propiedades físicas

Límite líquido - MTC E 110

Según el manual de ensayo de materiales del MTC E 110 es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo (MTC, 2016).

Equipos y herramientas: Acanalador, tamiz N° 40, balanza, horno, cazuela de casa grande, recipientes, espátula y cuchara.

Límite plástico - MTC E 111

Según el manual de ensayo de materiales del MTC E 111 se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen (MTC, 2016).

Análisis granulométrico por tamizado - MTC E 107

Según el manual de ensayo de materiales del MTC E 107 este modo operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200). (MTC, 2016)

Equipos y herramientas: Balanza, horno, tamices de malla cuadrada (3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4" y N°4), envases, cepillo y brocha.

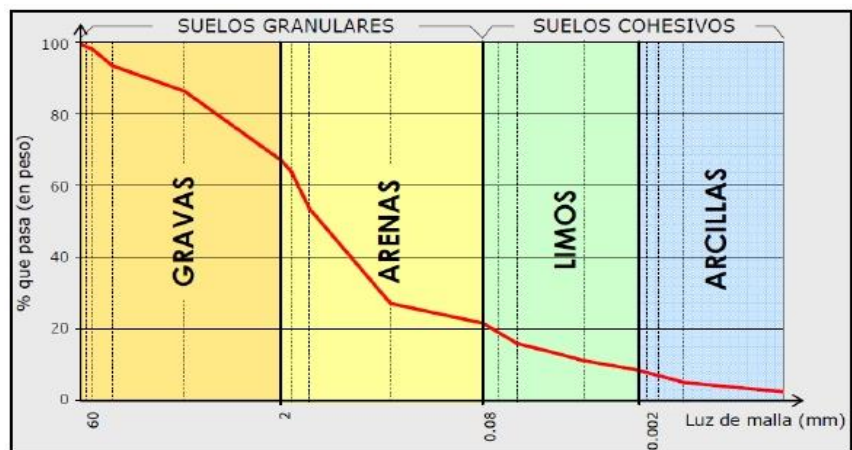


Figura 5. Curva granulométrica de un suelo

Fuente: (Blázquez, 2000)

Clasificación de suelos método SUCS - NTP 339.134

IDENTIFICACION EN EL CAMPO				SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TÍPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO POR EL TAMIZ # 200	ARENAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR EL TAMIZ # 4	GRAVAS LIMPAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS		GW	GRAVA BIEN GRADUADA, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 4 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS GW	
			PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS		GP	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS		
		GRAVAS CON FINOS (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	FRACCION FINA NO PLASTICA (PARA LA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML, MAS ABAJO)		GM	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO	LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O I_p MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON I_p ENTRE 4 Y 7; CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES LIMITES DE ATTERBERG POR ENCIMA DE LA LINEA "A" O I_p MAYOR QUE 7	
			FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICARLOS VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)		GC	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA		
		ARENAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR EL TAMIZ # 4	ARENAS LIMPAS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS		SW	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 6 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS SW
				PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS		SP	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	
	ARENAS CON FINO (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)		FINOS NO PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML MAS ABAJO)		SM	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO MAL GRADUADAS	LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O I_p MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON I_p ENTRE 4 Y 7; CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES LIMITES DE ATTERBERG POR ENCIMA DE LA LINEA "A" O I_p MAYOR QUE 7	
			FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)		SC	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE ARENAS O ARCILLAS		
	METODOS DE IDENTIFICACION PARA LA FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 40							
	SUELOS DE GRANO FINO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ # 200		LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (A LA DISGREGACION)	DILATANCIA (REACCION A LA AGITACION)	TENACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)		
		NULA A LIGERA		RAPIDA A LENTA	NULA	ML	LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS, POLVO DE ROCA, ARENAS FINAS LIMOSAS O ARCILLAS CON LIGERA PLASTICIDAD	
		MEDIA A ALTA		NULA A MUY LENTA	MEDIA	CL	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD BAJA A MEDIA, ARCILLAS CON GRAVA, ARCILLAS ARENOSAS, ARCILLAS LIMOSAS, ARCILLAS MAGRAS	
LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50		LIGERA A MEDIA	LENTA	LIGERA	OL	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD		
		LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	MH	LIMOS INORGANICOS, SUELOS LIMOSOS O ARENOSOS FINOS MICACEOS O CON DIATOMEAS, LIMOS ELASTICOS		
		ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	CH	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD ELEVADA, ARCILLAS GRASAS		
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	OH	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA			
	FACILMENTE IDENTIFICABLES POR SU COLOR, OLOR, SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA				Pt	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		

DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMETRICA SEGUN EL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE:

$I_p < 4$ MENOS DEL 5%
 $4 < I_p < 7$ MAS DEL 12%
 $I_p > 7$ 5% AL 12%

CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL EMPLEO DE SIMBOLOS DOBLES

UTILICE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO INDICADAS EN LA COLUMNA DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO

GRAFICO DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION EN LABORATORIO DE SUELOS DE GRANO FINO

LINEA A: $I_p = 0.73(WL - 20)$

INDICE DE PLASTICIDAD vs. LIMITE LIQUIDO

Figura 6. Clasificación SUCS del suelo

Clasificación de suelos método AASHTO - NTP 339.135

Clasificación	Suelos Granulares ($\leq 35\%$ pasa N° 200)						Suelos Finos ($\geq 35\%$ pasa N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-Grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
N° 10	≤ 50										
N° 40	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
N° 200	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				≥ 36			
LL				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Tipo de Material	Gravas y Arenas	Arena Fina		Gravas y Arenas Limos o Arcillas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno						Regular a malo				

Figura 7. Clasificación AASHTO del suelo

Fuente: (MTC, 2014)

➤ Propiedades mecánicas

Proctor modificado - MTC E 115

Según el manual de ensayo de materiales del MTC E 115 este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en laboratorio, para determinar la relación entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) (MTC, 2016).

Método A

- Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)
- Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (N° 4).
- Número de capas: 5
- Golpes por capa: 25
- Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N° 4).
- Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen estos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

Equipos y herramientas

Pisón o martillo compactador, recipientes de metal, guantes, badilejo, probetas, recipientes de plástico, bandeja de metal, tamiz $\frac{3}{4}$ ", brocha, martillo, molde, molde, horno y balanza.

California Bearing Ratio (CBR) - MTC E 132

Según el manual de ensayo de materiales del MTC E 132 Este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. Por cada espécimen de suelo se calculan dos valores de CBR, uno a 0.1" de penetración, y el otro a 0.2" de penetración. El manual recomienda reportar el de 0.1" mientras este sea menor que el de 0.2", en el caso en el que el valor de CBR para 0.1" fuera mayor que el de 0.2" habría que repetir el ensayo para ese espécimen (MTC, 2016). El grado de compactación requerido será del 95% de su Máxima Densidad Seca (RNE, 2010).

Equipos y herramientas

Martillo, pisón compactador, molde, horno, probetas, recipientes de plástico y metal, bandeja de metal, tamiz N° $\frac{3}{4}$ ", guantes, badilejo, brocha y balanza.

- Valor de la relación de soporte: Es el tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón.

2.6.2.2. Tratamiento del suelo arcilloso

La muestra base (suelo más bolsa fundida) fue elaborada de la siguiente manera, se fundió las bolsas de polietileno, el líquido producto de la fundición se mezcló con el material del suelo arcilloso en la proporción 1:1 (un litro de bolsas de polietileno fundido y un kilo de material arcilloso). El agregado base constituido, sirvió para elaborar las muestras tomando proporciones de 0%, 4%, 8% y 12% respecto al peso seco de la muestra.

2.6.3. Fase de gabinete

2.6.3.1. Procesamiento y análisis de datos

Para esta investigación se procesaron los datos con el programa Microsoft Excel, y también analizamos los tratamientos propuestos con el método estadístico Diseño Completamente al Azar (DCA) específicamente la prueba de comparaciones múltiples Diferencia Mínima Significativa (DMS), los resultados se presentan en las Tabla 33.

III. RESULTADOS

3.1. Resumen de resultados de ensayos de las cinco repeticiones

Tabla 3. Resultados de ensayos de las cinco repeticiones

ADICIONES	REP.	LL (%)	LP (%)	IP (%)	SUCS	ASSHTO	MDS (Kg/cm ³)	OCH (%)	CBR 95 %
0% BPF	1	39.5	25.87	13.63	CL	A-6(9)	1.806	19.07	5.9
	2	39.6	26.9	12.7	ML	A-6(7)	1.715	18.1	5.6
	3	40.5	27.5	13	ML	A-7-6(9)	1.713	18.3	5.6
	4	38.6	23.9	14.7	CL	A-6(9)	1.707	17.9	5.7
	5	38.4	24.7	13.7	CL	A-6(5)	1.711	17.8	5
4% BPF	1	33.8	25.4	8.4	CL	A-4(4)	1.817	16.13	7.5
	2	34.6	27.1	7.5	ML	A-4(4)	1.739	16.2	7.1
	3	34.9	26.7	8.2	ML	A-4(3)	1.741	16.4	7.3
	4	33.7	23.4	10.3	CL	A-6(3)	1.737	16.3	7.1
	5	34.2	23.7	10.5	CL	A-6(3)	1.731	16.6	6.9
8% BPF	1	35.9	22.6	13.3	CL	A-6(6)	1.823	16.92	8.9
	2	35.4	23.6	11.8	CL	A-6(5)	1.783	15.8	9.5
	3	36	24	12	CL	A-6(6)	1.773	15.5	9.3
	4	35.5	24	11.5	CL	A-6(3)	1.785	15.2	9.6
	5	36.3	24.2	12.1	CL	A-6(3)	1.783	15.4	9.5
12% BPF	1	39	25.36	13.64	CL	A-6(7)	1.833	16.68	9.8
	2	37.8	23.7	14.1	CL	A-6(7)	1.793	15.3	9.9
	3	38.9	25.1	13.8	CL	A-6(7)	1.785	15.2	9.8
	4	37.5	24.6	12.9	CL	A-6(4)	1.801	15	9.9
	5	37.7	23.9	13.8	CL	A-6(4)	1.823	15.1	10.3

Donde:

REP.: Repeticiones de los ensayos realizados

LL: Límite Líquido

LP: Límite Plástico

IP: Índice Plástico

SUCS: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

ASSHTO: Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes

MDS: Máxima Densidad Seca

OCH: Óptimo Contenido de Humedad

CBR: California Bearing Ratio

BPF: Bolsas de Polietileno Fundido

En la Tabla 3; Se presenta todos los resultados de los ensayos realizados para cada variable en estudio, con respecto al IP se observa que el suelo natural varía de 12.7% a 14.7%, al añadir 4% BPF reduce su plasticidad de mediana a ligera y se observa que el suelo varía de 7.5% a 10.5%; con respecto a la clasificación de suelos con el método SUCS el suelo varía de ML (arcilla con ligera plasticidad) a CL (arcilla de plasticidad media a baja) y con el método ASSHTO el suelo varía de A-4(3) (suelo limo-arcilloso) a A-7-8(9) (suelo arcilloso); para el ensayo de proctor modificado la MDS de suelo natural varia de (1.707 a 1.806) kg/cm³, al añadir 12% BPF la MDS del suelo varia de (1.785 a 1.833) kg/cm³, por último el CBR del suelo natural varía de 5% a 5.9% lo cual indica que la subrasante es pobre en resistencia y necesita ser mejorada y al añadir 12% BPF el CBR varía de 9.8% a 10.3% lo cual indica que la subrasante es regular o buena.

Mediante el ensayo de análisis granulométrico por tamizado podemos clasificar el suelo según su textura donde indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño como la grava, la arena, el limo y la arcilla. El suelo en estudio en la presente investigación tiene la siguiente textura:

Grava: 0.75 % (Porcentaje retenido por el Tamíz N° 4)

Arena: 35.18 % (Porcentaje retenido por el Tamíz N° 200)

Limo y Arcilla: 64.07 % (Porcentaje que pasa por el Tamíz N° 200)

3.2. Detalle de resultados de ensayos de la primera repetición

3.2.1. Límites de consistencia

Tabla 4. Características del índice de plasticidad del suelo

CLASIFICACIÓN		LL	LP	IP	BPF
SUCS	AASHTO	(%)	(%)	(%)	(%)
CL	A-6(9)	39.5	25.87	13.63	0
CL	A-4(4)	33.8	25.4	8.4	4
CL	A-6(6)	35.9	22.69	13.21	8
CL	A-6(7)	39.0	25.36	13.64	12

En la Tabla 4; se puede observar que mediante el método AASHTO la muestra varía de A-6(9) (arcilla delgada con arena) a A-6(7) (arcilla delgada con arena). Así mismo mediante el método SUCS el suelo es clasificado como CL (suelo arcilloso de mediana a baja plasticidad).

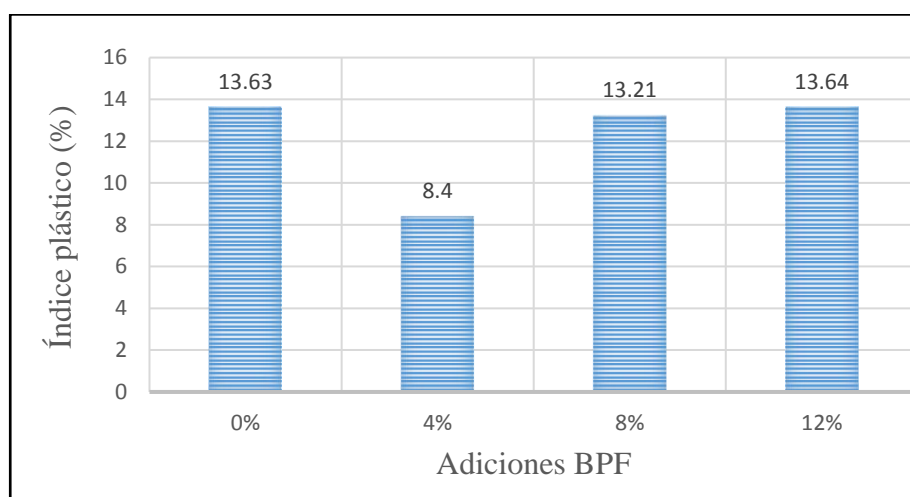


Figura 8. Índice plástico para diferentes adiciones BPF

En la Figura 8; se observa que al aumentar el porcentaje de BPF el índice de plasticidad aumenta, siendo 8.4 % el índice de plasticidad de la muestra con 4% de BPF y 13.64% el índice de plasticidad agregando 12% de BPF.

3.2.2. Proctor modificado

3.2.2.1. Proctor con 0% BPF

En la Tabla 4; se muestra los resultados del ensayo de proctor para un suelo arcilloso sin la adición de bolsas de polietileno fundido y se comporta de la siguiente manera:

Tabla 5. Proctor con 0% BPF

Proctor con 0% BPF				
Contenido de Humedad (%)	14.40	16.59	18.77	20.69
MDS (g/cm ³)	1.569	1.717	1.804	1.751
Cantidad de agua añadida (cm ³)	56.8	73.0	76.0	72.0

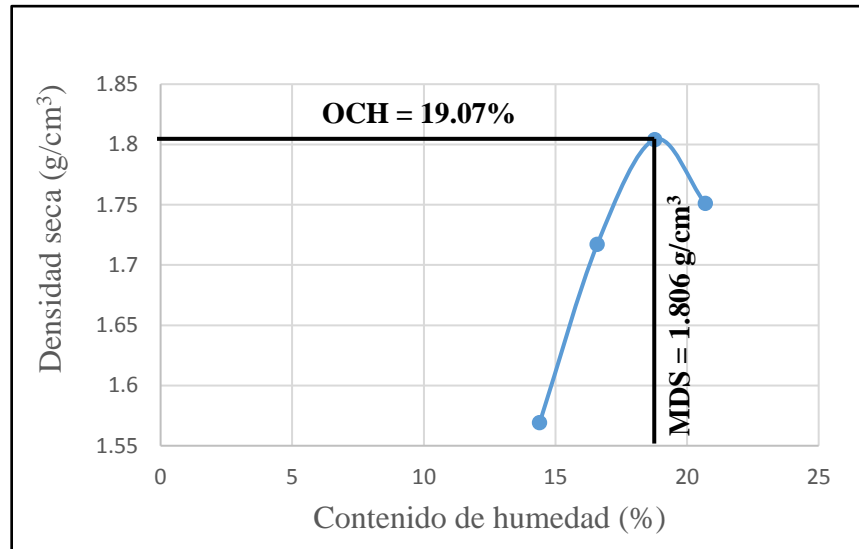


Figura 9. MDS y OCH del suelo con 0% BPF

En la Figura 9; para graficar la curva de compactación de los suelos se realiza cuatro ensayos de contenido de humedad y cuatro ensayos de densidad seca, se relaciona contenido de humedad y densidad seca, en el eje “x” se coloca los resultados del contenido de humedad y en el eje “y” se coloca los resultados de la densidad seca donde el pico más alto de la gráfica representa el óptimo contenido de humedad para el cual el suelo alcanza su máxima densidad seca.

3.2.2.2. Proctor con 4% BPF

En la Tabla 5; se muestra los resultados del ensayo de proctor para un suelo arcilloso con adición de 4% de BPF y se comporta de la siguiente manera:

Tabla 6. Proctor con 4% BPF

Proctor con 4% BPF				
Contenido de Humedad (%)	11.63	13.80	15.71	17.66
MDS (g/cm ³)	1.563	1.710	1.813	1.740
Cantidad de agua añadida (cm ³)	53.2	61.0	66.0	77.0

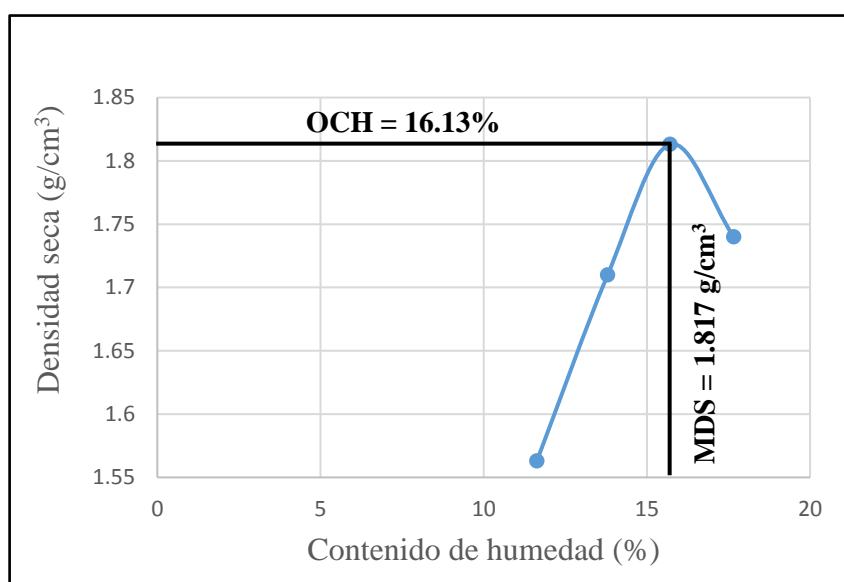


Figura 10. MDS y OCH del suelo con 4% BPF

En la Figura 10; para graficar la curva de compactación de los suelos se realiza cuatro ensayos de contenido de humedad y cuatro ensayos de densidad seca, se relaciona contenido de humedad y densidad seca, en el eje “x” se coloca los resultados del contenido de humedad y en el eje “y” se coloca los resultados de la densidad seca donde el pico más alto de la gráfica representa el óptimo contenido de humedad para el cual el suelo alcanza su máxima densidad seca.

3.2.2.3. Proctor con 8% BPF

En la Tabla 6; se muestra los resultados del ensayo de proctor para un suelo arcilloso con adición de 8% de BPF y se comporta de la siguiente manera:

Tabla 7. Proctor con 8% BPF

Proctor con 8% BPF				
Contenido de Humedad (%)	12.52	14.62	16.71	18.57
MDS (g/cm ³)	1.591	1.734	1.822	1.752
Cantidad de agua añadida (cm ³)	49.7	69.0	63.0	91.0

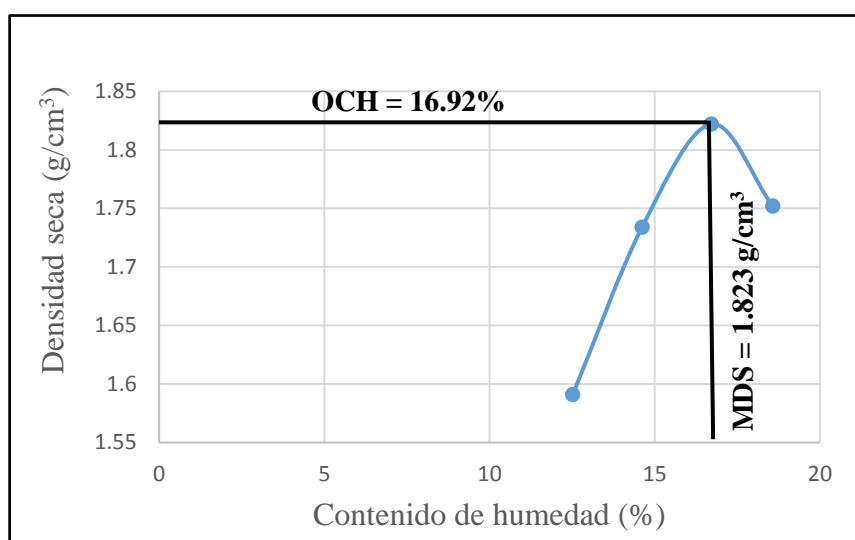


Figura 11. MDS y OCH del suelo con 8% BPF

En la Figura 11; para graficar la curva de compactación de los suelos se realiza cuatro ensayos de contenido de humedad y cuatro ensayos de densidad seca, se relaciona contenido de humedad y densidad seca, en el eje “x” se coloca los resultados del contenido de humedad y en el eje “y” se coloca los resultados de la densidad seca donde el pico más alto de la gráfica representa el óptimo contenido de humedad para el cual el suelo alcanza su máxima densidad seca.

3.2.2.4. Proctor con 12% BPF

En la Tabla 7; se muestra los resultados del ensayo de proctor para un suelo arcilloso con adición de 12% de BPF y se comporta de la siguiente manera:

Tabla 8. Proctor con 12% BPF

Proctor con 12% BPF				
Contenido de Humedad (%)	12.38	14.29	16.06	18.31
MDS (g/cm ³)	1.603	1.740	1.825	1.770
Cantidad de agua añadida (cm ³)	59.8	65.0	71.0	78.0

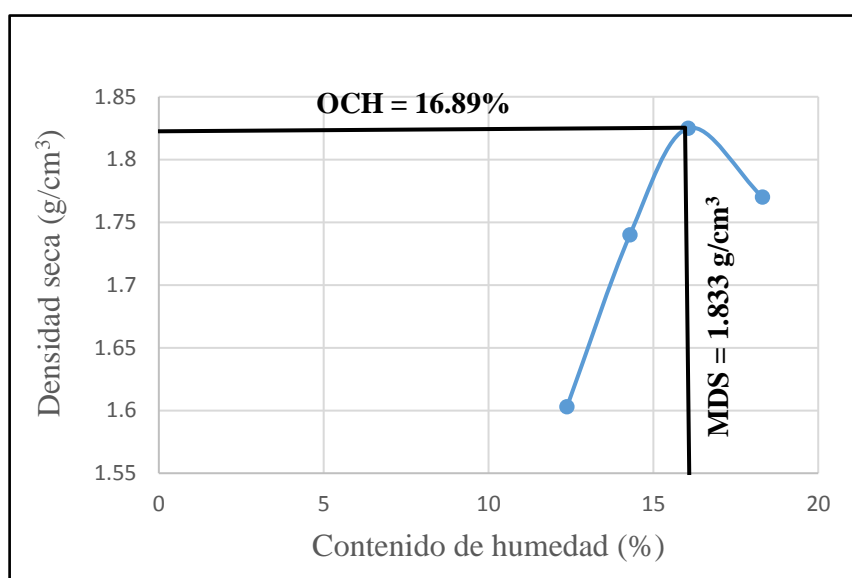


Figura 12. MDS y OCH del suelo con 12% BPF

En la figura 12; para graficar la curva de compactación de los suelos se realiza cuatro ensayos de contenido de humedad y cuatro ensayos de densidad seca, se relaciona contenido de humedad y densidad seca, en el eje “x” se coloca los resultados del contenido de humedad y en el eje “y” se coloca los resultados de la densidad seca donde el pico más alto de la gráfica representa el óptimo contenido de humedad para el cual el suelo alcanza su máxima densidad seca.

Tabla 9. Resumen de la MDS y OCH del suelo

Proctor modificado		
MDS (g/cm ³)	OCH (%)	BPF (%)
1.806	19.07	0
1.817	16.13	4
1.823	16.92	8
1.833	16.68	12

Fuente: Laboratorio de suelos E.M.P. ASFALTOS

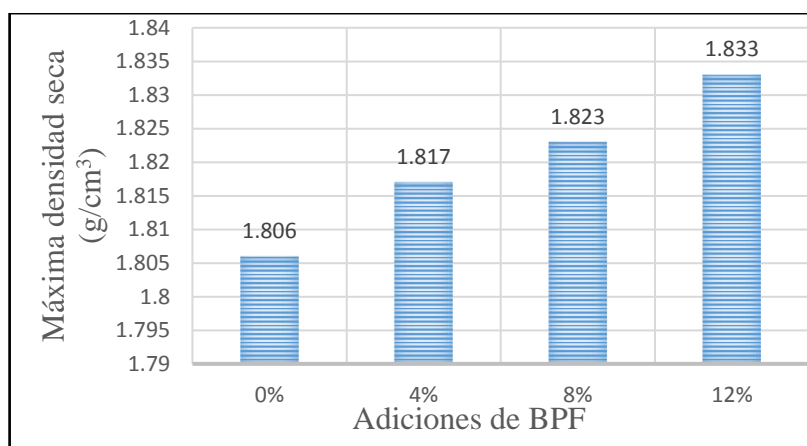


Figura 13. MDS para las diferentes adiciones de BPF

En la Figura 13; se observa que la máxima densidad seca aumenta a medida que se adiciona el porcentaje de BPF.

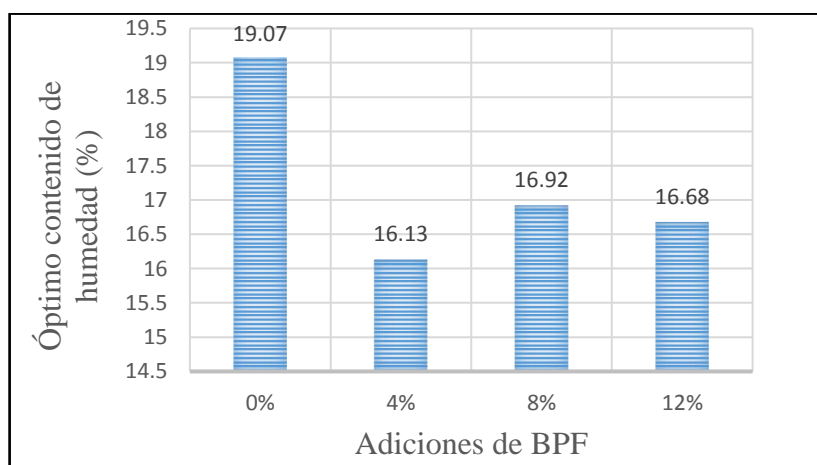


Figura 14. OCH para las diferentes adiciones de BPF

En la Figura 14; se observa que disminuye el óptimo contenido humedad si se añade BPF con respecto al suelo en estado natural.

3.2.3. California Bearing Ratio (CBR)

3.2.3.1. CBR con 0% BPF

Ensayo de California Bearing Ratio para un suelo arcilloso sin adición de bolsas de polietileno fundido, se comporta de la siguiente manera (Tabla 10).

Tabla 10. CBR con 0% BPF

CBR a 0.2" (5.08 mm) de penetración	
CBR al 100% de la MDS(%)	9.6
CBR al 95% de la MDS(%)	7.7
CBR a 0.1" (2.54 mm) de penetración	
CBR al 100% de la MDS(%)	7.3
CBR al 95% de la MDS(%)	5.9

Fuente: Laboratorio de suelos E.M.P. ASFALTOS

3.2.3.2. CBR con 4% BPF

Ensayo de California Bearing Ratio para un suelo arcilloso con adición de 4% de BPF, se comporta de la siguiente manera (Tabla 11).

Tabla 11. CBR con 4% BPF

CBR a 0.2" (5.08 mm) de penetración	
CBR al 100% de la MDS (%)	13.8
CBR al 95% de la MDS (%)	9.5
CBR a 0.1" (2.54 mm) de penetración	
CBR al 100% de la MDS (%)	10.8
CBR al 95% de la MDS (%)	7.5

Fuente: Laboratorio de suelos E.M.P. ASFALTOS

3.2.3.3. CBR con 8% BPF

Ensayo de California Bearing Ratio para un suelo arcilloso con adición de 8% de BPF, se comporta de la siguiente manera (Tabla 12).

Tabla 12. CBR con 8% BPF

CBR a 0.2" (5.08 mm) de penetración	
CBR al 100% de la MDS (%)	15.9
CBR al 95% de la MDS (%)	11.3
CBR a 0.1" (2.54 mm) de penetración	
CBR al 100% de la MDS (%)	13.2
CBR al 95% de la MDS (%)	8.9

Fuente: Laboratorio de suelos E.M.P. ASFALTOS

3.2.3.4. CBR con 12% BPF

Ensayo de California Bearing Ratio para un suelo arcilloso con adición de 12% de BPF, se comporta de la siguiente manera (Tabla 13).

Tabla 13. CBR con 12% BPF

CBR a 0.2" (5.08 mm) de penetración	
CBR al 100% de la MDS (%)	19.4
CBR al 95% de la MDS (%)	12.6
CBR a 0.1" (2.54 mm) de penetración	
CBR al 100% de la MDS (%)	15.1
CBR al 95% de la MDS (%)	9.8

Fuente: Laboratorio de suelos E.M.P. ASFALTOS

Tabla 14. Resumen de las Características del CBR al 95%

CBR 95%	BPF (%)
5.9	0
7.5	4
8.9	8
9.8	12

Fuente: Laboratorio de suelos E.M.P. ASFALTOS

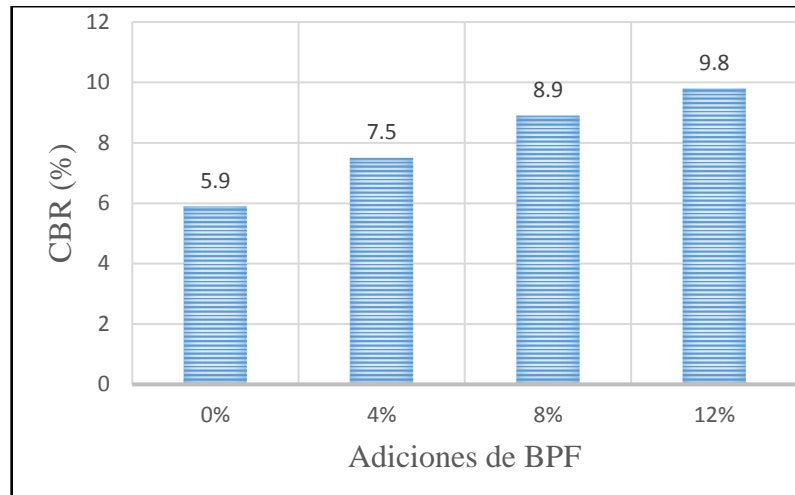


Figura 15. CBR al 95% para los diferentes porcentajes de adición de BPF

En la Figura 15; se observa que el valor del CBR al 95% de la máxima densidad seca y a una penetración de carga de 0.1” aumenta a medida que se adiciona el porcentaje de BPF.

Tabla 15. Resumen de las Características del CBR al 100%

CBR 100%	BPF(%)
7.3	0
10.8	4
13.2	8
15.1	12

Fuente: Laboratorio de suelos E.M.P. ASFALTOS

3.3. Análisis estadístico

3.3.1. Análisis de varianza y prueba de comparaciones múltiples Diferencia Mínima Significativa (DMS)

Para la probabilidad:

- Si $F_c < F_t 5\%$ y $F_t 1\%$ \implies Nomenclatura (ns) = No hay diferencia significativa entre las adiciones de bolsas de polietileno fundido.
- Si $F_t 5\% < F_c < F_t 1\%$ \implies Nomenclatura (*) = Hay diferencia significativa entre las adiciones de bolsas de polietileno fundido.

- Si $F_c > F_t 5\%$ y $F_t 1\%$ \implies Nomenclatura (* *) = Hay diferencia altamente significativa entre las adiciones de bolsas de polietileno fundido.

$F_t 5\%$ y $F_t 1\%$ son valores que se obtiene mediante las tablas de cuantiles de la distribución F y T-Student (Ver Anexo 2 A y B)

Para el coeficiente de variación (CV)

Cuando el $CV < 35\%$, indica que los datos medidos en el experimento son confiables y en consecuencia las conclusiones emanadas del análisis de varianza tienen validez.

Cuando el $CV > 35\%$, indica que los datos medidos en el experimento no son confiables y en consecuencia las conclusiones emanadas del análisis de varianza no tienen validez.

Planteamiento de la hipótesis para análisis de varianza

Hipótesis nula (H_0) : $T_0 = T_1 = T_2 = T_3$

Hipótesis alterna (H_a) : Al menos 2 son diferentes

Planteamiento de la hipótesis para DMS

H_0 : $U_i = U_j$ No se establece la diferencia de las medias

H_1 : $U_i \neq U_j$ Las medias son diferentes

Criterios de rechazo

$|Y_i - Y_j| \leq DMS$ No se rechaza la hipótesis nula

$|Y_i - Y_j| \geq DMS$ Se rechaza la hipótesis nula

Leyenda: 0 % = T_0

4 % = T_1

8 % = T_2

12 % = T_3

A continuación, en la Tabla 16; se detalla todos los resultados de los ensayos realizados para las variables en estudio Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP), Índice Plástico (IP), Máxima Densidad Seca (MDS), Óptimo Contenido de Humedad (OCH) y California Bearing Ratio (CBR) a partir de los datos obtenidos realizamos el análisis estadístico.

Tabla 16. Matriz base para el análisis estadístico

Ensayos	Adiciones	Repeticiones					Σ Combin.
		1	2	3	4	5	
Límite líquido (LL)	0%	39.5	39.6	40.5	38.6	38.4	196.6
	4%	33.8	34.6	34.9	33.7	34.2	171.2
	8%	35.9	35.4	36	35.5	36.3	179.1
	12%	39	37.8	38.9	37.5	37.7	190.9
Límite plástico (LP)	0%	25.87	26.9	27.5	23.9	24.7	128.87
	4%	25.4	27.1	26.7	23.4	23.7	126.3
	8%	22.6	23.6	24	24	24.2	118.4
	12%	25.36	23.7	25.1	24.6	23.9	122.66
Índice plástico (IP)	0%	13.63	12.7	13	14.7	13.7	67.73
	4%	8.4	7.5	8.2	10.3	10.5	44.9
	8%	13.3	11.8	12	11.5	12.1	60.7
	12%	13.64	14.1	13.8	12.9	13.8	68.24
Máxima densidad seca (MDS)	0%	1.806	1.715	1.713	1.707	1.711	8.652
	4%	1.817	1.739	1.741	1.737	1.731	8.765
	8%	1.823	1.783	1.773	1.785	1.783	8.947
	12%	1.833	1.793	1.785	1.801	1.823	9.035
Óptimo contenido de humedad (OCH)	0%	19.07	18.1	18.3	17.9	17.8	91.17
	4%	16.13	16.2	16.4	16.3	16.6	81.63
	8%	16.92	15.8	15.5	15.2	15.4	78.82
	12%	16.68	15.3	15.2	15	15.1	77.28
California Bearing Ratio CBR	0%	5.9	5.6	5.6	5.7	5	27.8
	4%	7.5	7.1	7.3	7.1	6.9	35.9
	8%	8.9	9.5	9.3	9.6	9.5	46.8
	12%	9.8	9.9	9.8	9.9	10.3	49.7

3.3.1.1. Límite líquido (LL)

$$\text{Factor de corrección} = 27217.442$$

$$\text{Coeficiente de variación (\%)} = 1.73$$

Tabla 17. Análisis de varianza para LL

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 5%	Ft 1%
TRAT.	3	78.682	26.227	64.6		
EE	16	6.496	0.406		3.24	5.29
TOTAL	19	85.178		(**)		

Donde:

FV: Fuente de Variación

GL: Grados de Libertad

SC: Suma de Cuadrados

CM: Cuadrados Medios

EE: Error Experimental

Como el Fc es mayor que el Ft 5% y el Ft 1% se rechaza la hipótesis nula, la diferencia es altamente significativa entre adiciones de bolsas de polietileno fundido. Al rechazar la hipótesis nula podemos proceder a realizar la prueba de comparaciones múltiples DMS.

Cálculo de parámetros

$n = 5$ $\alpha = 0.05$ (5% Diferencias significativas)

GLEE = 16

T - Student= 1.7459

$$DMS = t(\alpha, GLEE) \sqrt{\frac{2CME}{n}}$$

$$DMS = (1.7459) \sqrt{\frac{2(0.406)}{5}}$$

DMS = 0.704

Tabla 18. Promedio de tratamientos para LL

Ensayo	Repeticiones	Tratamientos o adiciones aplicadas			
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
Límite líquido (LL)	1	39.5	33.8	35.9	39
	2	39.6	34.6	35.4	37.8
	3	40.5	34.9	36	38.9
	4	38.6	33.7	35.5	37.5
	5	38.4	34.2	36.3	37.7
Medias de los tratamientos		39.32	34.24	35.82	38.18
Orden de mayor a menor (→)		T ₀ 39.32	T ₃ 38.18	T ₂ 35.82	T ₁ 34.24

Tabla 19. Combinación de tratamientos para LL

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	Resultados	Conclusión
T ₀ - T ₃	1.14	1.14 > 0.704	T ₀ ≠ T ₃
T ₀ - T ₂	3.5	3.5 > 0.704	T ₀ ≠ T ₂
T ₀ - T ₁	5.08	5.08 > 0.704	T ₀ ≠ T ₁
T ₃ - T ₂	2.36	2.36 > 0.704	T ₃ ≠ T ₂
T ₃ - T ₁	3.94	3.94 > 0.704	T ₃ ≠ T ₁
T ₂ - T ₁	1.58	1.58 > 0.704	T ₂ ≠ T ₁

Orden de menor a mayor (→)

(T ₁) 34.24	T ₂ 35.82	(T ₃) 38.18	T ₀ 39.32
----------------------------	-------------------------	----------------------------	-------------------------

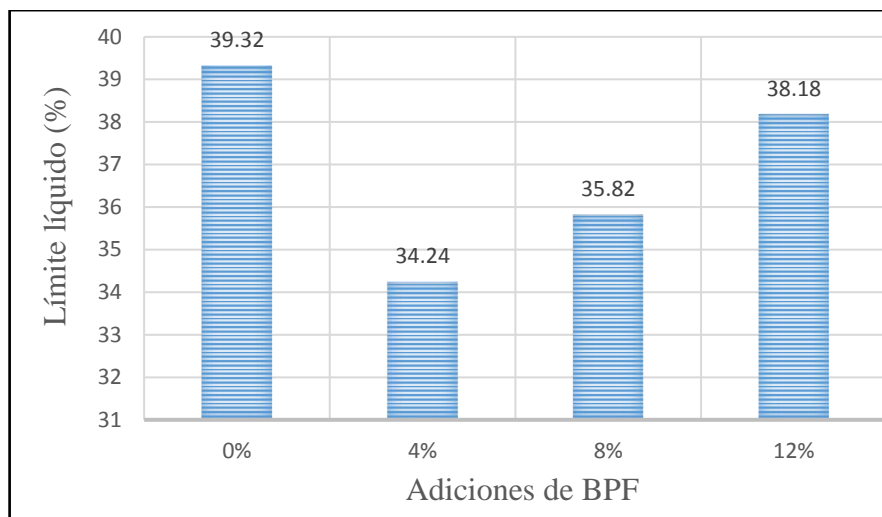


Figura 16. Comportamiento del límite líquido

Todos los tratamientos se comportan de diferente manera, donde el tratamiento 4% (T₁) tiene mejor comportamiento en el límite líquido y el tratamiento 12% (T₃) es el más desfavorable.

3.3.1.2. Límite plástico (LP)

Factor de corrección = 12312.211

Coefficiente de variación (%) = 4.94

Tabla 20. Análisis de varianza para LP

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 5%	Ft 1%
TRAT.	3	12.430	4.143	2.76 (ns)	3.24	5.29
EE	16	24.046	1.503			
TOTAL	19	36.476				

Como el Fc es menor que el Ft 5% y el Ft 1% se acepta la hipótesis nula, no hay diferencia significativa entre adiciones de bolsas de polietileno fundido. Al aceptar la hipótesis nula no podemos proceder a realizar la prueba de comparaciones múltiples DMS.

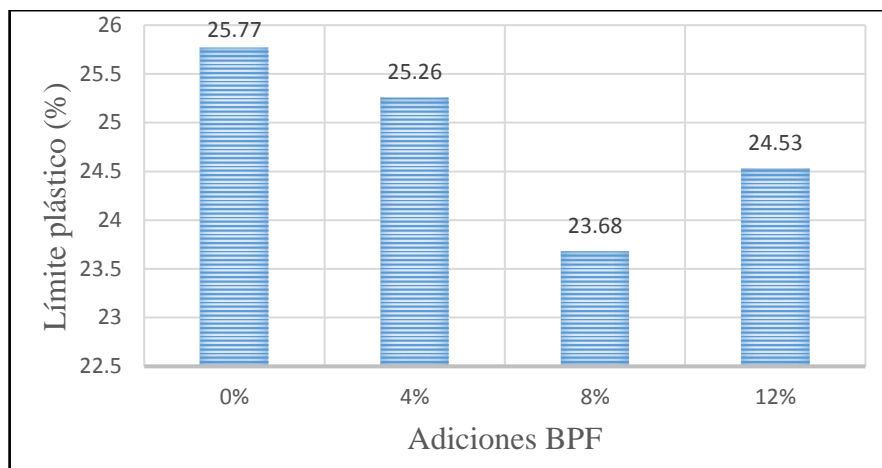


Figura 17. Comportamiento del límite plástico

Todos los tratamientos 4% (T₁), 8% (T₂) y 12% (T₃) se comportan de igual manera con respecto al límite plástico.

3.3.1.3. Índice plástico (IP)

Factor de corrección = 2917.803

Coefficiente de variación (%) = 7.25

Tabla 21. Análisis de varianza para IP

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 5%	Ft 1%
TRAT.	3	71.107	23.702	30.92 (**)	3.24	5.29
EE	16	12.266	0.767			
TOTAL	19	83.373				

Como el Fc es mayor que el Ft 5% y el Ft 1% se rechaza la hipótesis nula, hay diferencia altamente significativa entre adiciones de bolsas de polietileno fundido. Al rechazar la hipótesis nula podemos proceder a realizar la prueba de comparaciones múltiples DMS.

Cálculo de parámetros

T - Student = 1.7459

DMS = 0.967

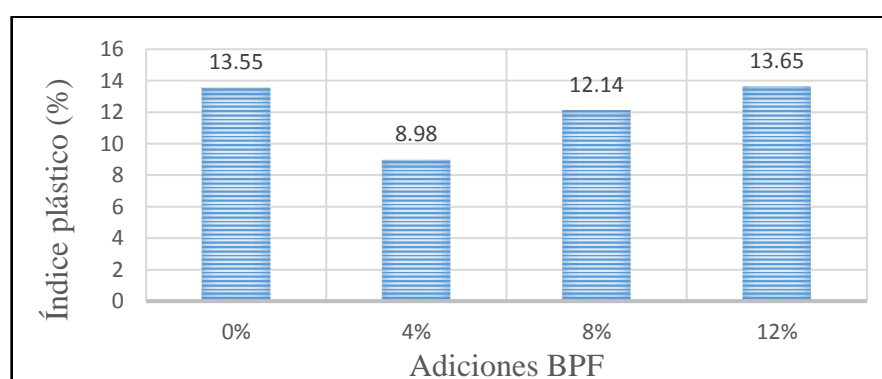
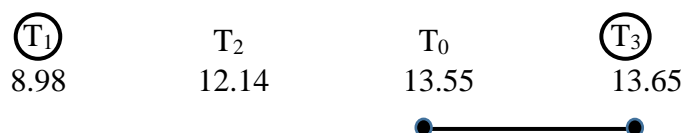
Tabla 22. Promedio de tratamientos para IP

Ensayo	Repeticiones	Tratamientos o adiciones aplicadas			
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
Índice plástico (IP)	1	13.63	8.4	13.3	13.64
	2	12.7	7.5	11.8	14.1
	3	13	8.2	12	13.8
	4	14.7	10.3	11.5	12.9
	5	13.7	10.5	12.1	13.8
Medias de los tratamientos		13.55	8.98	12.14	13.65

Tabla 23. Combinación de tratamientos para IP

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	Resultados	Conclusión
T ₃ – T ₀	0.10	0.10 < 0.967	T ₃ = T ₀
T ₃ – T ₂	1.51	1.51 > 0.967	T ₃ ≠ T ₂
T ₃ – T ₁	4.67	4.67 > 0.967	T ₃ ≠ T ₁
T ₀ – T ₂	1.41	1.41 > 0.967	T ₀ ≠ T ₂
T ₀ – T ₁	4.57	4.57 > 0.967	T ₀ ≠ T ₁
T ₂ – T ₁	3.16	3.16 > 0.967	T ₂ ≠ T ₁

Orden de menor a mayor (→)

**Figura 18.** Comportamiento del índice plástico

El tratamiento 4% (T₁) presenta mejor comportamiento en el índice plástico y el tratamiento 12% (T₃) es el más desfavorable.

3.3.1.4. Máxima densidad seca (MDS)

Factor de corrección = 62.654

Coefficiente de variación (%) = 1.76

Tabla 24. Análisis de varianza para MDS

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 5%	Ft 1%
TRAT.	3	0.0180	0.00600	6.20 (**)	3.24	5.29
EE	16	0.0155	0.00097			
TOTAL	19	0.0335				

Como el Fc es mayor que el Ft 5% y el Ft 1% se rechaza la hipótesis nula, hay diferencia altamente significativa entre adiciones de bolsas de polietileno fundido. Al rechazar la hipótesis nula podemos proceder a realizar la prueba de comparaciones múltiples DMS.

Cálculo de parámetros

T – Student= 1.7459

DMS = 0.034

Tabla 25. Promedio de tratamientos para MDS

Ensayo	Repeticiones	Tratamientos o adiciones aplicadas			
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
Máxima densidad seca (MDS)	1	1.806	1.817	1.823	1.833
	2	1.715	1.739	1.783	1.793
	3	1.713	1.741	1.773	1.785
	4	1.707	1.737	1.785	1.801
	5	1.711	1.731	1.783	1.823
Medias de los tratamientos		1.730	1.753	1.789	1.807

Tabla 26. Combinación de tratamientos para MDS

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	Resultados	Conclusión
$T_3 - T_2$	0.018	$0.018 < 0.034$	$T_3 = T_2$
$T_3 - T_1$	0.054	$0.054 > 0.034$	$T_3 \neq T_1$
$T_3 - T_0$	0.077	$0.077 > 0.034$	$T_3 \neq T_0$
$T_2 - T_1$	0.036	$0.036 > 0.034$	$T_2 \neq T_1$
$T_2 - T_0$	0.059	$0.059 > 0.034$	$T_2 \neq T_0$
$T_1 - T_0$	0.023	$0.023 < 0.034$	$T_1 = T_0$

Orden de menor a mayor (\rightarrow)

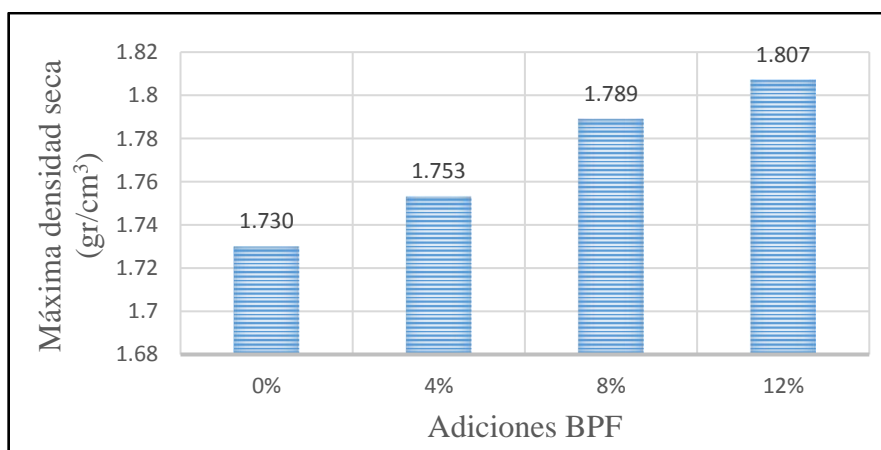


Figura 19. Comportamiento de la máxima densidad seca

Los tratamientos 12% (T_3) y 8% (T_2) presentan mejor incidencia en la máxima densidad seca y el tratamiento 4% (T_1) presenta menor incidencia.

3.3.1.5. Óptimo contenido de humedad (OCH)

Factor de corrección = 5408.761

Coefficiente de variación (%) = 3.38

Tabla 27. Análisis de varianza para OCH

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 5%	Ft 1%
TRAT.	3	23.283	7.761	25.15 (**)	3.24	5.29
EE	16	4.937	0.309			
TOTAL	19	28.220				

Como el Fc es mayor que el Ft 5% y el Ft 1% se rechaza la hipótesis nula, hay diferencia altamente significativa entre adiciones de bolsas de polietileno fundido. Al rechazar la hipótesis nula podemos proceder a realizar la prueba de comparaciones múltiples DMS.

Cálculo de parámetros

$$T - \text{Student} = 1.7459$$

$$\text{DMS} = 0.614$$

Tabla 28. Promedio de tratamientos para OCH

Ensayo	Repeticiones	Tratamientos o adiciones aplicadas			
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
Óptimo contenido de humedad (OCH)	1	19.07	16.13	16.92	16.68
	2	18.1	16.2	15.8	15.3
	3	18.3	16.4	15.5	15.2
	4	17.9	16.3	15.2	15
	5	17.8	16.6	15.4	15.1
Medias de los tratamientos		18.23	16.33	15.76	15.46

Tabla 29. Combinación de tratamientos para OCH

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	Resultados	Conclusión
T ₀ - T ₁	1.9	1.9 > 0.614	T ₀ ≠ T ₁
T ₀ - T ₂	2.47	2.47 > 0.614	T ₀ ≠ T ₂
T ₀ - T ₃	2.77	2.77 > 0.614	T ₀ ≠ T ₃
T ₁ - T ₂	0.57	0.57 < 0.614	T ₁ = T ₂
T ₁ - T ₃	0.87	0.87 > 0.614	T ₁ ≠ T ₃
T ₂ - T ₃	0.3	0.3 < 0.614	T ₂ = T ₃

Orden de menor a mayor (→)

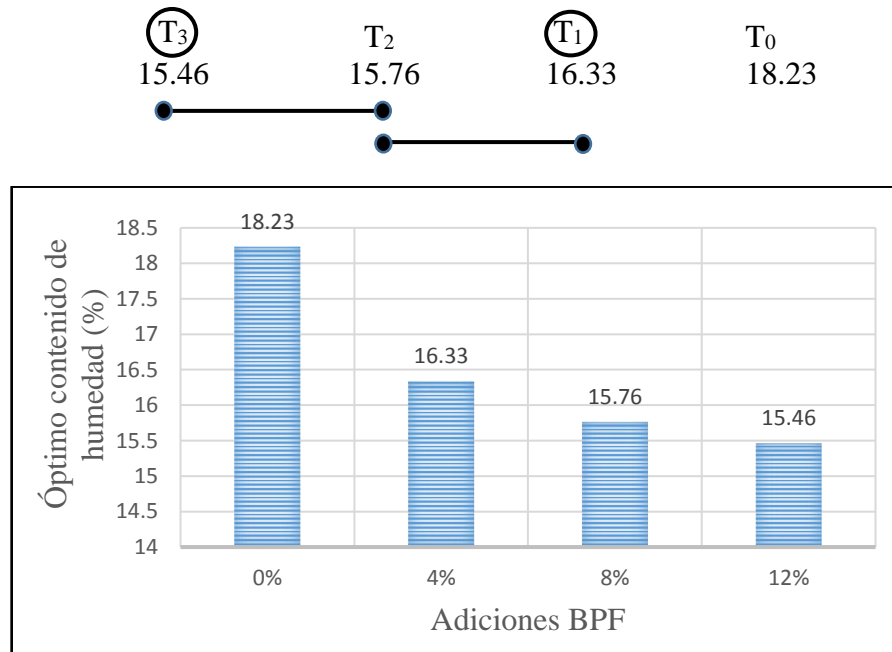


Figura 20. Comportamiento del óptimo contenido de humedad

El tratamiento 12% (T₃) presenta mejor comportamiento en el óptimo contenido de humedad y el tratamiento 4% (T₁) presenta menor incidencia.

3.3.1.6. California Bearing Ratio (CBR)

Factor de corrección = 1283.202

Coefficiente de variación (%) = 3.34

Tabla 30. Análisis de varianza para CBR

FV	GL	SC	CM	Fc	Ft 5%	Ft 1%
TRAT.	3	61.194	20.398	285.29 (**)	3.24	5.29
EE	16	1.144	0.072			
TOTAL	19	62.338				

Como el Fc es mayor que el Ft 5% y el Ft 1% se rechaza la hipótesis nula, hay diferencia altamente significativa entre adiciones de bolsas de polietileno fundido. Al rechazar la hipótesis nula podemos proceder a realizar la prueba de comparaciones múltiples DMS.

Cálculo de parámetros

T - Student= 1.7459

DMS = 0.296

Tabla 31. Promedio de tratamientos para CBR

Ensayo	Repetic.	Tratamientos o adiciones aplicadas			
		T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
California Bearing Ratio (CBR)	1	5.9	7.5	8.9	9.8
	2	5.6	7.1	9.5	9.9
	3	5.6	7.3	9.3	9.8
	4	5.7	7.1	9.6	9.9
	5	5	6.9	9.5	10.3
Medias de los tratamientos		5.6	7.2	9.4	9.9

Tabla 32. Combinación de tratamientos para el CBR

Diferencia de niveles	Diferencia de las medias	Resultados	Conclusión
T ₃ - T ₂	0.5	0.5 > 0.296	T ₃ ≠ T ₂
T ₃ - T ₁	2.7	2.7 > 0.296	T ₃ ≠ T ₁
T ₃ - T ₀	4.3	4.3 > 0.296	T ₃ ≠ T ₀
T ₂ - T ₁	2.2	2.2 > 0.296	T ₂ ≠ T ₁
T ₂ - T ₀	3.8	3.8 > 0.296	T ₂ ≠ T ₀
T ₁ - T ₀	1.6	1.6 > 0.296	T ₁ ≠ T ₀

Discusión

Orden de menor a mayor (→)

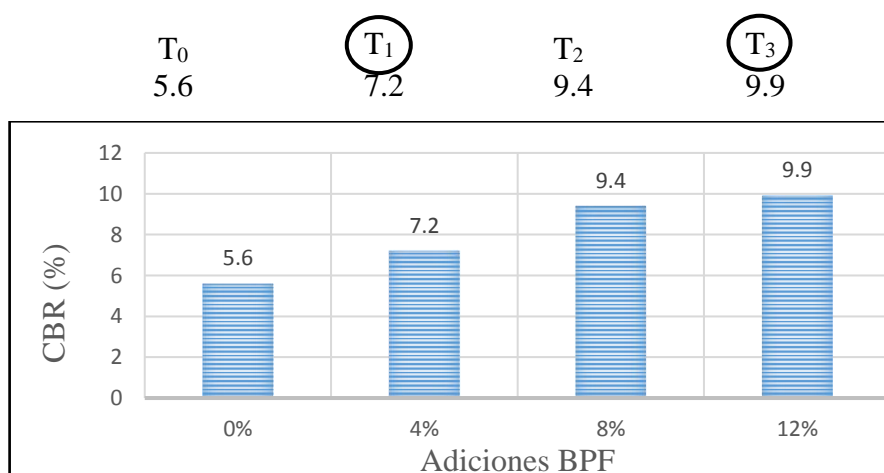


Figura 21. Comportamiento del CBR

Todos los tratamientos se comportan de diferente manera, donde el tratamiento 12% (T₃) tiene mejor incidencia en el CBR del suelo en estudio y el tratamiento 4% (T₁) es el que presenta menor incidencia.

3.3.2. Resultados del análisis de varianza y prueba estadística diferencia mínima significativa (DMS)

Tabla 33. Resultados del análisis de varianza y prueba estadística diferencia mínima significativa (DMS)

Variables	Análisis de varianza			Diferencia Mínima Significativa
	Fc	Ft5%	Ft1%	
Límite líquido (LL)	64.6 (* *)	3.24	5.29	Mayor incidencia 4% T ₁ = 34.24% Menor incidencia 12% T ₃ = 38.18%
Límite plástico (LP)	2.76 (ns)	3.24	5.29	Todos los tratamientos 4% (T ₁), 8% (T ₂) y 12% (T ₃) se comportan de la misma manera
Índice plástico (IP)	30.92 (* *)	3.24	5.29	Mayor incidencia 4% T ₁ = 8.98% Menor incidencia 12% T ₃ = 13.65%
Máxima densidad seca (MDS)	6.20 (* *)	3.24	5.29	Mayor incidencia 8% (T ₂) y 12% (T ₃) = (1.789-1.807) gr/cm ³ Menor incidencia 4% T ₁ = 1.753 gr/cm ³
Óptimo contenido de humedad (OCH)	25.15 (* *)	3.24	5.29	Mayor incidencia 12% T ₃ = 15.46% Menor incidencia 4% T ₁ = 16.33%
California Bearing Ratio (CBR)	285.29 (* *)	3.24	5.29	Mayor incidencia 12% T ₃ = 9.9% Menor incidencia 4% T ₁ = 7.2%

En la Tabla 33; se presenta los tratamientos según el análisis estadístico que presentó mayor y menor incidencia en cada variable de estudio.

3.4. Análisis de costos unitarios

A continuación, se hace el análisis de costos unitarios para las partidas más importantes que involucra el desarrollo del tema en investigación, siendo estos la estabilización de la subrasante con la adición del 12% de BPF con respecto al peso de la muestra. Para el análisis se ha considerado el ancho de vía de 6 metros y 100 metros de vía equivalente a 600 m² de vía y un espesor de 0.15 metros.

Tabla 34. Costo de producción de material estabilizante (BPF)

Rendimiento: 100 m ² /día		Costo unitario directo por: m ²		54.09	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Peón	hh	3.0000	0.2400	14.91	3.58
					3.58
Equipos					
Mini cargador BOB CAT 953	hm	1.0000	0.0800	100.00	8.00
Camión volquete de 10 m ³	hm	1.0000	0.0800	150.00	12.00
Máquina fundidora de bolsas de polietileno	hm	1.0000	0.0800	260.00	20.80
Camión baranda (4TN)	hm	1.0000	0.0800	120.00	9.60
Herramientas manuales	%mo		3	3.58	0.11
					50.51

Tabla 35. Presupuesto para realizar la estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de 12% BPF

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	Obras preliminares				3,876.00
01.01	Limpieza del terreno con equipo	m ²	600.00	0.60	360.00
01.02	Estabilización de subrasante con adición de BPF, e=15 cm	m ²	600.00	5.86	3,516.00
Costo Directo				3,876.00	
Son: Tres mil ochocientos setentiseis y 00/100 nuevos soles					

Tabla 36. Análisis de precios unitarios para realizar la estabilización

01.01 Limpieza de terreno con equipo					
Rendimiento: 4,000 m ² /día		Costo unitario directo por: m ²		0.60	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Capataz	hh	1.0000	0.0020	22.50	0.05
Peón	hh	2.0000	0.0040	14.91	0.06
Vigías	hh	2.0000	0.0040	14.91	0.06
					0.17
Equipos					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	0.17	0.01
Motoniveladora CAT 120B	hm	1.0000	0.0020	210.00	0.42
					0.43
01.02 Estabilización de subrasante con adición de bolsas de polietileno fundido al 12%, e=15 cm					
Rendimiento: 1,100 m ² /día		Costo unitario directo por: m ²		5.86	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Capataz	hh	1.0000	0.0073	22.50	0.16
Peón	hh	3.0000	0.0218	14.91	0.33
Vigías	hh	2.0000	0.0145	14.91	0.22
					0.71
Materiales					
Material estabilizante (Bolsas de Polietileno Fundido)	m ²		0.0180	54.09	0.97
					0.97
Equipos					
Rodillo neumático	hm	1.0000	0.0073	190.00	1.39
Motoniveladora CAT 120B	hm	1.0000	0.0073	210.00	1.53
Camión cisterna 3000 gl (Agua)	hm	1.0000	0.0073	170.00	1.24
Herramientas manuales	%mo		3.0000	0.71	0.02
					4.18

Por lo tanto, el costo unitario por m² para realizar la estabilización del suelo arcilloso a nivel de subrasante es de 6.46 soles.

IV. DISCUSIÓN

Mediante el estudio realizado, se acepta la hipótesis planteada donde constituye que la adición de bolsas de polietileno fundido influye en el mejoramiento de un suelo arcilloso a nivel de subrasante, puesto que el índice de plasticidad disminuye y el CBR tienden a aumentar mediante la adición de bolsas de polietileno fundido.

La presente investigación presenta diferencia con lo que sostiene (Ramos, 2014), donde estudia el mismo material arcilloso con mediana plasticidad, pero observa que el CBR aumenta hasta un cierto porcentaje de adición de polímeros reciclados (PR) luego tiende a disminuir caso contrario sucede en la presente investigación ya que el valor del CBR aumenta a medida que se adiciona el porcentaje de bolsas de polietileno fundido.

La presente tesis guarda relación con lo expuesto por (Leiva, 2016) para sus propiedades mecánicas donde concluye que la adición de bolsas de polietileno en forma de grumos logra un aumento promedio del CBR de 7.98%, con un tratamiento de 6% y en los resultados obtenidos en la presente investigación se observa que presenta un aumento promedio del CBR de 9.8% con el tratamiento 12%. Al mismo tiempo presenta diferencia en sus propiedades físicas (Leiva, 2016) demuestra que a medida que se adiciona el porcentaje de aditivo el índice de plasticidad disminuye, caso contrario sucede en la presente investigación se observa que a medida que se adiciona el porcentaje de BPF el índice de plasticidad aumenta.

Se encuentra semejanza entre la presente investigación y lo que sostiene (López, 2013), donde ha demostrado que a medida que la cantidad de porcentaje de fibra de plástico reciclado (PET) aumenta, la resistencia del suelo también aumenta, en la presente investigación también sucede lo mismo ya que el CBR aumenta a medida que se adiciona el porcentaje de bolsas de polietileno fundido (BPF). Pero no pasa lo mismo con lo que demuestra (Leiva, 2016) y (Núñez & Gil, 2018) ya que si aumentamos más aditivo el CBR tiende a disminuir.

El presente trabajo tiene relación con la investigación propuesta por (Núñez & Gil, 2018) en la cual demuestra que los parámetros de compactación del suelo y a partir de mezclas de suelo arcilloso con fibras de PET reciclado variando el porcentaje de adición al 0.3%,

0.6%, 0.9%, 1.2% y 1.5% del peso seco del suelo. La máxima densidad seca del suelo varía mínimamente conforme aumenta la dosificación de la fibra, caso similar sucede en la presente investigación ya que si adicionamos más el porcentaje de bolsas de polietileno fundido mejor comportamiento la máxima densidad seca también aumenta.

Se encuentra diferencia entre la presente investigación y lo que sostiene (Cuipal, 2018) donde demuestra que con el menor porcentaje de adición de polímero sintético logra una mejor incidencia en las propiedades mecánicas del suelo, caso contrario sucede en la presente investigación ya que es el mayor porcentaje de adición de bolsas de polietileno fundido quien presenta mejor incidencia en las propiedades mecánicas del suelo.

La presente investigación resulta más económica en relación con lo que propone (Laurente, 2011) al añadir cal a la subrasante el costo unitario por m^2 es 11.48 soles, en cambio para el presente estudio al añadir bolsas de polietileno fundido a la subrasante del suelo arcilloso el costo unitario por m^2 es 6.46 soles.

V. CONCLUSIONES

La adición de bolsas de polietileno fundido en proporciones de 4%, 8% y 12% influyó en el mejoramiento de un suelo arcilloso a nivel de subrasante, por lo tanto, se acierta la hipótesis planteada donde establece que las bolsas de polietileno fundido influyen en el mejoramiento de un suelo arcilloso a nivel de subrasante.

Se determinó las propiedades físicas y mecánicas de las muestras del suelo natural y del suelo natural más adición de bolsas de polietileno fundido, para las propiedades físicas el suelo según AASHTO varía de A-4(3) a A-7-6(9), asimismo según SUCS varía de de ML a CL; el índice de plasticidad disminuye de 13.55% (suelo natural) hasta 8.98% (4% BPF); para las propiedades mecánicas el óptimo contenido de humedad tiende a disminuir mientras que la máxima densidad seca aumenta a medida que se incrementa los porcentajes de BPF y el CBR varía de 5% a 5.9% lo cual indica que la subrasante es pobre en resistencia y necesita ser mejorada; y para el suelo natural más adición del 12% BPF el CBR varia 9.8% a 10.3% lo cual indica que la subrasante es regular o buena. Por lo tanto, se logró estabilizar el suelo en estudio según del Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos ya que al añadir 12% BPF el CBR es mayor que 6%.

En relación con la prueba estadística de comparaciones múltiples Diferencia Mínima Significativa (DMS), se determinó que para las propiedades físicas el tratamiento que presentó mejor incidencia fue el T₁ (4%) y para las propiedades mecánicas del suelo el tratamiento que presentó mejor incidencia fue el T₃ (12%).

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estabilizaciones de suelos añadiendo 12% de bolsas de polietileno fundido con respecto al peso seco de la muestra, ya que mejora la capacidad de soporte del suelo de 5.6% (suelo natural) lo cual indica que la subrasante es pobre en resistencia y necesita ser mejorada; y para el suelo natural más adición del 12% de bolsas de polietileno fundido el CBR es 9.9% lo cual indica que la subrasante es regular.

Además, de minimizar el movimiento de tierras debido a consideraciones económicas se estaría contribuyendo con el medio ambiente ya que se trata de reciclar las bolsas de polietileno y dándole un mejor uso en mejoramiento de suelos arcillosos a nivel de subrasante por ende se estaría disminuyendo la contaminación ambiental que se genera por el arrojado de bolsas de polietileno.

Se recomienda realizar una estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante añadiendo bolsas de polietileno fundido ya que el costo unitario por m² es de 6.46 soles.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Blázquez, B. (2000). *Curva Granulométrica de un Suelo*.

CAPECO. (2019). *Camara Peruana de la Construcción. Federación de trabajadores en construcción civil del Peru. Tabla salarial con beneficios sociales*. Lima.

Cuipal, B. K. (2018). *Estabilización de la subrasante de suelo arcilloso con uso de polímero sintético en la carretera Chachapoyas – Huancas, Amazonas, 2018*. (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil) de la UCV. Perú.

DGIP. (2015). *Dirección General de Inversión Pública. Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación*. Perú.

ICG. (2000). *CBR del suelo. Laboratorio MTC E - 132*. Lima.

Juárez, E. (2005). *Mecánica de suelos tomo I. Fundamentos de la Mecánica de Suelos*. México.

Laurente, Y. (2011). *Estudio comparativo del mejoramiento de la subrasante y base de la carretera Cañete-Chupaca, Tramo: Km 220+000 - Km 240+000*. (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil) de la UNI. Lima.

Leiva, R. (2016). *Utilización de bolsas de polietileno para el mejoramiento de suelo a nivel de subrasante en el jr. Arequipa, progresiva km 0+000 - km 0+100*. (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil) de la UNCP. Distrito de Orcotuna, Concepción. Huancayo.

López, J. (2013). *Suelos arcillosos reforzados con materiales de plástico reciclado (PET)*. (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil) de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. Colombia.

MTC. (2014). *Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Manual de carreteras, Suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Sección suelos y pavimentos*. Perú.

- MTC. (2014). *Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de Carreteras Conservación Vial*. Perú.
- MTC. (2016). *Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Manual de ensayo de materiales*. Perú.
- Municipalidad Provincial de Chachapoyas. (2013). *Plan de desarrollo urbano de la Cuidad de Chachapoyas. Volumen I y II*. Chachapoyas.
- Municipalidad Provincial de Chachapoyas. (2018). *Gerencia Municipal. Unidad de Residuos Sólidos. Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales*. Chachapoyas.
- Núñez, I. K., & Gil, E. R. (2018). *Influencia de la adición de fibras de PET reciclado sobre la resistencia, cohesión y ángulo de fricción interna de suelos arcillosos aplicado a la estabilización de taludes*. (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil) de la UNT. Perú.
- OEFA. (2014). *Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial*. Perú.
- Ramos, G. (2014). *Mejoramiento de sub-rasantes de baja capacidad portante mediante el uso de polímeros reciclados en carreteras*. (Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil) de la UNCP. Huancavelica.
- RNE. (2010). *Reglamento Nacional de Edificaciones. NORMA CE.010. Pavimentos Urbanos*. Perú.
- RNE. (2012). *Reglamento Nacional de Edificaciones. NORMA CE.020. Estabilización de Suelos y Taludes*. Perú.
- Salazar, C. (2018). *Fundamentos básicos de la estadística. Primera edición*. Perú.

ANEXOS

ANEXO 1 Panel Fotográfico



Imagen 1: Botadero Rondón Chachapoyas.



Imagen 2: Reciclando bolsas de polietileno



Imagen 3: Extracción de muestras del lugar de estudio.



Imagen 4: Fundido de bolsas de polietileno en una máquina casera que consta de dos latas en una de las latas se encuentra bolsas de polietileno y la otra con agua para atrapar el humo cuando se realiza la combustión.



Imagen 5: Pesando las bolsas de polietileno fundido más el suelo seco en proporción 1:1 la cual fue tomada como adición de bolsas de polietileno fundido.



Imagen 6: Mezclando el material con adiciones de 4%, 8% y 12% con respecto al peso del suelo.



Imagen 7: Muestra de suelo natural y con sus respectivas adiciones de 4%, 8% y 12% de bolsas de polietileno fundido.



Imagen 8: Muestras para el análisis de límites de consistencia con sus respectivas adiciones de 4%, 8% y 12% de bolsas de polietileno fundido.

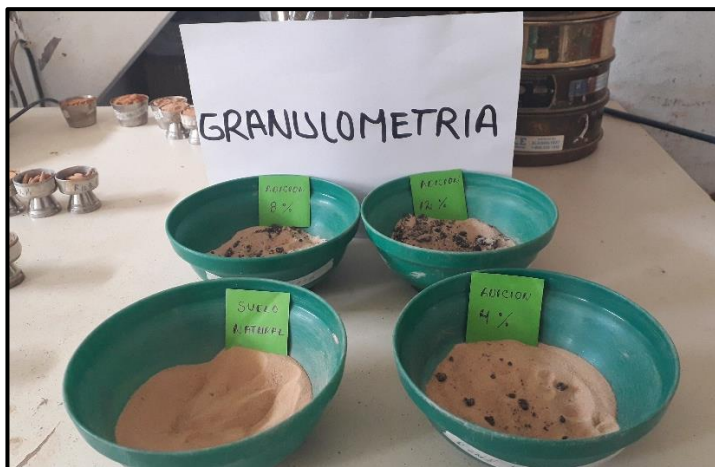


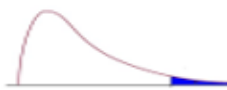
Imagen 9: Muestras para el análisis granulométrico con sus respectivas adiciones de 4%, 8% y 12% de bolsas de polietileno fundido.

ANEXO 2. Tablas para el análisis estadístico

A. Tabla de cuantiles de distribución F

Distribución F 0.05

En las columnas se encuentran los valores F que corresponden al área 0.05 a la derecha
 En las columnas se encuentran los grados de libertad del numerador
 En los renglones se encuentran los grados de libertad del denominador.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.0	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68

Distribución F 0.01

En las columnas se encuentran los valores F que corresponden al área 0.05 a la derecha
 En las columnas se encuentran los grados de libertad del numerador
 En los renglones se encuentran los grados de libertad del denominador.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	15	20	24	30	40	60	120
1	4052	4999	5403	5625	5764	5859	5928	5981	6022	6058	6083	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40	99.41	99.42	99.43	99.45	99.46	99.47	99.47	99.48	99.49
3	34.12	30.82	29.48	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35	27.23	27.13	27.05	26.87	26.69	26.60	26.50	26.41	26.32	26.22
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55	14.45	14.37	14.20	14.02	13.93	13.84	13.75	13.66	13.56
5	16.28	13.27	12.08	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05	9.96	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.28	8.10	7.98	7.87	7.79	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62	6.54	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81	5.73	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26	5.18	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85	4.77	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.46	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.22	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	4.02	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.86	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09
15	8.68	6.38	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.73	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.62	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.52	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.43	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.36	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.29	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69	2.61	2.52
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.24	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.18	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40
23	7.88	5.68	4.78	4.28	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.14	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.09	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	3.06	2.99	2.85	2.70	2.62	2.54	2.45	2.36	2.27
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09	3.02	2.96	2.81	2.66	2.58	2.50	2.42	2.33	2.23
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06	2.99	2.93	2.78	2.63	2.55	2.47	2.38	2.29	2.20
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03	2.96	2.90	2.75	2.60	2.52	2.44	2.35	2.26	2.17
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00	2.93	2.87	2.73	2.57	2.49	2.41	2.33	2.23	2.14
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.91	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	2.21	2.11

B. Tabla de cuantiles de distribución t - student

Tabla t-Student



Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554
9	0.7027	1.3830	1.8331	2.2622	2.8214	3.2498
10	0.6996	1.3722	1.8125	2.2281	2.7638	3.1693
11	0.6974	1.3634	1.7959	2.2010	2.7181	3.1058
12	0.6955	1.3562	1.7823	2.1788	2.6810	3.0545
13	0.6938	1.3502	1.7709	2.1604	2.6503	3.0123
14	0.6924	1.3450	1.7613	2.1448	2.6245	2.9768
15	0.6912	1.3406	1.7531	2.1315	2.6025	2.9467
16	0.6901	1.3368	1.7459	2.1199	2.5835	2.9208
17	0.6892	1.3334	1.7396	2.1098	2.5669	2.8982
18	0.6884	1.3304	1.7341	2.1009	2.5524	2.8784
19	0.6876	1.3277	1.7291	2.0930	2.5395	2.8609
20	0.6870	1.3253	1.7247	2.0860	2.5280	2.8453
21	0.6864	1.3232	1.7207	2.0796	2.5176	2.8314
22	0.6858	1.3212	1.7171	2.0739	2.5083	2.8188
23	0.6853	1.3195	1.7139	2.0687	2.4999	2.8073
24	0.6848	1.3178	1.7109	2.0639	2.4922	2.7970
25	0.6844	1.3163	1.7081	2.0595	2.4851	2.7874
26	0.6840	1.3150	1.7056	2.0555	2.4786	2.7787
27	0.6837	1.3137	1.7033	2.0518	2.4727	2.7707
28	0.6834	1.3125	1.7011	2.0484	2.4671	2.7633
29	0.6830	1.3114	1.6991	2.0452	2.4620	2.7564
30	0.6828	1.3104	1.6973	2.0423	2.4573	2.7500
31	0.6825	1.3095	1.6955	2.0395	2.4528	2.7440
32	0.6822	1.3086	1.6939	2.0369	2.4487	2.7385
33	0.6820	1.3077	1.6924	2.0345	2.4448	2.7333
34	0.6818	1.3070	1.6909	2.0322	2.4411	2.7284
35	0.6816	1.3062	1.6896	2.0301	2.4377	2.7238

ANEXO 3. Resultados de los ensayos de mecánica de suelos