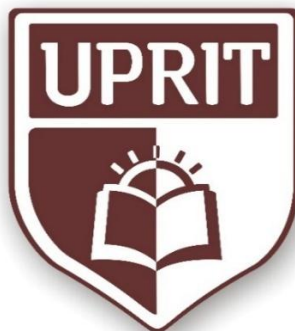


**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO**

**CARRERA PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA CIVIL**



**ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA  
DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU  
USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE  
LAREDO - TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018**

**TESIS:**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

**Bach: AQUINO MENDOZA MARCO ANTONIO**

**ASESOR:**

**MG / ING. VILLAR QUIROZ JOSUALDO CARLOS.**

**TRUJILLO – PERU**

**2020**

## **APROBACIÓN DE LA TESIS**

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller, denominada:

**“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA  
DE AZÚCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE  
LAREDO - TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018”**

---

Ing. Enrique Durand Bazán  
**PRESIDENTE**

---

Ing. Guido Marín Cubas  
**SECRETARIO**

---

Ing. Elton Javier Galarreta Malaver  
**VOCAL**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a todas las personas  
que me apoyaron en el transcurso de mi vida universitaria,  
Las que hoy junto a mi celebran mis logros.

### **A Dios.**

Por permitirme llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos,  
además de su infinito amor.

### **A mi madre Feli.**

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, por la motivación constante  
que me ha permitido ser una persona de bien, pero más, por su amor.

### **A mi padre.**

Por los ejemplos de responsabilidad que lo caracterizan y que me ha ayudado con sus  
consejos para salir adelante, y por su amor.

### **A mis amigos.**

Que siempre nos apoyamos incondicionalmente en nuestra formación profesional y que  
siempre seremos amigos.

## **AGRADECIMIENTO**

### **A Dios.**

Por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

### **A mis padres.**

Por apoyarme en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un ejemplo a seguir.

### **A mis hermanos.**

Por ser parte importante de mi vida y representar la unidad familiar, llenar mi vida de alegrías y amor cuando más la he necesitado.

### **A mis amigos.**

Por confiar y creer en mí y haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

### **A mi novia Lili**

Por su comprensión en todo momento y su gran apoyo incondicional, por motivarme a seguir adelante y por tanto amor.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS .....	II
DEDICATORIA .....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
INDICE DE CONTENIDOS.....	V
INDICE DE TABLAS .....	VII
INDICE DE FIGURAS .....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT .....	XI
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	20
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	20
1.4. OBJETIVOS .....	24
1.4.1. Objetivo general .....	24
1.4.2. Objetivos específicos .....	24
1.5. ANTECEDENTES.....	24
1.6. BASES TEÓRICAS .....	29
1.6.1. Mejoramiento de suelos .....	29
1.6.2. Subrasante .....	32
1.6.3. Ceniza de bagazo de caña de azúcar como agente estabilizante ....	35
1.6.4. Diseño de pavimentos .....	35
1.6.5. Estudio de mecánica de suelos.....	48
1.7. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	50
1.8. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	51
1.8.1. Hipótesis general .....	51
1.8.2. Hipótesis específicas .....	51
CAPÍTULO 2. MATERIAL Y MÉTODOS.....	52
2.1 MATERIAL DE ESTUDIO.....	53
2.1.1. Diseño de investigación .....	53
2.1.2. Unidad de estudio.....	54
2.1.3. Población.....	56
2.1.4. Muestra .....	56

2.2 TÉCNICAS, PROCEDIMIENTOS E INSTRUMENTOS .....	57
2.3 PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	58
2.4 MÉTODOS, INSTRUMENTOS Y PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE DATOS .....	59
2.5 ESQUEMA GENERAL DE PROCEDIMIENTOS .....	66
2.6 ENSAYOS DE LABORATORIO .....	67
2.7 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	76
2.8 DESARROLLO DE TESIS.....	79
CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....	81
3.1. CONTENIDO DE HUMEDAD.....	82
3.2. GRANULOMETRÍA .....	82
3.3. LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE PLÁSTICIDAD.....	83
3.4. CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO.....	83
3.5. GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	84
3.6. PROCTOR MODIFICADO.....	84
3.7. CBR .....	84
3.8. ENSAYOS REALIZADOS A LA MUESTRA DE SUELO CON ADICIÓN DE CBCA .....	85
3.9. CARACTERIZACIÓN DE LA CBCA .....	86
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN .....	89
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MUESTRA.....	90
4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR .....	98
4.3. EFECTOS DE LA CENIZA DE BAGAZO .....	98
4.4. DISEÑO DE PAVIMENTOS .....	103
4.5. ANÁLISIS ECONÓMICO COMPARATIVO DE UN CAMINO ESTABILIZADO CON CBCA VS. UN CAMINO AFIRMADO EN LA COSTA .....	108
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.....	113
CAPÍTULO 6. RECOMENDACIONES.....	115
CAPÍTULO 7. REFERENCIAS .....	117
ANEXOS.....	120

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 CATEGORÍAS DE LA SUBRASANTE .....	33
Tabla 2 NÚMERO DE CALICATAS PARA EXPLORACIÓN DE SUELOS.....	56
Tabla 3 CALCULO DEL TOTAL DE MUESTRA NECESARIO.....	57
Tabla 4 INSTRUMENTOS PARA EL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS.....	59
Tabla 5 CALIFICACIÓN DEL SUELO EN FUNCIÓN DE LA SUBRASANTE.....	60
Tabla 6 DETERMINACION DEL NIVEL DE SIGNIFICANCIA.....	64
Tabla 7 CANTIDAD MÍNIMA DE ESPECIMEN DE ENSAYO HUMEDO PARA CONTENIDO DE HUMEDAD.....	69
Tabla 8 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE CONTENIDO D HUMEDAD - CALICATAS.....	82
Tabla 9 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRANULOMETRÍA - CALICATAS.....	82
Tabla 10 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE LL. LP E IP.....	83
Tabla 11 RESUMEN DE RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN SUCS Y AASHTO - CALICATA.....	83
Tabla 12 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA.....	84
Tabla 13 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO.....	84
Tabla 14 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE CBR.....	85
Tabla 15 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG CON ADICIÓN DE CBCA .....	85
Tabla 16 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO A LA MUESTRA DE SUELO CON ADICIÓN DE CBCA .....	86
Tabla 17 RESUMEN DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE CBR A MUESTRA DE SUELO CON ADICIÓN DE 5%, 10%, 15% DE CBCA.....	86
Tabla 18 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE CBCA.....	87
Tabla 19 GRAVEDAD ESPECÍFICA SEGÚN CLASIFICACIÓN DE TIPO DE SUELO.....	93
Tabla 20 RELACIÓN ENTRE VALOR DE CBR Y CALIDAD DE SUBRASANTE.....	97
Tabla 21 REQUERIMIENTOS QUÍMICOS PARA PUZOLANAS (ASTM C618-03).....	98
Tabla 22 VALORES DE COEFICIENTE DE DRENAJE, CD PARA PAVIMENTOS.....	104

Tabla 23 INTERRELACIONES APROXIMADAS ENTRE CLASIF. DE SUELOS Y VALORES SOPORTE.....	105
Tabla 24 CALCULO DEL ESPESOR “E” EN FUNCIÓN DEL CBR.....	106
Tabla 25 PRESUPUESTO DE PAVIMENTO RÍGIDO.....	107
Tabla 26 PRESUPUESTO DE PAVIMENTO FLEXÍBLE.....	108
Tabla 27 DETALLE DE LA PARTIDA DEL AFIRMADO ESTABILIZADO CON CBCA. ....	108
Tabla 28 DETALLE DE LA PARTIDA DEL AFIRMADO CONVENCIONAL.....	109
Tabla 29 COSTOS POR AÑO DE MANTENIMIENTO EN UN PERIODO DE 10 AÑOS DE LOS DOS TIPOS DE AFIRMADO EN ESTUDIO.....	110



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Sección Transversal - Pavimento Flexible.....	33
Figura 2 Imagen Satelital de la Av. Campo Primavera en el Distrito de Laredo. ....	56
Figura 3 Difracción de Rayos X a la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA). ....	87
Figura 4 Microscopía Electrónica de Barrido. ....	87
Figura 5 Resumen del índice de plasticidad con adición de CBCA. ....	88
Figura 6 Análisis de contenido de humedad. ....	90
Figura 7 Análisis de índice de plasticidad. ....	91
Figura 8 Análisis de la granulometría. ....	92
Figura 9 Análisis de clasificación de suelos según SUCS y AASHTO. ....	93
Figura 10 Análisis de la gravedad específica. ....	94
Figura 11 Análisis de la gravedad específica - densidad. ....	95
Figura 12 Análisis de la gravedad específica - humedad. ....	95
Figura 13 Análisis de la curva de la densidad - humedad. ....	96
Figura 14 Análisis de la gravedad específica - densidad. ....	96
Figura 15 Análisis de la gravedad específica – CBR 1. ....	97
Figura 16 Análisis de límite de consistencia adicionado CBCA. ....	99
Figura 17 Humedad – Densidad - % Ceniza. ....	100
Figura 18 Análisis de la humedad óptima - % Ceniza. ....	101
Figura 19 Análisis de comparación Densidad - Humedad. ....	101
Figura 20 Análisis de la gravedad específica. ....	102
Figura 21 Cálculo del espesor CBR = 7.92%. ....	106
Figura 22 Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible. ....	107
Figura 23 Comparación de costos por Km en 10 años. ....	109
Figura 24 Flujo de dinero en un período de 10 años con $i = 10\%$ (Perú) para una base estabilizada con CBCA. ....	111
Figura 25 Flujo de dinero en un período de 10 años con $i = 10\%$ (Perú) para un afirmado convencional. ....	111

## RESUMEN

El costo creciente de los agentes estabilizadores tradicionales y la necesidad de contar con la utilización de desechos industriales y agrícolas con fines de ingeniería beneficiosos en La Libertad impulsó la presente investigación sobre el potencial de estabilización de la ceniza de bagazo (CBCA) en suelos arcillosos altamente expansivos. Este trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la influencia de la adición de CBCA en la estabilización de suelos a nivel de subrasante en el distrito de Laredo. El trabajo de laboratorio implicó la caracterización del suelo, así como la caracterización de CBCA con Difracción de Rayos X y Microscopía Electrónica de Barrido. La investigación preliminar del suelo muestra que pertenece a la clase A-6 según clasificación AASHTO. Los suelos en esta clase generalmente son pobremente usados en ingeniería. Límites de Atterberg, esponjamiento libre, índice de esponjamiento libre, índice de hinchamiento libre, proctor modificado y CBR se usaron para evaluar las propiedades del suelo estabilizado. La tierra se estabilizó con CBCA en una concentración escalonada de 5%, 10%, 15%, en peso seco del suelo. El análisis de los resultados muestra una mejora en las propiedades geotécnicas de suelo estabilizado con CBCA, debido a que reduce el índice de plasticidad, hinchazón y MDD con un aumento en OMC y CBR con todos los contenidos de CBCA más altos. Partiendo de la mezcla con el porcentaje de mejor comportamiento ingenieril se diseñó secciones de pavimento típico, realizando un posterior análisis económico comparativo demostrando el ahorro en construcción y mantenimiento de pavimentos con subrasantes estabilizadas con CBCA. De esto estudio se descubrió que el suelo estabilizado con CBCA cumple con los requisitos mínimos establecidos en el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC para su uso como material de subrasante en construcción vial.

## ABSTRACT

The increasing cost of the stabilizing traditional agents and the need to possess the utilization of industrial and agricultural waste beneficial ends of engineering in La Libertad, stimulated the present investigation on the potential of stabilization of the ash of bagasse (CBCA) in clayey highly expansive soils. This work of investigation has as aim determine the influence of CBCA's addition in the stabilization of soils to level of sublow in Laredo's district. The laborator work implied the characterization of the soil, as well as CBCA's characterization with Diffraction of X-rays and Electronic Microscopy of Sweep. The preliminary investigation of the soil shows that it belongs to the class A-7-5 according to classification AASHTO. The soils in this class generally are poorly used in engineering. Atterberg's limits, swell frees, index of swell frees, index of swell frees, proctor modified and CBR was used to evaluate the properties of the stabilized soil. The land became stable with CBCA in a concentration staggered of 0 %, 5 %, 10 %, and 15 % in dry weight of the soil. The analysis of the results shows an improvement in the geotechnical properties of soil stabilized with CBCA, due to the fact that it reduces the index of plasticity, swelling and MDD with an increase in WTO and CBR with all the contents of higher CBCA. Departing from the mixture with the percentage of better engineering behavior there were designed sections of typical pavement, realizing a later economic comparative analysis demonstrating the saving in construction and maintenance of pavements with sublow stabilized with CBCA. Of this study discovered that the soil stabilized with CBCA expires with the minimal requirements established in the Manual of Roads: Soils, Geology, Geotecnia and Pavements of the MTC for his use like material of sublow in road construction.

## **CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

## 1.1 REALIDAD PROBLEMÁTICA

La geotecnia es la rama de la geología y a su vez, recibe aportes de la ingeniería civil (con la que se entrelaza) que se ocupa de la aplicación de los principios geológicos en la investigación de materiales naturales -como suelos- que forman la corteza terrestre que participan en el diseño, construcción y operación de proyectos de ingeniería civil, como carreteras, ferrocarriles, puentes, presas, oleoductos, acueductos, unidades de vivienda, sitios de confinamiento y edificios en general. Las investigaciones del suelo son importantes al momento de conocer la resistencia, deformabilidad y permeabilidad de los materiales que componen el terreno. A la luz de los nuevos conocimientos, la geotecnia cada vez nos permite ir descubriendo las condiciones naturales del terreno en que se construyen obras de ingeniería diversas. (Badillo, 1995)

Los suelos encontrados en la naturaleza pueden ser muy variables y complejos, y debido a su gran disponibilidad y bajo costo, estos ofrecen una gran oportunidad para utilizarlos como material en la construcción. Sin embargo, puede ocurrir que un suelo en un determinado lugar sea inadecuado, parcial o totalmente, debido a que no cumple con los requisitos especificados para el fin que se le desea dar. Al presentarse dicha situación, el ingeniero encargado del proyecto o construcción puede optar por el mejoramiento de suelo como una de las posibles soluciones. El mejoramiento de los suelos ha atendido a diversos requerimientos, buscando un buen comportamiento esfuerzo deformación de los suelos y de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil. Es así que, para seleccionar el método de mejoramiento más adecuado, se debe contemplar diversos factores. La estabilización es el proceso de combinación y mezclado de materiales con suelos para mejorar algunas de sus propiedades. El proceso puede incluir la combinación de suelos para conseguir una granulometría mejorada o la mezcla de aditivos comerciales que pueden alterar la textura, plasticidad, granulometría o actuar como cementantes del suelo. (Chen, 1988)

En el mundo se han desarrollado varios métodos en el campo de la estabilización de suelos en carreteras primarias y secundarias de acuerdo a las características de los materiales de construcción locales como la estabilización con material granular que se conoce desde tiempos muy antiguos, estabilización suelo-cemento estudiado en Filadelfia entre los años 1914 y 1920 por el ingeniero Joseph Amies y posteriormente utilizado en Inglaterra y la URSS (De la Fuente, 1995), estabilización con emulsiones asfálticas, con

cloruro de sodio (sal), con cal, desarrollados durante la primera mitad del siglo veinte. (Chittaranjan & et al., Octubre 2011)

En El Salvador, las carreteras no pavimentadas a lo largo del tiempo han presentado deterioro, sobre todo en épocas de invierno llevando consigo un difícil tránsito de vehículos. Instituciones públicas como Fovial han implementado nuevas metodologías de tratamientos de estabilización para este tipo de caminos como lo son los Pavimentos Unicapa de Alto Desempeño a fin de garantizar una mayor durabilidad de los caminos no pavimentados. Asimismo, Las Alcaldías municipales han venido aplicando procedimientos que consisten en el balastado de calles y la aplicación de concreto hidráulico simple para la superficie de rodadura. Dichos procedimientos como los pavimentos UNICAPA han presentado buenos resultados, pero se requieren grandes inversiones por 34 parte de las instituciones públicas, lo cual imposibilita que todas las carreteras no pavimentadas del país puedan ser tratadas. (De Solminihac, 2001)

En países como Argentina y Venezuela se ha incorporado una metodología para el tratamiento de caminos no pavimentados, utilizando una mezcla de Suelo-Agregado-Emulsión para estabilizar la base de los caminos a bajo costo y con buenas condiciones de servicio. Además de esto se considerado apto desde el punto de vista ecológico, ya que lo único que libera al medio es agua. (Barrera & Garnica, 2002)

En cuanto a Colombia, una de las aplicaciones más significativas de estabilización se dio mediante electroquímica en la vía Arauquita - Cañó Limón en 1985. Tramo de 24 Km, tratado con inyecciones y riego superficial de estabilizante en la base (mezcla de 20 cm de suelo del terraplén con 15 cm de granular), realizado en época de lluvias. Durante la ejecución de la estabilización las aguas se mantuvieron cerca del nivel de la rasante de la vía, impidiendo el desplazamiento del agua desprendida por el tratamiento de la base; razón por la cual las densidades se mantuvieron bajas durante los primeros 90 días de prueba. Pero por las características de la estabilización se fue incrementando sostenidamente la densidad y capacidad portante en CBR a medida que desaparecía el agua (Escobar y Parejo, 1988). Esta experiencia permite confirmar la naturaleza hidrofóbica del estabilizante y su mejora con el tiempo.

En Bolivia se han aplicado los más tradicionales como la estabilización granulométrica aplicada en la mayoría de las obras viales en el país, la estabilización suelo-cemento

aplicada en la pista de aterrizaje del aeropuerto Viru Viru del departamento de Santa Cruz, la estabilización con emulsiones asfálticas aplicada en el departamento de La Paz. (Christopher, 2005)

Por otro lado, en Perú según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013) “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos” existen 8 tipos de estabilizadores recomendados, los cuales dependen de las características físicas y mecánicas del suelo para su uso; a esto se suma que, en los últimos años se vienen realizando diversas investigaciones que permiten conocer las ventajas técnicas, económicas y ambientales de la utilización de diversos productos considerados “residuos” como agentes estabilizadores, brindando nuevas alternativas de solución y líneas de acción a seguir al momento de optar por una u otra alternativa de estabilización de una carretera no pavimentada de acuerdo a su ubicación en el territorio peruano. Es así que los residuos calcáreos de conchas de abanico en Piura, así como la ceniza de carbón de la planta termoeléctrica en Ilo, entre otros, toman relevancia al representar grandes contaminantes en sus respectivas regiones, pero al mismo tiempo, grandes alternativas de solución en su uso como agentes estabilizantes, teniendo como premisa que el desarrollo de un país se basa, primordialmente en sus vías de comunicación, ya que a través de ellas se llevan a cabo interrelaciones económicas, sociales y culturales entre las comunidades, municipios y departamentos.

Todos estos procesos, tanto las estabilizaciones estandarizadas como las nuevas alternativas, son controlados bajo la norma CE.020 Estabilización de Suelos y Taludes del Reglamento Nacional de Edificaciones, así como el “Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos: Sección Suelos y Pavimentos” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Por otro lado, todos los ensayos realizados para la comprobación de los requerimientos mínimos exigidos de acuerdo al proyecto o construcción se rigen de acuerdo a el “Manual de Carreteras: Ensayos de Materiales” del MTC.

(Pérez, 2010) estabilizó en Juliaca-Puno, suelos arcillosos con ceniza de carbón y se comprobó que la mezcla de ceniza volante con el suelo arcilloso en estudio, como también la adición de cemento, presentó un mejor comportamiento que el suelo puro para su empleo como capa de sub-base y sub-rasante mejorada de pavimentos. Se examinó factores como; tiempo de curado, tiempo de compactación, contenido de agua y otros factores que influyen

en el comportamiento de la mezcla final. La investigación concluye que existe viabilidad técnica y económica para la construcción de pavimentos empleando cenizas volantes de carbón como material estabilizador de suelos.

(Guerra y Alvarado, 2016) realizaron una investigación en La Libertad donde se planteó el uso de sedimentos de CHAVIMOCHIC, cenizas de cascarilla de arroz (CCA) y residuos calcáreos de conchas de abanico (RCCA) para la estabilización de suelos arenosos para su uso en vías no pavimentadas de acceso a zonas agrícolas, donde se encontró que el suelo incrementa su índice de CBR de 6 a 60 cuando se adiciona 40% de sedimento, y esta mezcla obtiene un índice CBR de 99 cuando se le adiciona 6% CCA y 1.5% RCCA. Asimismo, se verificó en estos dos casos un aumento en la cohesión y el ángulo de fricción interna.

Hasta este punto se demuestra que nuestro país presenta aún una gran carencia de vías aptas para el tránsito vehicular que permita la conexión de costa, sierra y selva. Esto se complica debido a que nuestro territorio presenta diversas tipologías de suelos, cada una con diversas problemáticas propias del suelo y la zona, siendo prioritario la implementación de alternativas, como la estabilización de suelos con ceniza de bagazo de caña de azúcar (desecho industrial) que posibiliten el desarrollo vial, solucionando problemas locales, con elementos residuales de la zona, disminuyendo costos e incrementando alternativas medioambientalistas.

Asimismo, empresas como GRUPO TDM han realizado Estabilizaciones en Vías del PROYECTO PERU en la carretera Cajamarca - Celendín - Balsas - Dv. Chachapoyas - Chachapoyas – Pedro Ruiz a cargo de ICCGSA en el año 2010. Entre los kilómetros 336+000 y 396+000 del tramo Balsas - Dv. Chachapoyas, la alternativa era colocar 15 cm. de afirmado para mantener los niveles de servicio exigidos por la entidad. La carencia de canteras cercanas con material apropiado para dicho mejoramiento, la difícil geometría de la vía (poco ancho de plataforma que impedía la maniobra de los equipos) y la reducción de ancho producto de la elevación de la rasante, hicieron buscar otra solución. Se planteó la opción de estabilizar el material propio para conformar la superficie de rodadura. Se eligió aplicar el estabilizador iónico de suelos CON-AID para mejorar las propiedades hidráulicas y mecánicas del suelo arcilloso existente y que se mantengan en el tiempo con bajo costo de mantenimiento y en los requerimientos de resistencia y durabilidad adecuados. Aparte de solucionar los problemas descritos líneas arriba, la estabilización iónica de suelos permite: reducir el IP en un 30% (mediante la reducción del LL), se reduce



el hinchamiento entre 50 y 100%, aumenta la densidad máxima entre 3 a 5% y aumenta el CBR de acuerdo al tipo de suelo plástico que se establezca. Este tramo de carretera ha soportado adecuadamente el periodo de lluvias de la región.

La empresa Kerometalic Contratistas Generales SAC estuvo a cargo del mejoramiento de la vía de acceso al Centro Arqueológico Caral Supe, en sus tramos I Llamahuaca y II Llamahuaca – Caral, con un total de 24.960 kilómetros, realizado el 23 de enero de 2009. Gracias a las intensas gestiones realizadas por el Proyecto Especial Arqueológico CaralSupe y el apoyo decidido del Gobierno Regional de Lima, se ejecutó el proyecto largamente soñado por la población de Supe y Barranca, cumpliendo los lineamientos que establecen el Plan Maestro de Desarrollo de Supe y su entorno. Se consideró un afirmado de 15 cm en todo el tramo (tratamiento con estabilizador) como la solución óptima.

La empresa Aust Latin Perú estuvo a cargo del mejoramiento mediante estabilización de 2625 m<sup>2</sup> de la carretera de Mamaca, en Cajamarca donde se utilizó como alternativa el polímero PolyCom con el fin de mejorar su capacidad funcional y estructural. Se obtuvo como resultados el mejoramiento del CBR y el porcentaje de compactación de los tramos tratados, el incremento a la resistencia al agua, la reducción de horas – hombre en lo que respecta a tiempos en el proceso constructivo y se redujo notablemente el impacto ambiental al no ser un producto tóxico.

En el Perú, los caminos no pavimentados de bajo tránsito, no justifican la construcción de pavimentos asfálticos en su primera etapa, debido al costo elevado; sin embargo, demandan características aceptables de transitabilidad y confort. Por lo cual se debe controlar su condición resbaladiza en estado húmedo, en los tramos donde predominan los suelos arcillosos, las huellas profundas y baches por acumulación de humedad y la erosión de la superficie y el desprendimiento excesivo de polvo en épocas secas. (Flores, 2012)

En el distrito de Laredo existen varios tramos carreteros sin pavimentar, debido a las bajas prestaciones ingenieriles del suelo de la zona y la carencia de alternativas económicas para el mejoramiento de sus vías. Por lo cual nace la necesidad de estabilizar dichos suelos dependiendo de algunos o varios requerimientos como por ejemplo el disminuir asentamientos de estructuras, disminuir el potencial de expansión y contracción de los suelos, aumentar la resistencia de los suelos, facilitar el trabajo de construcción, reducir la permeabilidad de ciertos suelos, escasez de materiales de construcción en la zona donde se

está llevando a cabo el proyecto, disminuir el potencial de daños causados durante el congelamiento y descongelamiento progresivo de suelos, entre otros.

Básicamente para mejorar las propiedades mecánicas de un suelo, necesario para que cumpla con las características específicas de acuerdo al proyecto a desarrollarse, se puede alterar de muchas formas como puede ser por medios mecánicos, drenaje, adición de agentes estabilizantes, por la acción de cargas sobre él, congelándolo, entre otros. Sin embargo, debido a la variabilidad de suelos, cada método resulta aplicable solamente a un número determinado de ellos. Las soluciones básicas son alternativas técnicas, económicas y ambientales, que consisten principalmente en la aplicación de estabilizadores de suelos, recubrimientos bituminosos y otros, posibilitando que las carreteras no pavimentadas tengan una mayor vida útil y presten un mejor servicio.

En el caso de las cenizas volantes como agente estabilizador, puede ser usado de manera eficiente al mezclarse con cal para estabilizar muchos suelos de grano mediano a grueso; sin embargo, el índice de plasticidad del suelo a tratar no debe ser mayor de 25. La ceniza volátil utilizada en el presente trabajo es la ceniza de bagazo de caña de azúcar, material puzolánico de clase C conforme a su alto contenido de sílice, debido a que su uso representa un valor agregado al combatir uno de los principales problemas de contaminación existentes en Trujillo en donde el 7.8% del total de emisiones de Partículas Totales en Suspensión (PTS) es generada por la industria azucarera, equivalente a 241 Ton/año de emisiones en su totalidad de combustión.(Chou, 1987) Según datos de la Organización Mundial de la Salud OMS (2009), la contaminación atmosférica constituye un riesgo medioambiental para la salud y se estima que causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo.

La aplicación de las soluciones básicas es de acuerdo a las características particulares de cada proyecto, principalmente en función de su ubicación y tipo de suelo predominante. Por consiguiente, no hay solución de carácter general, debiendo seleccionarse la alternativa aplicable a cada proyecto, por cuanto no es posible utilizar indistintamente un determinado estabilizador, en diversos tipos de suelos y/o condiciones climáticas. Por otro lado, dentro de las investigaciones realizadas sobre estabilización de suelos en nuestro país aún no hay una en la cual la ceniza de bagazo de caña de azúcar sea el agente estabilizador utilizado, pero existen reportes en otros países como en Brasil donde su estudio ha brindado grandes

perspectivas en cuanto a las ventajas de su uso, representando una gran alternativa al problema de contaminación en la ciudad. (Hoffman, 1985)

El estudio de la estabilización de suelos utilizando ceniza de caldera de hornos de industrias azucareras pretende demostrar como un material inerte, que es residuo industrial que proviene de la combustión del bagazo de caña en las empresas, puede mejorar las condiciones de los suelos, haciéndolos más estables, tratando en gran medida palear a mediano o largo plazo una probable escasez de cemento o de cal y que además contribuiría a disminuir el creciente problema de contaminación ambiental y de depósito de las grandes cantidades de ceniza que se generan en las empresas a nivel nacional, debido a que la producción de azúcar a partir de la caña de azúcar es una actividad industrial que contamina el medio ambiente debido al gran número de operaciones unitarias que realiza en su proceso de transformación; asimismo, la caña de azúcar es cultivada en la costa, sierra y selva y gracias a las condiciones climáticas y de suelo, se siembra y cosecha durante todo el año. El problema se acrecienta en nuestra región debido a que La Libertad ocupa el primer lugar en la producción de caña de azúcar en el Perú con 4 millones 345 mil 865 toneladas, lo que representa el 46%, superando a los departamentos de Lambayeque que representa un 23%, Lima, Ancash y Arequipa.

Por lo tanto, se propone el empleo de un agente estabilizador para el suelo de la región de estudio a partir de la ceniza de bagazo de caña de azúcar obtenidas localmente, solucionando dos grandes problemas como son la inestabilidad de suelos y la contaminación causada por la industria azucarera en la región. Pues al no haber una propuesta técnica investigada, los suelos del distrito de Laredo continuarán sin una alternativa para su utilización en subrasantes de pavimentos que aseguren una transitividad óptima y segura, del mismo modo se continuará con el deterioro ambiental producido por desechos de la industria azucarera al no investigarse métodos de reutilización.

Las soluciones básicas son alternativas técnicas, económicas y ambientales, que consisten principalmente en la aplicación de estabilizadores de suelos, recubrimientos bituminosos y otros, posibilitando que las carreteras no pavimentadas tengan una mayor vida útil y presten un mejor servicio.

## 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los caminos no pavimentados de bajo tránsito del distrito de Laredo demandan características aceptables de transitabilidad y confort, para prestar un mejor servicio e incrementar su vida útil mediante el mejoramiento de las propiedades físico-mecánico del suelo a través de la estabilización con cualquier método sugerido por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, o el método que se plantea en la presente tesis de investigación, que es el mejoramiento a nivel de subrasante con ceniza de bagazo de caña de azúcar.

Entonces el problema de la investigación es: ¿Cómo influye la adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar en la estabilización de suelos a nivel de subrasante en el distrito de Laredo?

## 1.3 JUSTIFICACIÓN

La construcción de carreteras es un rubro que contribuye de manera más eficaz y eficiente en el mejoramiento de las condiciones de vida de la comunidad a la cual se beneficia en particular, de la sociedad y el país. Sin embargo, en muchas obras de construcción de carreteras se encuentran terrenos de fundación de baja capacidad portante, el cual necesita ser mejorado o cambiado por otro material que cumpla los parámetros exigidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Es así que se define como suelos inadecuados a nivel de subrasante a los suelos orgánicos, turbas, suelos blandos y todo aquel que no cumpla con los requerimientos de aspecto físico y mecánico expresados en las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras y en la versión de la AASHTO-93 del diseño de pavimentos. Actualmente para el mejoramiento de estos suelos a nivel de subrasante se adicionan cal, cemento, escoria, cloruros de sodio, cloruros de calcio, cloruro de magnesio, productos asfálticos y geosintéticos, según el tipo de suelo y la importancia de la vía, representando en muchos casos altos costos de inversión; es debido a esto que es de un alto grado de interés la búsqueda de soluciones básicas que representen alternativas técnicas, económicas y ambientales, posibilitando que las carreteras no pavimentadas presten un mejor servicio y tengan una mayor vida útil.

La aplicación de las soluciones básicas a la hora de mejorar un suelo depende de las características propias del proyecto, basándose en la ubicación del mismo y tipo de suelo hallado. Por este motivo no se puede tener una solución general, debiendo considerar todos los factores tipológicos de suelo y/o climáticos que conllevan un proyecto y decidirse por el que represente el mayor porcentaje de mejoras al menor costo posible. Por otra parte, las investigaciones realizadas en nuestro país en los últimos años no contemplan el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar sea el agente estabilizador utilizado a la hora de mejorar un suelo; sin embargo, reportes recogidos de países vecinos como Brasil demuestran el gran potencial que representa su uso, llegando a convertirse en una gran alternativa a la problemática ambiental debido a la contaminación con esta.

La utilización de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en el estudio de estabilización de suelos pretende demostrar como un residuo industrial proveniente de la combustión de la caña de azúcar soluciona la problemática de las condiciones pobres del suelo en términos ingenieriles, mejorando sus condiciones al volverlos más estables y aumentando su capacidad de soporte.

El presente trabajo tiene como propuesta el uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) proveniente de los hornos de industrias azucareras como agente estabilizador para el mejoramiento de las propiedades físico-mecánicas de los suelos de los caminos no pavimentados del distrito de Laredo en Trujillo, al no haber estudios previos de su empleo dentro de las investigaciones realizadas sobre estabilización de suelos en nuestro país, tomando como base los reportes recogidos acerca de su óptimo comportamiento y grandes perspectivas de su utilización en otros países como Brasil. Las conclusiones del estudio se fundamentan en una serie de ensayos de laboratorio, cuyos resultados nos indican en qué medida mejoran los suelos al aplicar diferentes porcentajes de ceniza, para luego escoger la de óptimo comportamiento y llevarlo a un análisis económico comparativo en su utilización a la hora de pavimentar vías.

Las ciudades peruanas deben enfrentar una serie de desafíos ambientales sobre todo en cuanto al correcto tratamiento y disposición de aguas residuales, residuos sólidos y ampliación de áreas verdes. El origen de múltiples causas de las enfermedades establece la necesidad de servicios básicos universal y estrategias de educación y participación de la población basada en enfoques preventivos, de lo contrario, la reducción de enfermedades y el mejoramiento de calidad de vida de la población será marginal.

La producción de azúcar a partir de la caña de azúcar es una actividad industrial que contamina el medio ambiente debido al gran número de operaciones unitarias que realiza en su proceso de transformación.

La problemática ambiental actual de la ciudad se debe a la condición desinteresada de sus pasadas autoridades municipales de no disponer una seria administración de gestión ambiental y la falta de coordinación con las industrias existentes, control y fiscalización de las actividades socio-económicas.

Por tal motivo es intención del trabajo de investigación dar a conocer que la ceniza de bagazo de azúcar representa un contaminante a escala industrial en términos de agua, suelo y aire, al ser un residuo de un proceso industrializado como lo es la producción de azúcar a partir de la caña de azúcar, problema que toma mayor valor al ser nuestra región la primera productora a nivel nacional, por lo que su uso representa una alternativa económica, ecológica e innovadora.

Esta investigación nos permitirá conocer si la ceniza de bagazo de caña de azúcar como agente estabilizador realmente mejora las propiedades físico-mecánicas de los suelos, ya que en La Libertad aún no se cuenta con investigaciones similares de este tema. Se realizará también para enriquecer los conocimientos de mecánica de suelos al realizar una investigación innovadora que permita determinar si un material de desecho que anteriormente fue residuo industrial, puede ser utilizado para estabilizar suelos, representando un beneficio para el área de la construcción y principalmente para el medio ambiente. Es por esto que la importancia de éste trabajo radica en el hecho de que puede ofrecerse al medio una nueva adición para la estabilización de suelos, que mejore todas o alguna propiedad de los suelos y que además se dé utilidad a un material que contamina el medio ambiente, con el fin de utilizar a los suelos en la construcción de obras civiles.

### 1.3.1 Limitaciones

La complejidad del suelo, dada su variabilidad y su heterogeneidad.

- Los análisis de laboratorio realizados en la presente investigación deben de manejar una cantidad de variables que será preciso estudiar para la obtención de resultados confiables, por lo cual se determinará los puntos de control de manera que permitan la toma representativa de muestra de suelo del tramo de vía en estudio.

El costo de los ensayos de laboratorio requeridos para la validación del estudio.

- El número de ensayos necesarios para el correcto proceder de la investigación planteada hace que el costo de inversión sea elevado, por tanto dichos ensayos serán realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de Trujillo, lo cual conllevará a una disminución considerable en cuanto a el gasto total en comparación con laboratorios externos.

El clima de la zona del tramo de vía en estudio.

- La presente investigación se realiza en época de lluvias, por lo cual los análisis de campo y la toma de muestras de suelo representativas para realizar las pruebas de laboratorio pueden enfrentar alguna dificultad en los tiempo para realizar esta actividad, por lo que se realizará un calendario de actividades programadas según los reportes brindados del SENAMHI para optar por las fechas con menor insidencias.

El análisis económico comparativo en el diseño de pavimentos de la mezcla óptima de suelo - CBCA y suelo sin combinación.

- El tesista realizará una capacitación técnica en diseño de pavimentos así como todo lo que tenga que ver con el análisis económico de la construcción de carreteras para lograr un correcto trabajo en el análisis económico comparativo a partir del diseño de pavimentos con los parámetros obtenidos empíricamente de la presente investigación.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo General

Determinar la influencia de la adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar en la estabilización de suelos a nivel de subrasante en el distrito de Laredo.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

- ◆ Determinar las características físico-mecánicas del suelo que son mejoradas con el proceso de estabilización, mediante la adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar a la muestra de suelo a nivel de subrasante extraída de la Av. Campo Primavera, progresiva Km 0 + 000.00 al Km 0 + 100.00, distrito de Laredo.
- ◆ Determinar la óptima dosificación de ceniza de bagazo de caña de azúcar en el diseño de mezcla de suelo-ceniza volante.
- ◆ Determinar la influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en el diseño estructural de un pavimento típico según normativa AASTHO y realizar su análisis económico comparativo.
- ◆ Implementar una alternativa de reutilización de residuos industriales como es el caso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en la construcción de infraestructura vial.

## 1.5 ANTECEDENTES

**TÍTULO:** “EXPANSIVE SOIL STABILIZATION USING BAGASSE ASH”.  
 (“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS USANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA”)

**AUTOR:** (Gandhi, 2012).

**OBJETIVO:** Mejorar la fuerza del suelo expansivo de la región de Surat, utilizando la ceniza de bagazo como aditivo para aumentar la estabilidad del suelo y disminuir la hinchazón del suelo.

**METODOLOGÍA:** La muestra de suelo se toma de la zona VESU de Surat región, 14 pies por debajo del nivel del suelo. Se realizan varias pruebas como Límite Líquido, Límite Plástico, Plasticidad Índice, límite de contracción, índice de oleaje libre y Presión de hinchamiento realizada. El porcentaje de cenizas del horno se mantiene 0%, 3%, 5%, 7% y 10% respectivamente y todas las pruebas son conducidas.



**RESULTADO:** Los resultados muestran que cuando el porcentaje de ceniza de horno aumenta en el suelo muestra, todas las propiedades disminuyen.

**CONCLUSIÓN:** La ceniza de bagazo seca eficazmente los suelos húmedos y proporciona una ganancia inicial de fuerza rápida, que es útil durante la construcción en mojado, condiciones inestables del suelo. La ceniza de bagazo también disminuye el potencial de expansión de los suelos expansivos mediante la sustitución de parte del volumen previamente mantenido por minerales de arcilla expansiva y mediante la cementación del suelo partículas juntas.

**APORTE:** El método de estabilización del suelo mediante la aplicación de ceniza de bagazo de productos de desecho mejora con éxito el suelo existente de baja calidad y subrasantes expansivos. Asimismo, la ceniza de bagazo es gratuita y está disponible localmente, por lo que también resultó económica.

**TÍTULO:** “STABILIZATION OF LOCAL SOIL WITH BAGASSE ASH”.  
 (“ESTABILIZACIÓN DE SUELO LOCAL CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA”)

**AUTOR:** (Murari, Singh & Agarwal, 2015).

**OBJETIVO:** El objetivo del presente estudio es el uso de ceniza de bagazo de caña de azúcar como estabilizador en la modificación las propiedades del suelo para su empleo en diversas obras de ingeniería civil y darle solución al problema del depósito de basura de desechos industriales de la industria azucarera.

**METODOLOGÍA:** Las proporciones de cenizas de bagazo de caña usadas junto con el suelo en el estudio son 2% 5%, 7% y 10% respectivamente. Para determinar la densidad seca máxima (MDD) y el contenido de humedad óptimo (OMC) de la mezcla suelo y suelo-bagazo, se realizaron pruebas estándar de proctor según IS: 2720 (Parte VII) -1980. El límite de líquido y el límite de plástico se realizaron de acuerdo con IS: 2720 :( Parte V) 1985. **RESULTADO:** Se lleva a cabo un estudio para verificar mejora en las propiedades del suelo con ceniza de bagazo en porcentajes variables (2, 5, 7 y 10%). Los resultados de la prueba como líquidos límite, límite de plástico y prueba de proctor estándar se obtuvieron en el suelo en diferentes porcentajes de ceniza de bagazo. Los resultados muestran que con el aumento en el porcentaje de ceniza de bagazo el límite de líquido y el límite de plástico se reducen.

**CONCLUSIÓN:** A partir de los resultados, está claro que se produce un cambio en las propiedades del suelo. Cuando la ceniza de bagazo se mezcla con el suelo, el límite de plástico y el límite líquido disminuyen.

**APORTE:** El cambio del límite de Atterberg se debe a la reacción de intercambio de cationes y agregación de floculación para obtener más cantidad de ceniza de bagazo, lo que reduce el índice de plasticidad del suelo. Una reducción en el índice de plasticidad causa una disminución significativa en el potencial de hinchamiento y la eliminación de un poco de agua que puede ser absorbida por los minerales de arcilla. La reducción en la densidad seca es el resultado de la floculación y la aglomeración de partículas de suelo de grano fino que ocupan un espacio más grande que conduce a una caída correspondiente en la densidad seca máxima. El contenido óptimo de humedad del suelo aumenta con el aumento de cenizas de bagazo porque estas mezclas eran más finas que el suelo.

**TÍTULO:** “BAGASSE ASH AS A SUB-GRADE SOIL STABILIZING MATERIAL”. (“CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR DE SUELO EN SUBRASANTES”)

**AUTOR:** (Wubshet, 2015).

**OBJETIVO:** El objetivo de este estudio es evaluar la idoneidad de la ceniza de bagazo como estabilizante agente para suelo expansivo. Esto se logra a través de: la evaluación del efecto de la ceniza de bagazo en las propiedades del suelo expansivo usando Límites de Atterberg, oleaje libre, índice de inflamación libre, relación de hinchamiento libre, compactación y CBR y la comparación de los cambios en las propiedades del suelo expansivo con respecto a la ceniza de bagazo suelo estabilizado.

**METODOLOGÍA:** El trabajo de laboratorio implicó propiedades de índice para clasificar el suelo muestra. La investigación preliminar del suelo muestra que pertenece a la clase A-7-5 suelo en el sistema de clasificación de suelos AASHTO. Los suelos en esta clase generalmente son pobres uso de ingeniería. Límites de Atterberg, oleaje libre, índice de oleaje libre, índice de hinchamiento libre, se usaron pruebas de compactación y CBR para evaluar las propiedades del suelo estabilizado. La tierra se estabilizó con ceniza de bagazo en una concentración escalonada de 5%, 10%, 15%, en peso seco del suelo. Todas las muestras de suelo estabilizado también se curaron durante 7 días para los límites de Atterberg, compactación y pruebas de CBR.

**RESULTADO:** El análisis de los resultados muestra una ligera mejora en las propiedades geotécnicas de suelo estabilizado con cenizas de bagazo. La ceniza de bagazo reduce el índice de plasticidad, la hinchazón y el MDD con un aumento en OMC y CBR con todos los contenidos de ceniza de bagazo más altos. Curar tiene un

efecto insignificante sobre las propiedades geotécnicas del suelo estabilizado con cenizas de bagazo. De esto estudio se descubrió que el suelo estabilizado con ceniza de bagazo no cumple con el mínimo requisito de la especificación del manual del pavimento ERA para su uso como material de grado inferior en Construcción vial. También se incorpora un estudio adicional como un trabajo suplementario para investigar el efecto de aplicando 3% de cal como activador en combinación con 15% de bagazo en el área geotécnica propiedades del suelo para muestras de suelo curado y no curado.

**CONCLUSIÓN:** Los resultados indican que la cal en combinación con ceniza de bagazo es adecuada para mejorar el índice de plasticidad, hinchazón y CBR. Los valores de resistencia (CBR) también aumentaron con las edades de curado, lo que indica que el La mezcla tiene un potencial de aumento de la fuerza dependiente del tiempo que reducirá la cantidad de estabilizador necesarios para la construcción de carreteras sobre el suelo expansivo.

**APORTE:** Este estudio muestra que la cal en combinación con más ceniza de bagazo se puede utilizar de manera efectiva para mejorar los suelos expansivos con un bajo valor de CBR empapado y alta plasticidad.

**TÍTULO:** “STABILIZATION OF EXPANSIVE CLAY SOIL USING BAGASSE ASH AND LIME”. (“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS EXPANSIVOS USANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA Y CAL”)

**AUTOR:** (Barasa, 2016).

**OBJETIVO:** Evaluar el efecto de la sustitución parcial de la cal por la ceniza de bagazo de caña de azúcar en la estabilización del suelo arcilloso expansivo para producir material de la capa inferior de la carretera en construcción.

**METODOLOGÍA:** La investigación cubrió la prueba de clasificación, Índice de Plasticidad (PI) y California Bearing Ratio (CBR). Primero, la distribución del tamaño de las partículas fue determinado a partir de la prueba de calificación, en segundo lugar porcentajes variables (4%, 5% y 6%) de cal se usó para estabilizar el suelo arcilloso y luego se determinaron PI y CBR. Lo mismo se repitió el procedimiento para la ceniza de bagazo y finalmente las relaciones variables de mezcla de cal y ceniza 1: 4, 2: 3, 3: 2 y 4: 1 en la muestra.

**RESULTADO:** Los resultados de PI fueron los siguientes; lima (26%, 21% y 14%), cenizas (34%, 33% y 30%) y proporción de cal / ceniza (32%, 29%, 24% y 20%) respectivamente. La tendencia indicó que el PI del suelo arcilloso estabilizado

disminuyó con aumentar la cantidad de cal, ceniza y proporción de cal a ceniza en todas las muestras. La adición de cal o ceniza de bagazo también redujo el factor de contracción e hinchazón del suelo. El CBR se llevó a cabo utilizando la densidad seca máxima (MDD) y el contenido óptimo de humedad (OMC) del gráfico de densidad seca contra el contenido de humedad obtenido de la prueba de proctor.

Los resultados de CBR fueron los siguientes; lima (38%, 45% y 50%), ceniza (6%, 4% y 2%), y proporción de cal / ceniza (19%, 27%, 30% y 36%) respectivamente. La tendencia indica que El coeficiente de rodamientos de California aumentó con el aumento en la cantidad de cal agregada pero disminuida cuando se utilizó ceniza de bagazo. La combinación de cal y ceniza dio buenos resultados que cumplir con el estándar establecido por el manual de diseño de la carretera parte III de CBR mínimo de 20 para sub camino de base.

**CONCLUSIÓN:** Los resultados de ceniza en PI y bajos valores de CBR se concluyeron que la caña de azúcar la ceniza de bagazo sola no puede usarse para estabilizar el suelo arcilloso expansivo. Se encontró que ambos La cal y la ceniza de bagazo redujeron la contracción lineal, sin embargo, la adición de cal redujo la contracción lineal en mayor medida que el mismo porcentaje de ceniza de bagazo. Cuando la cal y la ceniza de bagazo se combinan en la proporción óptima de 4: 1, la estabilización resultados de California Bearing Ratio de 36, índice de plasticidad 20, contracción lineal de 9.0, hinchazón insignificante crear un material que puede utilizarse para trabajos de construcción.

**APORTE:** Este estudio muestra que la cal en combinación con la ceniza de bagazo se puede utilizar de manera efectiva para mejorar los suelos expansivos con un bajo valor de CBR empapado y alta plasticidad. Por lo tanto, es recomendó que dado que la ceniza de bagazo puede reemplazar parcialmente la cal en la estabilización de arcilla para formar material con propiedades cementosas, el uso de la cal debe reducirse al mínimo para reducir la creación de dióxido de carbono.

**TÍTULO:** “STABILIZATION OF EXPANSIVE SOIL USING BAGASSE ASH & LIME”. (“ESTABILIZACIÓN DE SUELOS EXPANSIVOS USANDO CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA Y CAL”)

**AUTOR:** (Wubshet & Tadesse, 2014).

**OBJETIVO:** El objetivo principal de esta investigación es evaluar el efecto de la ceniza de bagazo y la cal y su combinación en las propiedades del suelo expansivo usando Atterberg, compactación y CBR.

**METODOLOGÍA:** El suelo expansivo recolectado en Addis Ababa, ciudad secundaria de Bole, clasificado como un suelo A-7-5 en la clasificación AASHTO se estabilizó usando 3% de cal, 15% de ceniza de bagazo y 15% de ceniza de bagazo en combinación con 3% de cal por peso seco del suelo. El efecto de los aditivos en el suelo fue investigado con respecto a la plasticidad, compactación y pruebas de proporción de rodamientos de California (CBR). **RESULTADO:** Los resultados obtenidos indican un aumento en el contenido de humedad óptimo (OMC) y el valor de CBR; y una disminución en la densidad seca máxima (MDD) y la plasticidad del suelo para todos aditivos Pero también hubo una tremenda mejora en el valor de CBR cuando el suelo se estabiliza con una combinación de cal y ceniza de bagazo. **CONCLUSIÓN:** El índice de plasticidad disminuyó significativamente con adición de cal o ceniza de bagazo combinado con cal. Sin embargo, la adición de cenizas de bagazo solo tiene un efecto menor en el índice de plasticidad del suelo expansivo. **APORTE:** Esto muestra un potencial de usar ceniza de bagazo como mezcla en suelo expansivo estabilizado con cal.

## 1.6 BASES TEÓRICAS

### 1.6.1 Mejoramiento de Suelos

#### 1) Introducción

En general, el rendimiento a largo plazo de cualquier estructura geotécnica depende de la solidez de los suelos subyacentes. Los suelos inestables / expansivos pueden crear problemas importantes para pavimentos o estructuras.

La construcción exitosa de carreteras requiere la construcción de una estructura que sea capaz de soportar las cargas de tráfico impuestas. Una de las capas más importantes de la carretera es la base real, o subrasante. El suelo de subrasante forma la parte integral del pavimento de la carretera ya que proporciona el soporte al pavimento desde abajo. La función principal de la subrasante es para dar soporte adecuado al pavimento y para esto; la subrasante debería poseer suficiente estabilidad bajo clima adverso y condiciones de carga. Si estas estructuras se basan en suelos con baja capacidad de carga, es probable que fallen durante o después construcción, con o sin aplicación de carga de ruedas sobre ellos. Donde el pavimento sea construido en un suelo inherentemente débil, este material será normalmente eliminado y reemplazado con un material

granular más fuerte o mejorando el suelo hacia la propiedad deseada por adición de productos químicos (Christopher, H., 2010).

Una alternativa a la opción de extracción y reemplazo es estabilizar químicamente el material encontrado. Esto elimina la necesidad de reemplazar el material y garantiza las características ingenieriles y mejora el rendimiento del material de acogida para permitir su uso dentro de la estructura del pavimento (Christopher, H., 2010).

## 2) Estabilización de Suelos

La estabilización del suelo es la alteración de una o más propiedades del suelo, por acción mecánica o química, para crear un material de suelo mejorado que posee las propiedades de ingeniería deseadas. El proceso puede incluir la mezcla de suelos para lograr una gradación o mezcla de aditivos comercialmente disponibles que pueden alterar la gradación, textura o plasticidad, o actuar como un aglutinante para la cementación del suelo (Guyer, J. P., 2011, US Army, 1994).

## 3) Usos de la Estabilización

- ◆ **Mejora de la calidad:** Las mejoras más comunes logradas a través de la estabilización incluye la reducción del índice de plasticidad o potencial de hinchamiento, y aumenta la durabilidad y fuerza con una mejor gradación del suelo. En clima húmedo, la estabilización también puede ser utilizada para proporcionar una plataforma de trabajo para las operaciones de construcción (Guyer, J. P., 2011; US Army, 1994).
  
- ◆ **Reducción de espesor:** Se puede mejorar la resistencia y la rigidez de una capa de suelo mediante el uso de aditivos para permitir una reducción en el espesor de diseño del estabilizado material en comparación con un material no estabilizado o no consolidado. El grosor del diseño puede reducirse si los requisitos de resistencia, estabilidad y durabilidad de una base o sub-base de la carretera es indicado por un adecuado análisis con un mayor grado de complejidad (Guyer, J. P., 2011; US Army, 1994).

#### 4) Tipos de Estabilización

Los dos métodos más utilizados para estabilizar los suelos son la estabilización por compactación o estabilización por aditivos químicos. (Thian & Lee, 2012)

##### 4.1 Estabilización Mecánica

La estabilización mecánica se puede definir como un proceso para mejorar las características de estabilidad y resistencia al corte del suelo sin alterar las propiedades químicas del suelo. Los principales métodos de estabilización mecánica se pueden clasificar en compactación, mezcla o mezcla de dos o más gradaciones, aplicación de refuerzo geográfico y remediación mecánica (Guyer, J. P., 2011; Makusa, G.P., 2012).

##### 4.2 Estabilización Química

La estabilización del suelo con mezclas químicas es el método más antiguo y extendido de mejora del suelo. La estabilización química es la mezcla del suelo con una o la combinación de mezclas de polvo, lechada o líquido para mejorar o controlar su estabilidad, resistencia, hinchazón, permeabilidad y durabilidad.

La mejora del suelo mediante estabilización química se puede agrupar en tres reacciones químicas: intercambio catiónico, floculación-aglomeración y reacciones puzolánicas. (Khairul, 2009)

- ✓ Intercambio de Cationes
- ✓ Floculación y Aglomeración
- ✓ Reacciones Puzolánicas

###### a) Estabilización con Cal

Estabilizar suelos con cal aumenta su Índice plástico, así como también el Límite Líquido, También se obtiene una compactación óptima y estable gracias al aumento de su humedad.

###### b) Estabilización Suelo – cemento

Se obtiene de la combinación del suelo con aditivo sólido (cemento), teniendo como principal adición el agua, procediendo a una compactación y curado adecuado.

**c) Estabilización con Emulsión Asfáltica**

Es una mezcla de un suelo con un producto asfáltico, agua y un agente emulsivo, teniendo como finalidad impermeabilizar el suelo, haciéndolo menos sensible a los cambios de humedad y por tanto más estable en condiciones adversas.

**d) Estabilización con polímero**

Tienen una resistencia mecánica eficiente, Con polímeros se logra mejorar la estabilización ya que aumenta su resistencia y capacidad de carga, esto se debe porque cada partícula es cubierta con el polímero, luego se entrelaza por la formula única de polímeros entrelazados al ser compactados formando una masa semi-rígida, flexible, resistente al agua y con capacidad de carga.

**4.3 Fundamentos para la Estabilización de Suelos para Carreteras**

Las carreteras de Tercera Clase, según el MTC (2013), son aquellas con IMDA menores a 400 veh/día, con calzada de dos carriles de 3,00 m de ancho como mínimo, aun excepcionalmente pueden tener hasta 2,50m; Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsionantes asfálticos y/o micro pavimentos; o en afirmado, en la superficie de rodadura.

La estabilización se fundamenta en el mejoramiento de las propiedades del suelo, como son la estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad siendo estas las más relevantes al momento de realizar algún tipo de estabilización. Al elegir algún tipo de producto para mejorar las características del suelo los estudios se concentran en verificar si mejora alguna de estas propiedades.

**1.6.2 SUBRASANTE**

La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos



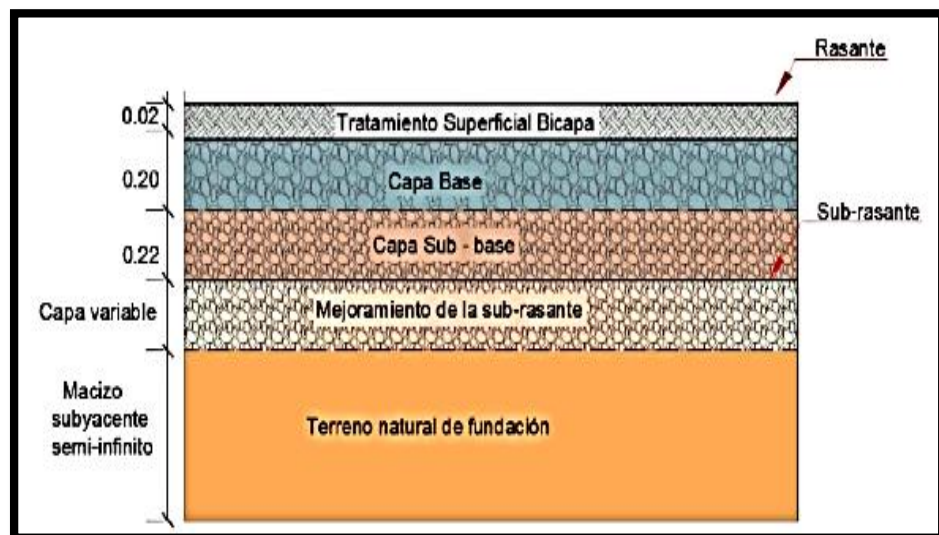
(AASHTO. 1993, p. 4) “Las propiedades importantes para analizar en la subrasante son las propiedades físicas (granulometría, límites de consistencia, densidad, contenido de agua), propiedades de rigidez (módulo resiliente, módulo de elasticidad y CBR), propiedades hidráulicas (coeficiente de drenaje, permeabilidad, coeficiente de expansión)” (Menéndez, 2013).

**Tabla 1 CATEGORÍAS DE LA SUBRASANTE**

CATEGORIAS DE LA SUBRASANTE	CBR
<b>S0: Subrasante Inadecuada</b>	CBR < 3%
<b>S1: Subrasante Pobre</b>	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
<b>S2: Subrasante Regular</b>	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
<b>S3: Subrasante Buena</b>	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
<b>S4: Subrasante Muy Buena</b>	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
<b>S5: Subrasante Excelente</b>	De CBR ≥ 30%

**FUENTE: Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.**

Se consideran como materiales aptos para la coronación de la subrasante suelos con CBR igual o mayor de 6%.



**Figura 1 Sección Transversal - Pavimento Flexible.**

**FUENTE: Ramón, 2008.**

Los parámetros determinantes en la respuesta de la Subrasante en el comportamiento de una subrasante generalmente depende de tres características básicas, las cuales se hallan interrelacionadas entre sí, siendo éstas las siguientes (Ramón, B. 2013, p. 7)

**a) La capacidad portante**

La subrasante debe tener la capacidad de soportar las cargas transmitidas por la estructura del pavimento. La capacidad de carga es función del tipo de suelo, del grado de compactación y de su contenido de humedad. El propósito del pavimento es proporcionar una superficie confortable al tránsito de vehículos. Consecuentemente, es necesario que la subrasante sea capaz de soportar un número grande de repeticiones de carga sin presentar deformaciones (Ramón, B. 2013, p.7).

**b) Contenido de humedad**

El diferente grado de humedad de la subrasante afecta en forma determinante su capacidad de carga, pudiendo además llegar a provocar inclusive contracciones y/o expansiones indeseables, especialmente en el caso de la presencia de suelos finos.

El contenido de humedad es afectado principalmente por las condiciones de drenaje, elevación del nivel freático, infiltración etc. Una subrasante con un elevado contenido de humedad sufrirá deformaciones prematuras ante el paso de las cargas de sollicitación de los vehículos (Ramón, B. 2013, p. 7).

**c) Contracción y/o expansión**

Algunos suelos se contraen o se expanden, dependiendo de su grado de plasticidad y su contenido de humedad. Cualquier pavimento construido sobre estos suelos, si no se adoptan las medidas pertinentes, tenderán a deformarse y/o deteriorarse prematuramente. Para evitar que las deflexiones admisibles en la subrasante excedan los límites establecidos, debe cumplirse que la presión transmitida por la carga se mantenga por debajo del valor de la carga máxima transmitida al suelo, para lo cual deberá tomarse en cuenta el tránsito de diseño a través del número de repeticiones de carga, las deflexiones máximas esperadas y el CBR del material con el que se ejecutará el mejoramiento (Ramón, B. 2013, p.7).

### **1.6.3 CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR COMO AGENTE ESTABILIZANTE**

En estos días, la sostenibilidad juega un papel importante en todos los aspectos de las actividades humanas. Muchas tecnologías llegaron a su fin porque no estaban en armonía con la idea de desarrollo. La sostenibilidad está preocupada por el mundo que dejaremos atrás para generaciones futuras. Se centra en los problemas sociales, ambientales y económicos de los humanos ocupaciones. Por lo tanto, requiere que cada actividad sea respetuosa con el medio ambiente, económica y seguro para lo social. (CCanto, 2010)

La ceniza de bagazo contiene una gran cantidad de sílice, que es el componente más importante de materiales de reemplazo de cemento. También se encuentra en gran cantidad como un subproducto en las fábricas de azúcar. A pesar de esta abundancia y contenido de sílice, se ha hecho relativamente poco para examinar la potencial de este material para la estabilización del suelo. Aunque poco, las investigaciones realizadas conformar la idoneidad de este material para la estabilización del suelo como una mezcla con cal y cemento. Pero aun así su idoneidad como material independiente sigue siendo cuestionable.

### **1.6.4 DISEÑO DE PAVIMENTOS**

Un pavimento es una estructura cuya finalidad es permitir el tránsito de vehículos y puede estar conformada por una o varias capas superpuestas. Las principales funciones que debe cumplir un pavimento son “proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito”. Además debe ser resistente al desgaste debido a la abrasión producida por las llantas y tener buenas condiciones de drenaje. En cuanto a la seguridad vial debe presentar una textura apropiada de acuerdo a la velocidad de circulación de los vehículos para mejorar la fricción, debe tener un color adecuado de tal manera que se eviten los reflejos y deslumbramientos. Con el fin de brindar comodidad a los usuarios, debe procurar tener regularidad superficial, tanto transversal como longitudinal. También se debería tener en cuenta en el diseño medidas para disminuir el ruido de la rodadura. Como toda obra de infraestructura

los factores de costo y de vida útil son muy importantes por lo que el pavimento debe ser durable y económico. (AASHTO, 1995)

Existen varios tipos de pavimento; sin embargo, sólo se profundizará en dos por el alcance del presente trabajo: flexible y rígido.

## 1) Tipos de Pavimentos

### 1.1) Pavimentos flexibles

Este tipo se caracteriza por estar conformado en la superficie por una capa de material bituminoso o mezcla asfáltica que se apoya sobre capas de material granular, las cuales generalmente van disminuyendo su calidad conforme se acercan más a la subrasante. Esto se debe a que los esfuerzos que se producen por el tránsito van disminuyendo con la profundidad y por razones económicas. La teoría que se utiliza para analizar su comportamiento es la teoría de capas de Burmister.

#### 1.1.1) Las características fundamentales que debe cumplir un pavimento flexible son:

- **Resistencia estructural:** el pavimento debe ser capaz de soportar las cargas debidas al tránsito de tal manera que el deterioro sea paulatino y que se cumpla el ciclo de vida definido en el proyecto.

La causa de falla en este tipo de pavimentos con mayor aceptación es los esfuerzos cortantes. Sin embargo, también se producen esfuerzos adicionales por la aceleración y frenado de los vehículos así como esfuerzos de tensión en los niveles superiores de la estructura al deformarse esta verticalmente debido a la carga que soporta. Asimismo, el pavimento se encuentra sometido a cargas actuantes repetitivas. Éstas afectan a largo plazo la resistencia de las capas de relativa rigidez, que en los pavimentos flexibles serían sobre todo las carpetas y bases estabilizadas, donde podrían ocurrir fenómenos de fatiga. Además, la repetición de cargas puede causar la rotura de los granos del material granular modificando la resistencia de estas capas.

- **Deformabilidad:** el nivel de deformación del pavimento se debe controlar debido a que es una de las principales causas de falla en la estructura y si la deformación es permanentemente, el pavimento deja de cumplir las funciones para las cuales fue construido. Se presentan dos clases de deformaciones en una vía: elásticas (recuperación instantánea) y plásticas (permanentes).
- **Durabilidad:** una carretera que tenga un ciclo de vida prolongado en condiciones aceptables no sólo evita la necesidad de construcción nueva, sino también la molestia de los usuarios de la vía al interrumpir el tránsito.
- **Costo:** se debe hallar un equilibrio entre el costo de construcción inicial y el mantenimiento al que tendrá que ser sometida la vía. Asimismo influye la calidad y la disponibilidad de los materiales para la estructura.
- **Requerimientos de la conservación:** las condiciones de drenaje y subdrenaje juegan un rol decisivo en el ciclo de vida del pavimento.
- **Comodidad:** una carretera tiene que resultar cómoda para los usuarios.

**1.1.2) Las capas que generalmente componen la estructura de un pavimento flexible son las siguientes:**

- **Carpeta asfáltica:** es la capa superficial de la estructura. Tiene tres funciones principales: servir como superficie de rodamiento uniforme y estable para permitir el tránsito, impermeabilizar la estructura para evitar en lo posible la percolación del agua al interior del pavimento y ser resistente a los esfuerzos producidos por las cargas aplicadas.
- **Base:** sirve como apoyo a la carpeta asfáltica y transmite los esfuerzos producidos por el tránsito a las capas inferiores en un nivel adecuado.
- **Sub-base:** principalmente cumple con una función económica ya que permite la utilización de materiales de menor calidad en un porcentaje del espesor del pavimento. Entonces, dependiendo de la calidad y el costo del material disponible, se puede utilizar sólo base o sub-base y base. Con la

construcción de la sub-base, puede ser que el espesor final de la capa sea mayor pero aun así resultar en un diseño más económico. Además puede servir como una capa de transición ya que actúa como un filtro que separa a la base de la subrasante impidiendo que los finos penetren en la primera y la dañen estructuralmente. Esta capa ayuda a controlar los cambios volumétricos que podrían tomar lugar en la subrasante debido a cambios en su contenido de agua o a cambios de temperatura. De esta manera, las deformaciones serían absorbidas por la sub-base evitando que se reflejen en la carpeta asfáltica. En cuanto a resistencia cumple la misma función que las capas superiores de transmitir los esfuerzos a la subrasante. Por último, a través de esta capa se puede drenar el agua e impedir la ascensión capilar.

Además, en la fase de construcción se pueden utilizar ciertos tratamientos como: la capa de sellado que se coloca encima de la carpeta asfáltica para impermeabilizar la superficie, el riego de liga y la capa de imprimación que sirven para asegurar la adherencia entre asfalto antiguo y nuevo en el primer caso, y entre el material granular y la mezcla asfáltica que se colocará encima en el segundo. Desde que se comenzaron a construir pavimentos flexibles se han ido elaborando teorías y desarrollando mejoras para el diseño y el análisis de estas estructuras. Algunos de estos avances son mencionados por Huang. Los métodos de diseño pueden ser clasificados dentro de cinco categorías y se detallan a continuación:

- ❖ **Métodos empíricos:** se caracterizan, como su nombre lo indica, por estar basados en datos recolectados de campo. Justamente esta característica resulta una desventaja en sí misma ya que el método sólo puede ser utilizado bajo las condiciones ambientales, de los materiales y de carga de las muestras originales. Los resultados no pueden ser extrapolados directamente y haría falta desarrollar un nuevo método para corregir este inconveniente.
  
- ❖ **Métodos para limitar la falla por corte:** el objetivo de estos métodos es evitar que la falla por corte ocurra. Para esto se deben tener en cuenta principalmente las propiedades de cohesión y el

ángulo interno de fricción del suelo de las diferentes capas del pavimento y de la subrasante. Este procedimiento ya no es tan popular debido a que con el incremento del volumen del tráfico y la mayor velocidad a la que llegan los vehículos se hace necesario brindar comodidad a los usuarios y no solo prevenir la falla por corte de los pavimentos.

- ❖ **Métodos para limitar las deformaciones:** con estas técnicas se diseña el pavimento con un espesor que impida que se exceda el límite permisible de deflexiones verticales. La ventaja de utilizar deflexiones como criterio principal es que se pueden medir directamente en campo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que gran cantidad de pavimentos fallan por esfuerzos y tensiones mayores que los esperados y no por deflexiones.
- ❖ **Métodos de regresión basados en el desempeño de los pavimentos o en las pruebas de las carreteras:** estos procedimientos se caracterizan por utilizar ecuaciones de regresión basadas en los resultados de pruebas de caminos existentes. No obstante, presenta la misma desventaja que el método empírico en que dichas ecuaciones sólo corresponden a las condiciones del lugar en que se encontraba la vía.
- ❖ **Métodos mecanísticos-empíricos:** estos métodos incorporan la mecánica de materiales y los datos obtenidos del rendimiento en campo de los pavimentos. Mediante estas metodologías se llega a relacionar las sollicitaciones a las que se ve sometida la estructura con la respuesta de la misma, por ejemplo, la carga de las llantas con los esfuerzos ocasionados. Utilizando este procedimiento se ha podido incrementar la confiabilidad del diseño y predecir el tipo de desgaste o deterioro que podría presentar el pavimento. Asimismo, al contrario de otros métodos antes mencionados, se puede extrapolar a partir de los datos de ciertas zonas o condiciones en que se llevan a cabo pruebas a otras circunstancias.

Un hito importante en el desarrollo de los pavimentos flexibles fue la creación de los conceptos de serviciabilidad y confiabilidad, los cuales se explicarán más a detalle posteriormente en el capítulo de diseño.

## **1.2) Pavimentos rígidos**

El elemento estructural primordial en este tipo de pavimento consta de una losa de concreto que se apoya directamente en la subrasante o en una capa de material granular seleccionado denominada subbase.

La necesidad de utilizar la subbase surge sólo si la subrasante no tiene las condiciones necesarias como para resistir a la losa y las cargas sobre esta; es decir, que no actúe como un soporte adecuado. Una de las diferencias más saltantes entre los pavimentos flexibles y rígidos es la forma en que se distribuyen los esfuerzos producidos por el tránsito sobre ellos. Debido a que el concreto es mucho más rígido que la mezcla de asfalto, éste distribuye los esfuerzos en una zona mucho más amplia.

Del mismo modo, el concreto presenta un poco de resistencia a la tensión por lo que aún en zonas débiles de la subrasante su comportamiento es adecuado. Es por ello que la capacidad portante de un pavimento rígido recae en las losas en vez de en las capas subyacentes, las cuales ejercen poca influencia al momento del diseño.

Otra diferencia importante es la existencia de juntas en los pavimentos rígidos, las que no se presentan en los flexibles. Es así como la teoría de análisis que se utiliza para la primera clase de pavimento es la teoría de placa o plancha en lugar de la teoría de capas utilizada para los caminos asfaltados.

La resistencia del concreto utilizada usualmente es alta, entre 200 y 400 kg/cm<sup>2</sup>. Por su parte las losas pueden ser de concreto simple, reforzado o pre esforzado. Otro autor clasifica los pavimentos rígidos de la siguiente manera:



- **Pavimento articulado de concreto simple o Jointed Plain Concrete Pavement (JPCP):** es la solución más económica con juntas espaciadas de manera cercana.
  
- **Pavimento articulado de concreto reforzado o Jointed Reinforced Concrete Pavement (JRCP):** si bien el refuerzo no aumenta la capacidad portante de la estructura, si permite espaciar las juntas un poco más. Asimismo, análogamente a otra estructura de concreto reforzado como una viga, el acero puede mantener el concreto unido en caso se produzca una grieta o rotura.
  
- **Pavimento continuo de concreto reforzado o Continuous Reinforced Concrete Pavement (CRCP):** con esta clase se pueden eliminar las juntas transversales pero el espesor de la losa es igual al de los dos tipos antes mencionados (JPCP y JRCP).
  
- **Pavimento de concreto preesforzado o Prestressed Concrete Pavement (PCP):** al ser aplicada una precompresión, los esfuerzos de tensión o tracción disminuyen cuando la estructura es sometida a cargas. Por lo tanto, la probabilidad de agrietamiento es menor y también se puede utilizar un menor número de juntas transversales. No obstante, no es una solución ni muy económica ni muy práctica si se tiene en cuenta el enorme trabajo que implica la etapa de construcción.

Son dos las capas que forman parte de un pavimento rígido, la subbase y la losa de concreto, y sus funciones se detallan a continuación:

- **Sub-base o base:** los distintos autores citados en el presente documento concuerdan en que las funciones de la sub-base deberían ser las siguientes:
  - Servir como apoyo uniforme a la losa.
  
  - Control de bombeo: se debe tratar de evitar el bombeo, eyección de agua con suelo (mayormente finos), a través de las juntas, grietas y extremos del pavimento. El agua proviene de la infiltración por medio de las juntas, luego por acción de los movimientos repetitivos de la losa, por

las pesadas cargas axiales del tránsito, los finos se van segregando y se licúan para posteriormente salir a la superficie. Para que ocurra el bombeo se necesita que el suelo se encuentre saturado, por ello contar con un adecuado sistema de drenaje es una de las medidas más eficientes para contrarrestar ese efecto.

- Mejorar el drenaje: otra opción a la situación descrita en el párrafo anterior es el uso de la sub-base para elevar el pavimento en caso la napa freática se encuentre muy superficial. Además utilizar material uniformemente gradado para que conforme la capa, permitiría que el agua sea drenada rápidamente evitando la acumulación.
  
  - Reducir las consecuencias del congelamiento de los suelos: el limo es más susceptible al congelamiento que la arcilla por lo que habría que limitar el porcentaje existente en la sub-base. Para que se produzca congelamiento debe haber una fuente continua de agua, entonces si la capa freática se encuentra muy cercana a la sub-base se podría optar por deprimirla.
  - Controlar los cambios de volumen de la subrasante y disminuir los efectos que tales cambios puedan producir en la superficie.
  
  - Aumentar un poco la capacidad portante del suelo de la subrasante.
  
  - Facilitar la construcción: la sub-base se puede usar como plataforma para el paso de los equipos pesados de construcción.
- **Losa de concreto:** sus funciones son similares a las de la carpeta asfáltica además de soportar y transmitir adecuadamente los esfuerzos provenientes de la superficie a las capas inferiores.

El principal criterio de diseño de un pavimento rígido considerado hasta hoy es el esfuerzo debido a la flexión. Los primeros diseños consideraban que el esfuerzo debido a cargas en las esquinas de la losa era el más crítico. No obstante, ahora es el esfuerzo en los extremos de la losa, debido a las cargas

en el borde, el que se considera más crítico. Al igual que en los pavimentos flexibles, también en los rígidos se desarrollaron diversos métodos de análisis y diseño. Seguidamente se nombran algunos de ellos:

- **Soluciones analíticas:** son tres, la fórmula de Goldbeck, el análisis de Westergaard basado en fundaciones o cimientos líquidos y el análisis de Pickett basado en cimientos sólidos. La primera considera al pavimento como una viga con una cara concentrada en la esquina. La segunda asume que la presión reactiva entre la losa y la subrasante en un punto es proporcional a la deflexión en ese mismo punto, así como que la losa y la capa inferior se encuentran en contacto pleno. El método de la PCA se basa en este análisis. Por último, el análisis de Pickett desarrolló soluciones teóricas en las cuales las losas de concreto se desenvolvían en un medio-espacio elástico.
- **Soluciones numéricas:** en las soluciones analíticas se asumió que la losa y la capa adyacente se encontraban en contacto total pero en la realidad este hecho no se cumple. Por ende, se desarrollaron métodos de elementos discretos y de elementos finitos.

Debido a que el comportamiento o la respuesta del pavimento no siempre se podrán predecir con total seguridad a partir de resultados teóricos fue necesario recopilar y cotejar con datos reales de desempeño. Es así como se reconoció lo siguiente:

- **Fatiga del concreto:** un esfuerzo de flexión repetido no causa necesariamente la ruptura del concreto siempre y cuando no se exceda el cincuenta por ciento del módulo de ruptura.
- **Bombeo:** con el incremento del tráfico en las carreteras, se hizo evidente el importante rol que desempeñaba el tipo de subrasante que existía bajo el pavimento para su funcionamiento. Es así como se determinó que el uso de material granular como base ayudaba a contrarrestar el bombeo.

En resumen, el espesor y tipo de pavimento dependerá fundamentalmente de dos aspectos: las cargas y las solicitaciones climáticas a las que se verá sometido y al material que compone el suelo donde se va a asentar.

## **2) Factores a Considerar en el Diseño de Pavimentos**

### **2.1) El Tránsito**

Durante el período de diseño adoptado. La repetición de las cargas de tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga) son fundamentales para el cálculo. A demás, se deben tener en cuenta las máximas presiones de contacto, las solicitaciones tangenciales entramos especiales (curvas, zonas de frenado y aceleración, etc.), las velocidades de operación de los vehículos (en especial las tents en zonas de estacionamiento de vehículo pesados), la canalización del tránsito, etc. (Montejo, A. 2002, p. 9)

### **2.2) La Subrasante**

De la calidad de esta capa depende, en gran parte, el espesor que debe tener un pavimento, sea éste flexible o rígido. Como parámetro de evaluación de esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento – retracción). Los cambios de volumen de un suelo de subrasante de tipo expansivo pueden ocasionar graves daños en las estructuras que se apoyen sobre éste, por esta razón cuando se concluya un pavimento sobre este tipo de suelo deberá tomarse la precaución de impedir las variaciones de humedad del suelo para lo cual habrá que pensar en la impermeabilización de la estructura. Otra forma de enfrentar este problema es mediante la estabilización de este tipo de suelo con algún aditivo, en nuestro medio los mejores resultados se han logrado mediante la estabilización de suelos con cal (Montejo, A. 2002, p. 9)

### **2.3) El Clima**

Los factores que en nuestro medio más afectan a un pavimento son las lluvias y los cambios de temperatura. Las lluvias por su acción directa en la elevación del nivel freático influyen en la resistencia, la compresibilidad y los cambios

volumétricos de los suelos de subrasante especialmente. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción tales como el movimiento de tierras y la colocación y compactación de capas granulares y asfálticas. Los cambios de temperatura en las losas de pavimento rígidos ocasionan en ésta esfuerzos muy elevados, que en algunos casos pueden ser superiores a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre ellas. En los pavimentos flexibles y dado que el asfalto tiene una alta susceptibilidad térmica, el aumento o la disminución de temperatura puede ocasionar una modificación sustancial en el módulo de elasticidad de las capas asfálticas, ocasionando en ellas y bajo condiciones especiales, deformaciones o agrietamiento que influirán en el nivel de servicios de la vía (Montejo, A. 2002,p. 10)

#### **2.4) Los Materiales Disponibles**

Los materiales disponibles son determinantes para la selección de la estructura de pavimento más adecuada técnica y económicamente. Por una parte, se consideran los agregados disponibles en canteras y depósitos aluviales del área. Además de la calidad requerida, en la que se incluye la deseada homogeneidad, hay que atender al volumen disponible aprovechable, a las facilidades de explotación y al precio, condicionado en buena medida por la distancia de acarreo, por otra parte, se deben considerar materiales básicos de mayor costo: ligantes y conglomerantes, especialmente (Montejo, A. 2002,p. 10)

#### **3) Método de Diseño: AASHTO 93**

El método de diseño AASHTO fue desarrollado a partir de los resultados de la prueba de carretera AASHTO que se llevaron a cabo durante 1959 y 196012, y es probablemente el método más ampliamente utilizado en todo el mundo. Una serie de conceptos importantes surgieron del examen práctico que se utiliza en otros métodos de diseño y se resumen a continuación. En primer lugar, un sistema de calificación del pavimento fue desarrollado como parte de la prueba de manejo. En segundo lugar, a un amplio panel de usuarios de carretera se les pidió que condujeran a través de una variedad de caminos diferentes e indicar su opinión de las condiciones en una escala entre 0 (mala) a 5 (excelente). El promedio de calificación obtenida por cada camino se llama "Present Serviceability Rating" o PSR por sus siglas en ingles. Esto se correlaciona luego

con mediciones objetivas de la rugosidad, ahuellamiento, formación de grietas y parches, de los cuales la rugosidad fue el factor dominante. El objetivo es medir el Índice actual de serviciabilidad o "Present Serviceability Index" (PSI):

✚ **Ecuación 1:** Índice Actual de Serviabilidad

$$PSI = 5.0 - b_1 \log R - b_2 RD^2 - b_3 (C + P)^{0.5}$$

Dónde:

<b>R</b>	:	Rugosidad (pulgada por milla)
<b>RD</b>	:	Profundidad de la huella (pulgadas)
<b>C</b>	:	Craqueo (Porcentaje)
<b>P</b>	:	Parche (Porcentaje)
<b>b1, b2, b3</b>	:	Coefficientes de acuerdo a la capa (sin unidades)
<b>PSI</b>	:	Índice de Condición del Pavimento (sin unidades)

El conteo del tráfico se debe traducir en "ejes equivalentes" para un conteo y suma uniforme de las cargas aportadas por cada tipo de vehículo.

La resistencia de la subrasante se correlaciona con el módulo de elasticidad obtenido en laboratorio. En este método, el espesor de las capas puede variar dependiendo de la calidad del material utilizado y del tráfico de la vía. Este método de diseño basa el resultado en un factor denominado "Número estructural", obtenido de la sumatoria de los coeficientes estructural y espesores de cada capa pero también se puede conocer valores típicos.

✚ **Ecuación 2:** Número Estructural

$$SN = \sum_i a_i * h_i$$

Dónde:

<b>a</b>	:	Coefficientes de resistencia del material
<b>h</b>	:	Ancho del tipo de capa 25

Los coeficientes de resistencia "a" están relacionados con los ensayos de resistencia del material estándar. Por ejemplo, se ha derivado una relación entre el coeficiente de resistencia para una base de piedra triturada (a2) y su valor de CBR. Del mismo modo, este valor de a2 se ha relacionado con la resistencia a la

compresión no confinada. Por otra parte, los coeficientes para los materiales de asfalto son muy dependientes de la temperatura; por ello los valores más bajos se deben utilizar en climas más cálidos.

Los factores ambientales son considerados en el diseño de pavimentos representados como un "factor regional" (R), el cual afectará directamente a la estimación del tráfico existente. Por lo tanto, en las zonas cálidas y áridas, donde no existe excesiva presencia de agua y humedad en el pavimento, se supone que un diseño adecuado está relacionado con un factor regional bajo. Por el contrario, en las zonas húmedas, el factor regional es alto. Estos valores oscilan entre 0,2 en zonas áridas y 5,0 en las zonas húmedas. A pesar de la importancia del factor regional en el proceso de diseño, no hay una guía detallada que se utilice para la selección de su valor. Varios métodos se han utilizado en los Estados Unidos, pero, esencialmente, que están basados en "ingeniería de juicio", o son un medio para calibrar el método de diseño AASHTO por lo que está de acuerdo con los gráficos de diseño. Estos enfoques son válidos siempre que el comportamiento de los pavimentos en la región se conozca. Los exámenes prácticos demuestran de manera espectacular la variabilidad que se puede tener en el desempeño de los pavimentos. El método de diseño permite una elección de los diferentes niveles de confiabilidad seleccionados sobre la base de la clase de carretera y la política de la administración de carreteras los cuales se toman en cuenta para su posterior diseño.

La ecuación de diseño AASHTO relaciona la capacidad de tráfico de carga en términos de ejes equivalentes estándar (ponderada por un factor regional) a número estructural, en donde la resistencia de la sub rasante se expresa en términos de módulo resiliente; el PSI original, el valor PSI seleccionado para definir la condición terminal es usado para determinar el nivel de confiabilidad. A primera vista la ecuación parece compleja pero en realidad es bastante sencilla:

**Ecuación 3:** Método AASHTO 93

$$\begin{aligned} \log W_{8.2} = & Z * S_0 + 9.36 \log_{10} (SN + 1) + \left[ \frac{\log_{10} [(PSI_0 - PSI_f) / (4.2 - 1.5)]}{0.4 + (1094 / (SN + 1)^{5.19})} \right] \\ & + 2.32 \log_{10} M_R - 8.27 \end{aligned}$$

Dónde:

<b>W8.2</b>	:	Trafico Acumulado Ponderado
<b>Z</b>	:	Desviación de la normal
<b>S0</b>	:	Desviación Estándar del Tráfico
<b>SN</b>	:	Número Estructural
<b>PSI</b>	:	Índice de Condición del Pavimento
<b>MR</b>	:	Módulo de Resiliencia de la sub-rasante

El método AASHTO 93 presenta los siguientes pasos: Estimación de la carga total convertidas a ejes equivalentes para la vida útil de diseño. Multiplicar el tráfico por un factor regional correctivo. Calcular la resistencia de la sub rasante, en términos de módulo de elasticidad (esto es 1500 CBR en libras por pulgada cuadrada a la unidad imperial) ponderada como sea necesario para las condiciones mensuales. Seleccione la pérdida de capacidad de servicio (PSI0 - PSI<sub>f</sub>) típicamente entre 2,0 y 3,0. Seleccione el nivel de confiabilidad y la desviación estándar del rendimiento local de 0,35 a 0,45 en la escala de logW8.2. Usar un nomograma para encontrar SN, o usar la ecuación iterativa.

### 1.6.5 ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS

La subrasante es la capa donde toda la estructura del pavimento se apoya (es por ello que es imprescindible un estudio de suelos, ya que mediante este estudio podremos conocer las características, propiedades y el comportamiento del suelo). (Al-Rawas & Mattheus, 2006)

#### 1) Ensayo de Granulometría

Se realizará ensayos de granulometría tanto en el material del terreno natural o subrasante, así como en el material de las canteras que será utilizado como base o subbase. De acuerdo a las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-2000) del MTC13 se debe cumplir con una granulometría específica para que el agregado sea considerado aceptable. Más adelante se detallará más sobre estos requisitos.

#### 2) Contenido de Humedad

El contenido de humedad de un suelo, se asume como la cantidad de agua dentro de los espacios/poros entre los granos del suelo, el cual se quita por secado en



horno a 105-110°C. Cuando el suelo se calienta por un periodo de 12-24 horas y se denomina al suelo como seco. En suelos granulares no cohesivos este procedimiento remueve toda el agua presente.

### 3) Límites de Atterberg

También conocidos como límites de consistencia, es una medida básica de la naturaleza de un suelo granular fino. El científico sueco Albert Mauritz Atterberg fue quien definió estas medidas, las cuales fueron mejoradas posteriormente por Arthur Casagrande.

Estos límites se basan en el concepto de que en un suelo solo pueden existir cuatro estados de consistencia dependiendo del contenido de agua o contenido de humedad que este tenga: sólido, semisólido, plástico y líquido. La consistencia y comportamiento del suelo en cada estado es diferente, por lo que sus propiedades mecánicas también.

Los contenidos de humedad en los puntos de transición de un estado a otro son los denominados límites de Atterberg. Estos se utilizan para distinguir los diferentes tipos de suelo.

### 4) Ensayo de compactación Proctor modificado (Método C)

Se realiza el ensayo Proctor modificado por el método C, que aplica 56 golpes por capa de suelo (5 capas) a una muestra dentro de un molde de tamaño estándar. El objetivo del ensayo es determinar la máxima densidad seca a la que puede llegar el material y el contenido de humedad óptimo que permita aquella condición. Este ensayo se encuentra normado en la Norma MTC E 115.

### 5) Ensayo de valor de soporte de California o CBR

Este ensayo compara el comportamiento de un suelo determinado con el de una roca chancada de calidad estándar. Se aplica carga sobre la muestra compactada previamente mediante el ensayo Proctor, así como saturada en agua por 4 días y se va registrando la carga necesaria para producir penetración en el material en intervalos de 0.1” hasta 0.5”. Una vez obtenido el valor de carga necesaria para producir 0.1” y 0.2” para todas las muestras compactadas a diferentes densidades, se procede a dividirlo entre 1000 psi en el primer caso y 1500 psi en el segundo.

Esta cantidad se expresa en porcentaje y representa el CBR del suelo. Luego para la densidad requerida se elige el mayor valor de CBR entre el de 0.1” y el de 0.2”, el cual será el CBR de diseño. En este caso la máxima densidad seca requerida es 95%. Este ensayo se encuentra normado en la Norma MTC E 132.

## **1.7 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **a) CARRETERAS NO PAVIMENTADAS**

Camino en que la superficie de rodadura es el terreno natural, nivelado y compactado mediante el uso de herramientas o maquinarias simples.

### **b) SUBRASANTE**

Es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos (AASHTO, 1993).

### **c) SUELOS**

Los suelos son agregados de partículas minerales, y junto con el aire y/o agua en los espacios vacíos, forman sistemas trifásicos.

### **d) ESTABILIZACIÓN DE SUELOS**

Es el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo a través de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. Tales estabilizaciones, por lo general se realizan en los suelos de subrasante inadecuado o pobre, en este caso son conocidas como estabilización suelo cemento, suelo cal, suelo asfalto y otros productos diversos (MTC, 2013).

### **e) ACTIVACIÓN ALCALINA**

La activación alcalina es un proceso químico donde materiales de aluminosilicatos de origen natural o industrial, pueden transformarse en esqueletos de cemento compactos cuando se mezclan con una solución altamente alcalina.

#### **f) MATERIALES PUZOLÁNICOS**

Son materiales silíceos o aluminio-silíceos que reaccionan químicamente con cal hidratada a temperatura normal y en presencia de humedad para formar un material resistente.

#### **g) ENSAYOS DE MECÁNICA DE SUELOS**

Estos ensayos son necesarios para caracterizar el material granular que servirá como base o subbase. Asimismo, para hallar uno de los parámetros de diseño más importantes, el módulo de resiliencia de la subrasante, se puede realizar una correlación en base al CBR del terreno natural.

### **1.8 FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

#### **1.8.1 Hipótesis general**

La adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar mejorará las propiedades físico-mecánicas del suelo a nivel de subrasante, influyendo en su capacidad portante.

#### **1.8.2 Hipótesis específicas**

- ◆ La muestra de suelo con la adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar al 5 % presentará una mejora en comparación a la muestra patrón en sus propiedades físicas y mecánicas, disminuyendo su plasticidad e incrementando su capacidad portante.
- ◆ La muestra de suelo con la adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar al 10% mejorará notablemente sus propiedades físicas y mecánicas, disminuyendo su plasticidad e incrementando su capacidad portante.
- ◆ La muestra de suelo con la adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar al 10 % mejora sus propiedades físicas y mecánicas en mayor proporción que la mezcla con adición al 5%.
- ◆ La muestra de suelo con la adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar al 15% experimentará los mayores cambios en cuanto a la mejora de sus propiedades físicas y mecánicas, presentando un mejor comportamiento debido a su disminución de la plasticidad e incremento de la capacidad portante en gran medida.

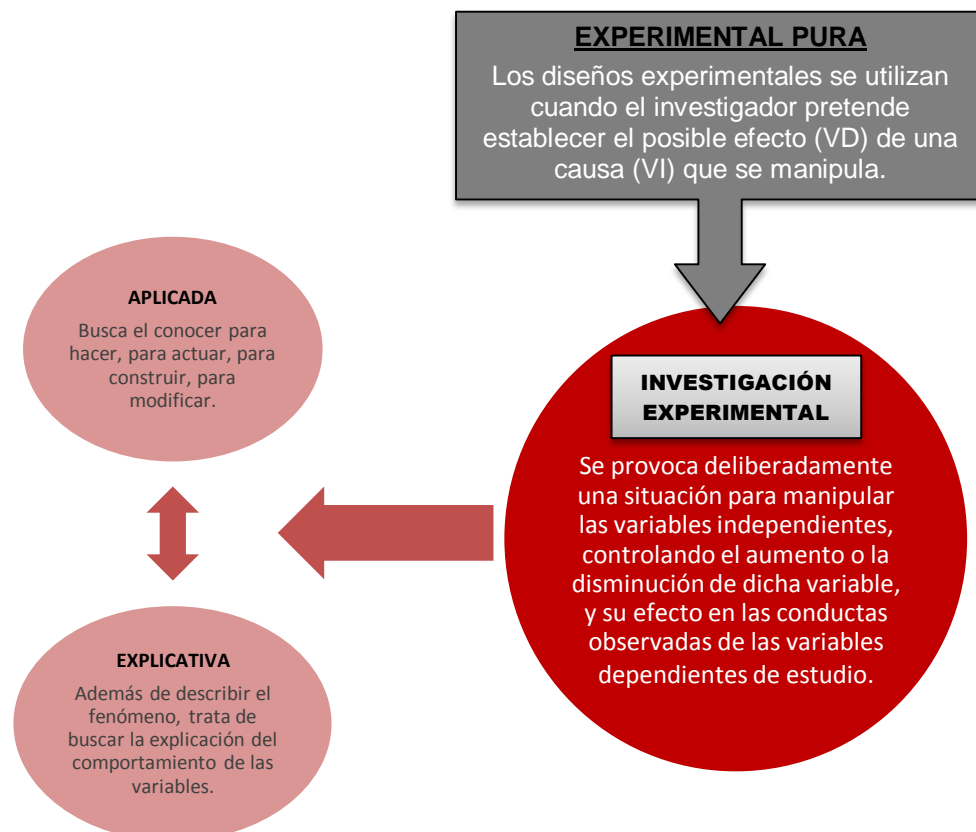
## **CAPÍTULO 2.**

### **MATERIAL Y MÉTODOS**

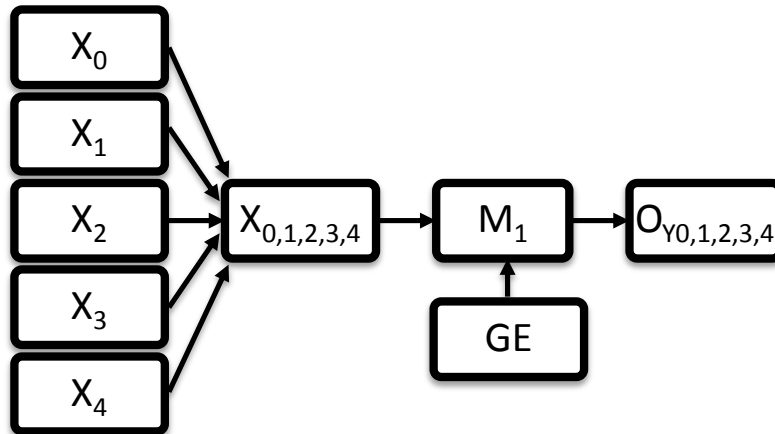
## 2.1 MATERIAL DE ESTUDIO

### 2.1.1. Diseño de investigación

- ⇒ La presente investigación es de tipo experimental, debido a que se provoca deliberadamente una situación para manipular las variables independientes, controlando el aumento o la disminución de dicha variable, y su efecto en las conductas observadas de las variables dependientes de estudio.
- ⇒ El presente trabajo es una investigación experimental pura ya que los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto (variable dependiente) de una causa (variable independiente) que se manipula.
- ⇒ Esta investigación es aplicada pues depende de los descubrimientos y avances de la investigación básica y se enriquece con ellos, pero se caracteriza por su interés en la aplicación, utilización y consecuencias prácticas de los conocimientos.
- ⇒ La presente investigación es explicativa pues además de describir el fenómeno, trata de buscar la explicación del comportamiento de las variables.



**Diseño Experimental Puro**



**Donde:**

**Grupo Experimental** : GE

**Variable Independiente (x)**: % de adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA)

**Variable Dependiente (y)** : Estabilización de Suelos para Subrasantes.

**Muestra no Alterada** : M

**Medición de la Muestra** : OY

**2.1.2. Unidad de estudio**

Suelos del distrito de Laredo-Trujillo, provincia La Libertad.

➤ **Definición**

El suelo como un cuerpo natural involucrado en interacciones dinámicas con la atmósfera que está encima y con los estratos que están debajo, que influye el clima y el ciclo hidrológico del planeta y que sirve como medio de crecimiento para una variada comunidad de organismos vivos. Además, él juega un papel ambiental preponderante como reactor bio-físico-químico que descompone materiales de desecho y recicla dentro de él nutrientes para la regeneración continua de la vida en la Tierra (Hillel, 1998).

➤ **Características**

La muestra obtenida debe estar conformada por un tipo de suelo arcilloso de mediana plasticidad, con este dato no ha permitido calcular el índice de grupo, que permite contemplar la clasificación de suelos por el método AASHTO siendo la clase A-6 y por la clasificación de SUCS es CL, ML. suelo limo arcilloso, siendo un suelo cuyo porcentaje que pasa la Malla No. 200 es menor al 61 %.

➤ **Lugar de Procedencia**

Para el estudio se consideró el espacio distrital de Laredo – Trujillo del departamento de La Libertad, el cual se encuentra localizado entre las coordenadas 8° 00' 30" a 8° 08' 30" de la latitud Sur y entre 80° 50' 00" a 79° 15' 00" de longitud Oeste, altitud 89 m.s.n.m. y con una superficie estimada de 335.44 km<sup>2</sup>. Según Carrera y Loyola (2010) el distrito de Laredo presenta clima árido de tipo desértico, semi-cálido, con lluvias deficientes. La temperatura media anual es de 20,2°C; en invierno, 18.5°C y en verano, 24°C. La humedad relativa se mantiene entre 70 y 90%.

Por tal motivo, se consideró como unidad de estudio a los suelos de la Av. Campo Primavera, progresiva Km 0 + 000.00 al Km 1 + 00.00 del mencionado distrito, extraídos de las calicatas consideradas como puntos de investigación, de dimensiones 3.00 x 1.50 x 2.00 metros cada una. Cabe mencionar que dicho número se basa en la Tabla 2 proveniente del Manual de Carreteras de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC 2013).

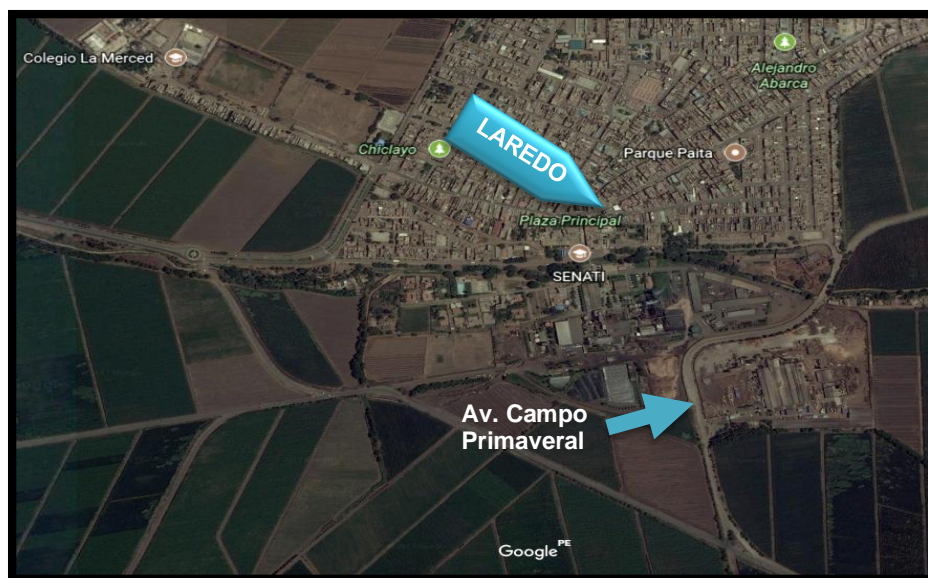
**Tabla 2 NÚMERO DE CALICATAS PARA EXPLORACIÓN DE SUELOS.**

Tipo de Carretera	Profundidad(m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: Carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o mas carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Calzada 2 carriles por sentido: 4 calzadas x km x sentido</li> <li>● Calzada 3 carriles por sentido: 4 calzadas x km x sentido</li> <li>● Calzada 4 carriles por sentido: 6 calzadas x km x sentido</li> </ul>	Las calicatas se ubicaran lomgitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: Carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o mas carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Calzada 2 carriles por sentido: 4 calzadas x km x sentido</li> <li>● Calzada 3 carriles por sentido: 4 calzadas x km x sentido</li> <li>● Calzada 4 carriles por sentido: 6 calzadas x km x sentido</li> </ul>	
Carreteras de Primera Clase: Carreteras con un IMDA entre de 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	● 4 Calicatas x km	Las calicatas se ubicaran lomgitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: Carreteras con un IMDA entre de 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	● 3 Calicatas x km	
Carreteras de Tercera Clase: Carreteras con un IMDA entre de 400 y 201 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	● 2 Calicatas x km	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: Carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada	1.50 m respecto al nivel de sub rasante del proyecto	● 1 Calicatas x km	

**FUENTE:** *Manual de Carreteras de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos” del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC 2013).*

### 2.1.3. Población

Toda la población contemplada en la presente investigación es de 100 kilogramos de suelo extraído de los puntos de investigación (calicatas) de la Av. Campo Primavera, progresiva Km 0 + 000.00 al Km 1 + 00.00 del distrito de Laredo – Trujillo, departamento de La Libertad. La muestra de suelo extraída será estabilizada mediante la adición de diferentes porcentajes de un agente estabilizador como es el caso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA), para su posterior caracterización y evaluación de desempeño a nivel de subrasante mediante ensayos de laboratorio.



*Figura 2 Imagen Satelital de la Av. Campo Primavera en el Distrito de Laredo.*

### 2.1.4. Muestra (muestreo o selección)

Muestra no probabilística e intencional, Porque se escoge sus unidades no en forma fortuita, sino en forma arbitraria, designando a cada unidad según características que al investigador resulten de relevancia (Sabino, C. 1996).





**Total de Muestra:** Son 100 kilogramos de suelo extraídos para investigación (calicatas) en el tramo de estudio de la Av. Campo Primavera, que inicia en la progresiva Km 0 + 000 Km, y termina en la progresiva 1+00 Km en el distrito de Laredo – Trujillo, departamento de La Libertad. Basándose en el Manual de Carreteras de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos” del MTC 2013 se optó, a criterio del investigador, realizar tres puntos diferentes de exploración (calicatas) ubicadas estratégicamente en el tramo de estudio en Km 0 + 100 Km, 0+450 Km con el fin de obtener el total de muestra requerida por la investigación. La muestra de suelo extraída será reforzada con ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) en proporciones de, (0%, 5%, 10%, 15%, utilizándose el total extraído para el desarrollo de la presente investigación según lo planteado a continuación:

**Tabla 3 CALCULO DEL TOTAL DE ENSAYOS NECESARIOS PARA LA MUESTRA**

ENSAYOS	NORMA	Nº ENSAYOS	CANTIDAD POR ENSAYO (Kg)
Análisis Granulométrico	MTC E-107- 2000	1	1.0 a 1.50
Contenido de Humedad	ASTM D 2216 – NTP 339.127	6	0.5 a 0.70
Peso Específico	ASTM D 854 – NTP 339.127	6	0.5 a 0.80
Límite Líquido	ASTM D 4318 – NTP 339.127	4	0.2.a 0.35
Límite Plástico	ASTM D 4319 – NTP 339.127	4	0.2 a 0.35
PROCTOR MODIFICADO	ASTM D1557 - NTP 339.127	3	3.0 a 4.0
RELACION SOPORTE (CBR)	D1883- NTP 339.127	3	5.0 a 8.0

**TOTAL:**

## 2.2 Técnicas, procedimientos e instrumentos

### Técnicas de recolección de datos

La técnica de recolección de datos de la presente investigación será por medio de la observación directa, la cual permite la visualización y registro de las calicatas realizadas como unidades de control, en formatos diseñados para cada tipo de estudio, conservándose el orden, la precisión y coherencia de los datos obtenidos.

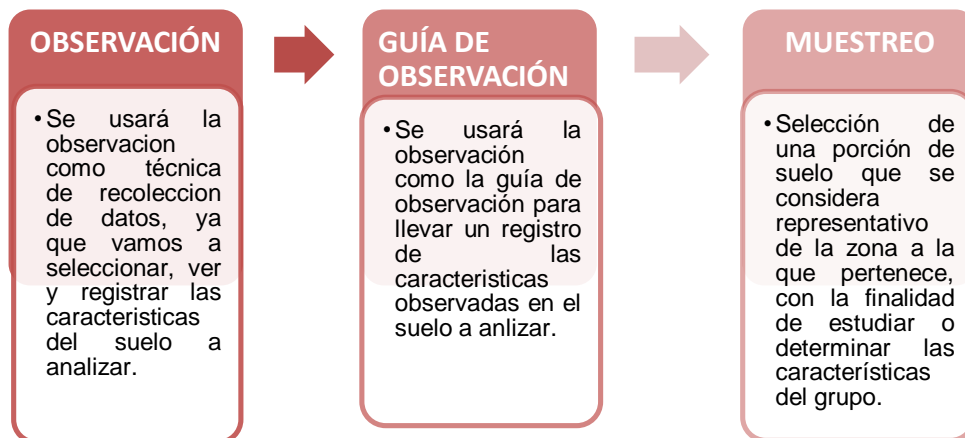
Este proceso de conocimiento permite percibir deliberadamente el tipo de suelo que existe en el desarrollado de esta investigación de la Av. Campo Primavera, progresiva Km 0 + 000.00 al Km 1 + 00.00 del distrito de Laredo.

Al terminar, se hizo el traslado de la muestra al laboratorio de Mecánica de Suelos de La Universidad Privada de Trujillo, para realizar el análisis de características físicas y mecánicas del suelo.

#### **Instrumentos de recolección de datos**

Los formatos de elaboración propia diseñados para el registro de los datos obtenidos de cada una de las calicatas realizadas en la Av. Campo Primavera, progresiva Km 0 + 000.00 al Km 1 + 00.00 del distrito de Laredo serán adjuntados al final del presente informe.

### **2.3 Procedimiento de Recolección de Datos**



Mediante la observación se hará la recolección de datos en campo, al seleccionar las características del suelo a analizar en la presente investigación, las cuales serán registradas en la guía de observación. Terminada dicha actividad se pasará al muestreo de suelo de los puntos de investigación anteriormente especificados, lo cual permitirá extraer una porción de suelo representativo de la zona para su posterior estudio de acuerdo a lo indicado en este trabajo.

## 2.4 Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

### 2.4.1 Aborde Metodológico

El método inductivo o inferencia estadística es el método de investigación que más se adapta al presente estudio debido que, a partir de la observación de datos y los registros propios de los ensayos experimentales, se contrastará las hipótesis planteadas como verdaderas o falsas. En el desarrollo de toda la investigación se pueden distinguir los pasos que están dentro del método inductivo.

### 2.4.2 Instrumentos para Procedimientos de Análisis de Datos

Mediante la experimentación se busca la manipulación de la variable independiente, y de esta manera la observación de los resultados y su comparación con otros, en los cuales no haya operado la actuación deliberada del experimentador.

Es por tal, que los datos obtenidos de cada uno de los ensayos realizados en los Laboratorios de Mecánica de Suelos de la Universidad Privada de Trujillo serán registrados en los formatos de elaboración propia diseñados para cada ensayo considerado en el presente trabajo de investigación, los cuales serán adjuntados al final del presente informe, siendo estos:

**Tabla 4 INSTRUMENTOS PARA EL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS.**

TIPO DE ENSAYO	INSTRUMENTOS	DESCRIPCIÓN	NORMATIVA VIGENTE
<b>CARACTERISRICAS FISICAS</b>	LIMITES DE CONSISTENCIA	Para caracterizar el comportamiento del suelo.	MTC E-107-2000
	GRANULOMETRÍA	Clasificación de los suelos.	ASTM D 2216 – NTP 339.127
	PESO ESPECIFICO	Peso específico de partículas.	ASTM D 854 – NTP 339.127
	CONTENIDO DE HUMEDAD	Para caracterizar el comportamiento del suelo.	ASTM D 4318 – NTP 339.127
<b>CARACTERISTICAS MECANICAS</b>	PROCTOR MODIFICADO	Para determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario de los suelos.	ASTM D 4319 – NTP 339.127
	RELACIÓN SOPORTE (CBR)	Para determinar la capacidad de carga de los suelos.	ASTM D1557 - NTP 339.127

### 2.4.3 Análisis de Datos

El análisis estadístico es de importancia en la evaluación de los resultados obtenidos porque nos permite tener certeza de la confiabilidad de los valores extraídos de las pruebas y en función a los parámetros estadísticos poder evaluar los resultados.

Para tener la confiabilidad de los datos se ha considerado evaluar los resultados obtenidos del ensayo de CBR, en función a la siguiente tabla:

*Tabla 5 CALIFICACIÓN DEL SUELO EN FUNCIÓN DE LA SUBRASANTE.*

CBR	CALIFICACIÓN	USO	SUCS	AASHTO
0 – 3	Muy pobre	Subrasante	CH, MH	A5, A6, A7
3 – 7	Pobre – Regular	Subrasante	CH, MH	A4, A5, A6, A7
7 – 20	Regular	Subrasante	CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20–50	Bueno	Base–Subbase	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
> 50	Excelente	Base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

*FUENTE: Manual de laboratorio de suelos para ingeniería civil. Bowles J. (1980)*

#### 2.4.3.1 Distribución Normal Estándar

##### ◆ ENSAYO: California Bearing Ratio (CBR)

Se utilizará la expresión de intervalo de confianza de dos lados para una Distribución Normal:

$$[X_{med} - \mu] = K_{\alpha/2} \times \left[ \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right] = \text{Máximo error permitido}$$

Dónde:

- $K_{\alpha/2}$ : Es el número de veces que se debe contemplar la desviación estándar para lograr un determinado grado de confiabilidad.
- $\sigma$ : Desviación estándar encontrada para el CBR en suelos similares en otros proyectos.

Es sugerencia usar un nivel de confianza de 95% y un máximo error permitido en términos de % en CBR igual a 2%. La desviación estándar igual a 2.10 (Montejo, A., 2002, p.185).

Para el nivel de confianza de 95%:

$$\alpha/2 = \frac{1 - 0.95}{2} = 0.05$$

$$K_{\alpha/2} = 1.645$$

Luego se tiene:

$$K_{\frac{\alpha}{2}} x [\sigma/n^{0.5}] = 2\%$$

Reemplazando los datos, se obtiene:

$$K_{\frac{\alpha}{2}} x [\sigma/n^{0.5}] = 1.645 x [2.10/n^{0.5}] = 2\%$$

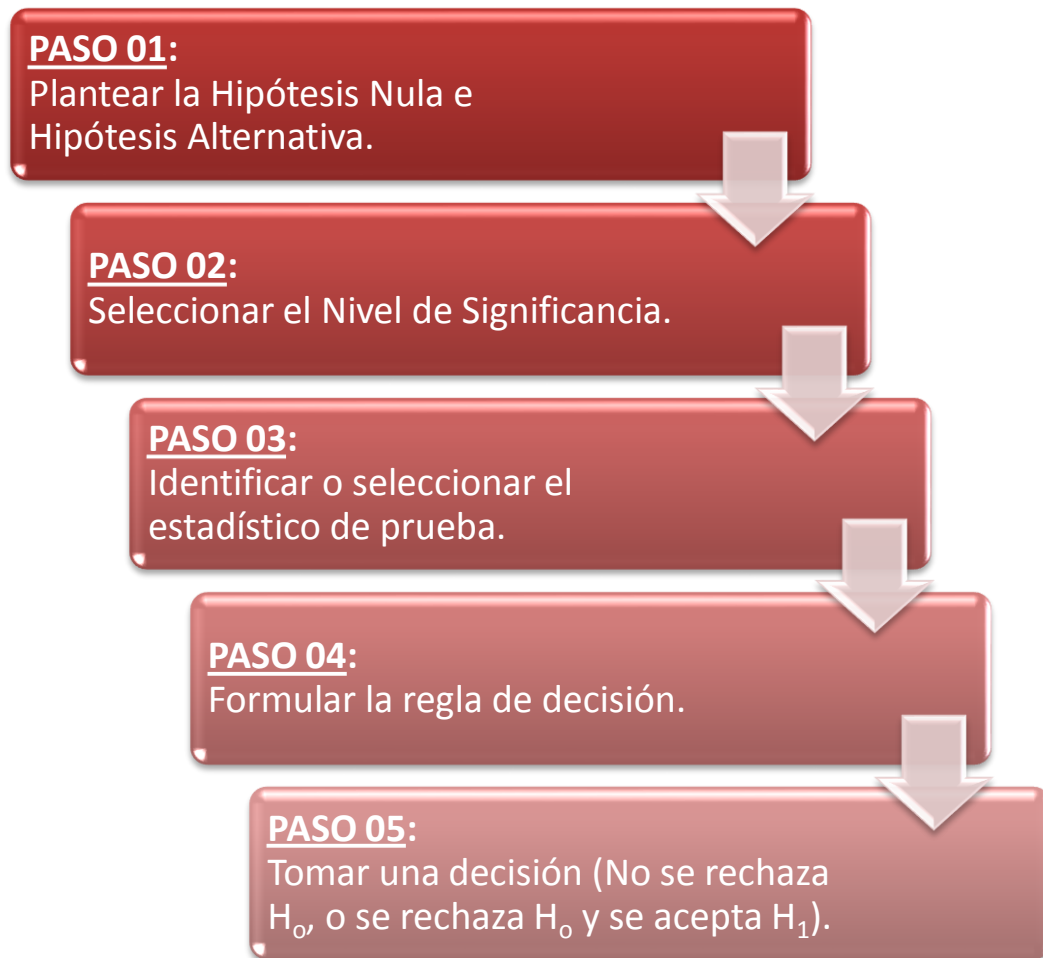
$$n = 2.983 \text{ muestras}$$

Aproximadamente 3 ensayos serán necesarios para satisfacer los requerimientos de la presente investigación, esto por cada una de las dosificaciones con las que se está trabajando.

#### 2.4.3.2 Prueba de Hipótesis

La hipótesis en la estadística es una aseveración de una población elaborado con el propósito de poner a prueba, y que para verificar si la afirmación es razonable se usan datos.

En el análisis estadístico se hace una aseveración, es decir, se plantea una hipótesis, después se hacen las pruebas para verificar la aseveración o para determinar que no es verdadera. Por tanto, la prueba de hipótesis es un procedimiento basado en la evidencia muestral y la teoría de probabilidad, se emplea para determinar si la hipótesis es una afirmación razonable. La prueba de hipótesis se realiza mediante un procedimiento sistemático de cinco pasos: (Cruz Ramírez, 2011)



El esquema para realizar una prueba de hipótesis acerca de un parámetro “u” es el siguiente:

**a) Identificar el parámetro de interés:**

Es decir, en base a qué parámetros se va a evaluar la hipótesis, pudiendo ser este parámetro la media “u” de la Población.

Para el caso de esta investigación el parámetro de interés es el ensayo de CBR, se denotará como “u”.

**b) Establecer la hipótesis nula ( $H_0$ ):**

La hipótesis nula no tiene alternativas de cambio, está basada en un solo valor exacto del parámetro poblacional, generalmente se construye esta hipótesis como una igualdad ( $u_1 = u_2$ ).

Sin embargo para la comparación de dos poblaciones, como es el caso de la presente investigación se plantea la siguiente Hipótesis Nula  $H_0: u_1 \leq u_2$ .

**c) Especificar una apropiada hipótesis alternativa ( $H_a$ ):**

Existen dos tipos de hipótesis alternativa: La primera de ellas es la hipótesis bilateral la cual se utiliza cuando la conclusión que se quiere obtener no implica ninguna dirección específica, y la respuesta será “no es igual a”. La segunda es la denominada hipótesis unilateral, que es la que se aplica en esta investigación, se utiliza cuando las proporciones planteadas deben ser respondidas como “mayor que”, “menor que”, etc.

- **Si  $H_a: u_1 > u_2$**  Significa que la región crítica se encuentra en la cola superior de la distribución normal del estadístico de prueba.
- **Si  $H_a: u_1 < u_2$**  Significa que la región crítica se encuentra en la cola inferior de la distribución normal del estadístico de prueba.

Para fines de esta investigación se plantea,  $H_a: u_1 > u_2$ .

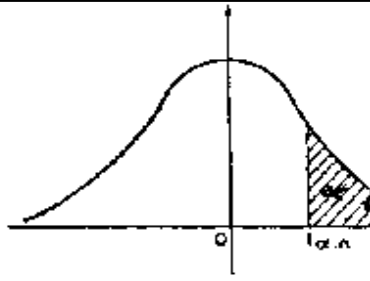
**d) Seleccionar el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05, 0.01$  ó  $0.10$ ):**

Los niveles de significancia más recomendados son:

- **$\alpha = 0.10$**  con 90% de probabilidad de certeza.
- **$\alpha = 0.05$**  con 95% de probabilidad de certeza.
- **$\alpha = 0.01$**  con 99% de probabilidad de certeza.

El nivel de significancia más usual con el que se analiza los resultados de Ensayo de CBR es 0.05, con el cual se determina ttabla, de las tablas estadísticas.

Tabla 6 DETERMINACION DEL NIVEL DE SIGNIFICANCIA.



$\alpha/2$ gl	0,40	0,30	0,20	0,10	0,050	0,025
1	0,325	0,727	1,376	3,078	6,314	12,71
2	0,289	0,617	1,061	1,886	2,920	4,303
3	0,277	0,584	0,978	1,638	2,353	3,182
4	0,271	0,569	0,941	1,533	2,132	2,776
5	0,267	0,559	0,920	1,476	2,015	2,571
6	0,265	0,553	0,906	1,440	1,943	2,447
7	0,263	0,549	0,896	1,415	1,895	2,365
8	0,262	0,546	0,889	1,397	1,860	2,306
9	0,261	0,543	0,883	1,383	1,833	2,262
10	0,260	0,542	0,879	1,372	1,812	2,228
11	0,260	0,540	0,876	1,363	1,796	2,201
12	0,259	0,539	0,873	1,356	1,782	2,179
13	0,259	0,538	0,870	1,350	1,771	2,160
14	0,258	0,537	0,868	1,345	1,761	2,145

De donde, para un nivel de significancia de 0.05,  $t_{tabla} = 1.782$ . Este valor se utilizará para todas las pruebas de hipótesis.

e) **Estadístico de Prueba – Distribución T de Student:**

Se utilizará para detectar la existencia de diferencias significativas entre las medias de una determinada variable cuantitativa en dos grupos de datos.

• **Requisitos**

- ✓ Datos distribuidos según una distribución normal en cada grupo.
- ✓ Muestras independientes y menores a 30.

• **Procedimiento de Cálculo**

- ✓ El estadístico de prueba para una distribución t-student con  $n1 + n2 - 2$  grados de libertad es el siguiente:



$$t_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}; \quad S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Donde:

**$n_1$  y  $n_2$ :** Tamaños de las muestras 1 y 2 respectivamente.

**$\bar{X}_1$  y  $\bar{X}_2$ :** Medias de las muestras 1 y 2 respectivamente.

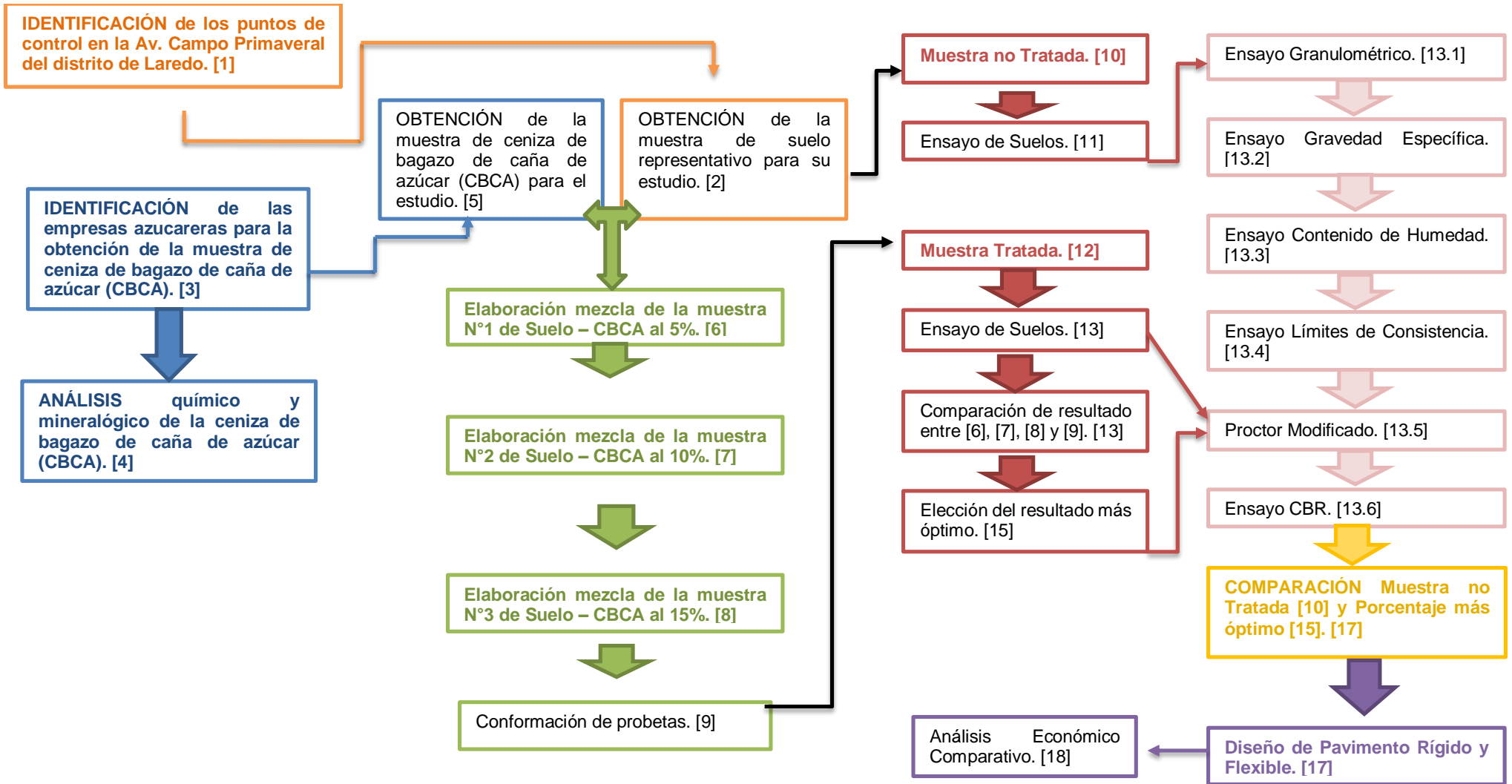
**$S_1^2$  y  $S_2^2$ :** Varianzas de las muestras 1 y 2 respectivamente.

- ✓ A continuación, se mide la significación del estadístico  $t_p$ , comparando ese valor con el valor de un estadístico  $t_{tabla}$  que se obtiene mirando las tablas correspondientes.
  
- ✓ Para identificar el  $t_{tabla}$  que nos corresponde hemos de fijarnos en el número de colas que tiene nuestra hipótesis (una cola o dos colas), en el nivel de significación ( $\alpha$ ) con el que pretendemos rechazar la hipótesis nula; y en los grados de libertad del test ( $n_1 + n_2 - 2$ ).

**S i:**  $t_p \geq t_{tabla} \rightarrow$  Se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ .

**S i:**  $t_p < t_{tabla} \rightarrow$  Se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$ .

2.5 Esquema General de Procedimientos



## 2.6 Ensayos de Laboratorio

Con la finalidad de determinar las propiedades físico-mecánicas de las muestras, se determinaron mediante los procedimientos establecidos en el Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras del MTC (EM – 2016), que a continuación se indican:

### 2.6.1 ENSAYO GRANULOMÉTRICO

El análisis granulométrico tiene por objeto la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de suelo. Se 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 75  $\mu\text{m}$  (No.200).

#### ◆ MATERIAL

Se utilizó un aproximado de 1000 g. de suelo seco, el cual previamente fue pasado por el tamiz N° 4, se lavó con ayuda del tamiz N° 200, con un abundante chorro de agua, teniendo en cuenta del cuidado correspondiente para que no se pierda ninguna partícula retenida en el tamiz, este material se colocó en un depósito y se secó en el horno a una temperatura de 110° C, durante 24 horas

#### ◆ EQUIPO

- Juego de tamices
- Balanza con aproximación de 0.1 gr.
- Estufa
- Taras

#### ◆ PROCEDIMIENTO

##### ○ FRACCIÓN GRANULAR GRUESA

Primero que toda la fracción granular gruesa se pesa en la balanza y el peso se anota. Luego de lleva a cabo el tamizado para separar las diferentes partículas 3", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 3/8", 1/4", y No 4, comenzando en orden decreciente, teniendo en cuenta de no mezclar las partículas tamizadas. Al mismo tiempo se coloca una tara en la balanza de 20Kg de capacidad y 1gr de sensibilidad. Y se determina el peso de cada fracción retenida. Se debe verificar que la suma de los pesos retenidos en cada tamiz de igual al peso de la Fracción Granular gruesa, con una tolerancia de 0.5% de error.

○ **FRACCIÓN GRANULAR FINA**

Se toma todo el material pasante el tamiz No 4, se pesa en la balanza de 20kg. Se vierte la muestra en el Tamiz No 200, teniendo el cuidado de no perder el material. Luego se elimina las partículas inferiores al Tamiz No 200 (limo, arcilla y coloides) lavando el material. Hasta que el agua salga limpia y clara. No se debe remover el material con las manos dentro del tamiz. Todo el material retenido en el Tamiz No 200 será arena, ya que los finos fueron lavados, se coloca en un recipiente, teniendo en cuenta de no dejar material adherido en el tamiz. Se pasa el material a una escudilla de 600 ml, haciendo uso del frasco lavador. Se descanta el agua y se seca la muestra en el horno a una temperatura de  $105 \pm 5$  C por 18 horas aprox. Luego se deja enfriar y se separa por medio de tamices No 10, No 40, No 60, No 200. Se pesan las fracciones retenidas en cada uno de tamices.

◆ **CÁLCULOS**

○ **Se calcula el peso total de la muestra**

(T): peso total de la muestra (T)

(A): Fracción Granular Gruesa (A)

(Ba) Fracción Granular Fina

$$T = A + Ba$$

○ **Se determina el Peso pasante del tamiz No 200**

Peso pasa No 200 =  $Bb - (\text{peso retenidos tamices No 10, 40, 60, 200})$

○ **Se calcula el peso retenido en los tamices inferiores. Al tamiz No 4 con respecto a (Ba)**

Peso ret. En Tamiz  $< No4 = \_Ba\_ \times$  Peso ret. En dicho Tamiz Bb

○ **Determinar el % retenido en cada tamiz, en cuanto a (T)**

%retenido parcial Tamiz X =  $100 \times \text{Peso ret. tamiz X} / T$

○ **Calcula el % retenido acumulado**

% ret. Acum. Tamiz X = % ret. Acum tamiz anterior + % ret parcial tamiz X

○ **Obtener % pasante de cada tamiz**

% Pasante Tamiz X =  $100 - \%$  ret. Acumul tamiz X

○ **Se construye la curva granulométrica**

- **Se determina la Gradación del suelo, mediante los Coeficientes de Uniformidad y Curvatura.**

## 2.6.2 ENSAYO CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad de una muestra indica la cantidad de agua que esta contiene, expresándola como un porcentaje del peso de agua entre el peso del material seco. En cierto modo este valor es relativo, porque depende de las condiciones atmosféricas que pueden ser variables. Entonces lo conveniente es realizar este ensayo y trabajar casi inmediatamente con este resultado, para evitar distorsiones al momento de los cálculos.

### ◆ MATERIAL

Para los contenidos de humedad, se empleará la cantidad mínima de espécimen especificada en la norma:

**Tabla 7 CANTIDAD MÍNIMA DE ESPECIMEN DE ENSAYO HUMEDO PARA CONTENIDO DE HUMEDAD.**

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla Estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 0.1\%$	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados a $\pm 1\%$
2 mm o menos	2.00 mm (N° 10)	20 g	20 g*
4.75 mm	4.760 mm (N° 4)	100 g	20 g*
9.5 mm	9.525 mm (3/8")	500 g	50 g
19.0 mm	19.050 mm (3/4")	2.5 kg	250 g
37.5 mm	38.1 mm (1½")	10 kg	1 kg
75.0 mm	76.200 mm (3")	50 kg	5 kg

**FUENTE:** Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016.

### ◆ EQUIPOS

- Horno de Secado
- Balanzas
- Recipientes
- Utensilios de manipulación de recipientes

### ◆ PROCEDIMIENTO

- 1) Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada).

- 2) Seleccionar especímenes de ensayo representativos de acuerdo lo indicado en anteriormente.
- 3) Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza seleccionada de acuerdo al peso del espécimen.
- 4) Registrar este valor.
- 5) Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a  $110 \pm 5$  °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para obtener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede ser establecida por un buen juicio, y experiencia con los materiales que sean ensayados y los aparatos que sean empleados.
- 6) Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se le colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado. Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza usada en 8.3. Registrar este valor. Las tapas de los contenedores se usarán si se presume que el espécimen está absorbiendo humedad del aire antes de la determinación de su peso seco.

◆ CÁLCULOS

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

$$W(\%) = \frac{W_{\text{húmedo}} - W_{\text{seco}}}{W_{\text{seco}}} \times 100$$

### 2.6.3 ENSAYO LÍMITE LÍQUIDO

Se determina mediante la Copa de Casagrande (D-4318 ASTM) y se define como el contenido de agua con el cual se cierra una ranura de 1/2in (12.7mm), mediante 25 golpes.

#### ◆ MATERIAL

Suelo seco que pase la malla n° 40.

#### ◆ EQUIPO

- Malla n° 40
- Copa de Casagrande
- Ranurador
- Balanza con aproximación de 0.01 gr
- Estufa
- Espátula
- Probeta de 100ml
- Capsula de porcelana
- Taras

#### ◆ PROCEDIMIENTO

- 1) En una capsula de porcelana mezclar el suelo con agua mediante una espátula hasta obtener una pasta uniforme.
- 2) Colocar una porción de la pasta en la copa de Casagrande, nivelar mediante la espátula hasta obtener un espesor de 1 cm.
- 3) En el centro hacer una ranura con el acanalador de tal manera que la muestra queda dividida en dos partes.
- 4) Elevar y caer la copa mediante la manivela a razón de 2 caídas por segundo hasta que las dos mitades de suelo se pongan en contacto en la parte inferior de la ranura y a lo largo de 1.27 cm. Registrar el número de golpes.
- 5) Mediante la espátula retirar la porción de suelo que se ha puesto en contacto en la parte inferior de la ranura y colocarlo en una tara para determinar su contenido de humedad.
- 6) Retirar el suelo remanente de la copa de Casagrande y colocar en la capsula de porcelana agregar agua si el número de golpes del ensayo anterior ha dado alto, o agregar suelo si el número de golpes ha sido bajo (el número de golpes debe estar comprendido entre 6 y 35).
- 7) Lavar y secar la copa y el acanalador
- 8) Repetir el ensayo mínimo 2 veces más.

- 9) Dibujar la curva de fluidez (la recta) en escala semilogarítmica en el eje de abscisas se registrará el número de golpes en escala logarítmica en el eje de ordenadas los contenidos de humedad en escala natural.
- 10) Determinar la ordenada correspondiente a los 25 golpes en la curva de fluidez, este valor será el límite líquido del suelo.

#### 2.6.4 ENSAYO LIMITE PLÁSTICO

Es el contenido de agua con el cual el suelo se cuarteo y quiebra al formar pequeños rollitos de 3.2mm de diámetro.

◆ MATERIAL

Suelo seco que pase la malla n° 40.

◆ EQUIPO

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Estufa
- Espátula
- Cápsula de porcelana
- Placa de vidrio
- Taras

◆ PROCEDIMIENTO

- 1) La porción de la mezcla preparada para el límite líquido agregar suelo seco de tal manera que la pasta baje su contenido de humedad.
- 2) Enrollar la muestra con la mano sobre una placa de vidrio hasta obtener cilindros de 3 mm. de diámetro y que presenten agrietamientos, determinar su contenido de humedad.
- 3) Repetir el ensayo una vez más.
- 4) El límite plástico es el promedio de los 2 valores de contenidos de humedad.

#### 2.6.5 CARACTERIZACIÓN DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR

- ◆ Se tamizo la ceniza de bagazo de caña, para obtener un tamaño uniforme de partícula del material a mezclar, donde se hizo uso del tamiz N° 200, el cual posee una abertura de 0.075 mm.



- ◆ Se llevó a estudio por medio del difractómetro Brunker D8 ADVANCE ECO, donde se obtuvo los datos de difracción de rayos X (DRX), el cual permitió conocer los minerales presentes.

### 2.6.6 ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

Ensayo para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco compactado con una energía de compactación determinada. El objetivo de la prueba es determinar el contenido de humedad para el cual el suelo alcanza su máxima densidad seca.

- ◆ MATERIAL

Se hicieron los cálculos correspondientes a los porcentajes (%) en peso del material estabilizante, en este caso de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) a ser necesitado. Así para una mezcla de 3kg. de suelo el 5% de CBCA corresponde a 150 g., de igual manera que el 10% y 15% corresponde a 300 g. y 450 g. respectivamente

- ◆ EQUIPO

- Molde
- Pisón o Martillo
- Balanzas
- Horno de Secado
- Bandeja

- ◆ PROCEDIMIENTO

- 1) Secar el material si este estuviera húmedo, puede ser al aire libre o al horno.
- 2) Tamizar a través de las mallas  $\frac{3}{4}$ ",  $\frac{3}{8}$ " y N°4 para determinar el método de prueba.
- 3) Preparar 4 ó 5 muestras de 6kg. Para el método C y de 3 Kg. si se emplea el método A ó B.
- 4) Agregar agua y mezclar uniformemente. Cada punto de prueba debe tener un incremento.
- 5) Colocar la primera capa en el molde y aplicarle 25 ó 56 golpes según el método de ensayo.
- 6) Los golpes deben ser aplicados en toda el área, girando el pisón adecuadamente.

- 7) Cada golpe debe ser aplicado en caída libre, soltar el pisón en el tope.
- 8) De igual forma completar las cinco.
- 9) La última capa debe quedar en el collarín de tal forma que luego pueda enrasarse.
- 10) Enrasar el molde con una regla metálica quitando previamente el collarín.
- 11) Retirar la base y registrar el peso del suelo + molde.
- 12) Luego de pesado, extraer el suelo y tomar una muestra para el contenido de humedad, como mínimo 500 gr. para material granular tomada de la parte central del molde.
- 13) Llevar las muestras al horno para determinar la humedad.
- 14) Repetir el procedimiento para un mínimo de 4 puntos compactados a diferentes contenidos de humedad, dos de los cuales quedan en el lado seco de la curva y los otros dos en el lado húmedo.
- 15) Una vez determinados el contenido de humedad de cada muestra hallar la densidad seca de cada punto.

◆ CÁLCULOS

$$\gamma_d = \frac{\gamma_m}{1 + \frac{w}{100}}$$

$\gamma_m$  = densidad húmeda = peso suelo húmedo / volumen

w = contenido de humedad

### 2.6.7 ENSAYO CBR

El CBR (California Bearing Ratio) se obtiene como un porcentaje del esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón una profundidad de 0.1 pulgadas en una muestra de suelo y el esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón, la misma profundidad de 0.1 pulgadas, en una muestra patrón de piedra triturada.

$$CBR = \frac{\text{Esfuerzo en el Suelo Ensayado}}{\text{Esfuerzo en el Suelo Patrón}}$$

El método CBR comprende los 3 ensayos siguientes:

- Determinación de la densidad y humedad.
- Determinación de las propiedades expansivas del material.
- Determinación de la resistencia a la penetración.

#### ◆ MATERIAL

Se hicieron los cálculos correspondientes a los porcentajes (%) en peso del material estabilizante, en este caso de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) a ser necesitado. Así para una mezcla de 8000 g. de suelo el 5% de CBCA corresponde a 400 g., de igual manera que el 10% y 15% corresponde a 800 g. y 1200 g. respectivamente.

#### ◆ EQUIPO

- Equipo para Ensayo CBR
- Molde
- Estufa
- Balanzas
- Tamices
- Bandeja

#### ◆ PROCEDIMIENTO

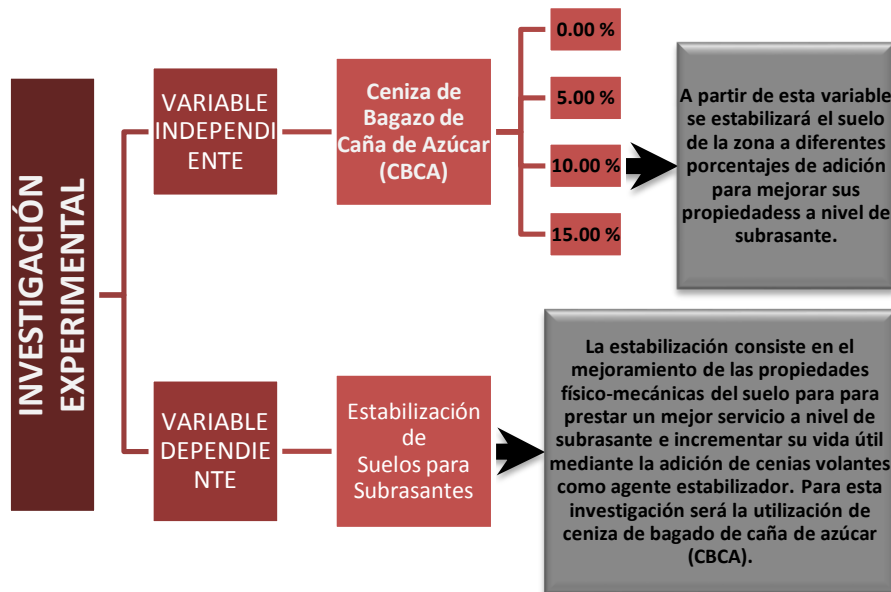
- 1) Se procedió a agregar el suelo en una bandeja donde se homogeneizará la mezcla de suelo y CBCA, añadiéndose la cantidad óptima de agua para lograr la compactación adecuada.
- 2) Se compactó la muestra en 5 capas, en cada uno de los 3 moldes de CBR, el primero con 12 golpes por capa, el segundo con 25 golpes por capa y el tercero con 56 golpes por capa.
- 3) Terminada la compactación del material dentro del molde, se procedió a colocar los 3 moldes dentro de una poza de agua durante 4 días (96 horas), de tal manera se tomó registro de las lecturas de expansión cada 24 horas.
- 4) Pasados los 4 días se sacó los moldes de la poza de agua para realizar el ensayo carga – penetración (determinación de la resistencia a la penetración), de cada uno de los moldes.

- 5) Se retiró el dial, trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, para en ese estado dejarlo durante 15 minutos drenar el agua sobrante, para poder así luego realizar el ensayo de carga.

## 2.7 Operacionalización de Variables

La investigación experimental consiste en la manipulación intencional de una o más variables independientes no comprobadas, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento en particular con una o más variables dependientes. El presente trabajo es una investigación experimental explicativa, en el cual se consideran una variable independiente y una variable dependiente para el desarrollo de la investigación realizada.

### 2.7.1 Definición de Variables



### 2.7.2 Clasificación de Variables



### 2.7.3 Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
<b>ESTABILIZACIÓN DE SUELOS PARA SUBRASANTES.</b>	Consiste en el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo a través de métodos o procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos. En este caso será a través del uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como agente estabilizador.	En la construcción de subrasantes para carreteras, en la Av. Campo Primavera, progresiva Km 0 + 000.00 al Km 0 + 100.00, distrito de Laredo – Trujillo, Departamento de La Libertad, mediante la toma de muestras representativas del suelo de la zona por medio de calicatas.	Caracterización de la Ceniza Volante.	Microscopia Electrónica de Barrido (SEM). Difracción de Rayos X (DRX).	
			Caracterización del suelo.	Estudio de Mecánica de Suelos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Contenido de Humedad.</li> <li>✓ Granulometría.</li> <li>✓ Límites de Atterberg.</li> <li>✓ Gravedad Específica.</li> <li>✓ Clasificación de Suelos (AASHTO y SUCS).</li> </ul>
			Máxima densidad seca de la mezcla suelo – ceniza volante.	Proctor Modificado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Contenido de Humedad.</li> <li>✓ Granulometría.</li> <li>✓ Límites de Atterberg.</li> </ul>
			Capacidad de soporte relativo del suelo.	Ensayo CBR.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Máxima Densidad Seca.</li> <li>✓ Humedad Óptima.</li> </ul>
			Dimensionamiento de pavimento típico.	Cálculo y fórmulas normadas por AASTHO para suelos a nivel de subrasantes con y sin estabilizante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ CBR.</li> <li>✓ Tráfico estándar.</li> </ul>
			Análisis económico.	Cálculo del presupuesto, análisis de precios unitarios de las alternativas estudiadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dimensionamiento de pavimento típico.</li> <li>✓ Cotización precios de mercado.</li> </ul>

## 2.8 DEASARROLLO DE TESIS

Para la realización de la presente investigación se identificó los tres puntos de investigación (calicatas) a ejecutarse a lo largo de la Av. Campo Primavera, progresiva Km 0 + 000.00 al Km 1 + 000.00 del distrito de Laredo, para la obtención de la muestra de suelo representativa a utilizarse a lo largo del procedimiento experimental. Al completar la recolección de aproximadamente 100 kilogramos de muestra requeridos, se transportó al Laboratorio de Mecánica de Suelos de La Universidad Privada de Trujillo en donde se realizó los ensayos contemplados.

Por otro lado, la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) provino de la Empresa Laredo SAC al ubicarse próximo a la zona de estudio, así como ser el principal contaminante en el rubro azucarero. Luego de la obtención de la ceniza a utilizarse como agente estabilizador, se realizó su caracterización química y mineralógica mediante los ensayos de Difracción de Rayos X (DRX) y Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), obteniendo así los porcentajes exactos de cada uno de los componentes de la ceniza a utilizarse.

Los aproximados 100 kilogramos de muestra se repartieron en dos partes: Muestra no Tratada y Muestra Tratada. Es a la Muestra no Tratada la que se sometió inicialmente a la conformación de las probetas necesarias para la realización de los ensayos de Análisis Granulométrico, Límites de Consistencia, Contenido de Humedad y Gravedad Específica para conocer las características propias del suelo de la zona y así lograr su posterior clasificación. Teniendo estas especificaciones y junto con la composición de la ceniza se logró la definición de los porcentajes de adición de la ceniza al suelo para su mejoramiento mediante la estabilización de éste.

Los porcentajes de adición elegidos en esta investigación fueron al, 5.00%, 10.00% y 15.00%. Luego de la obtención de la Muestra Tratada a partir de las mezclas Suelo-CBCA con cada uno de los porcentajes antes citados, se sometió a cada una de las mezclas al ensayo de Proctor Modificado, así como también una Cantidad de Muestra no Tratada para servir como Control. De los resultados obtenidos se escogió la que mejor resultados presentó al lograrse determinar la densidad máxima que se puede lograr con la mezcla cuando es compactada utilizando una humedad óptima.

Luego de la elección de la muestra con el resultado más óptimo (en esta investigación es la mezcla de la muestra N° 3 de Suelo – CBCA al 15.00 %), se procedió a su análisis mediante el ensayo de CBR, así como la Muestra no Tratada al servir como Control. Se obtuvo así la capacidad de soporte del suelo mejorado (Muestra Tratada) así como del suelo natural (Muestra no Tratada).

Con estos resultados se realizó el diseño de pavimento tanto rígido como flexible para ambos casos, Muestra Tratada y Muestra no Tratada, para luego llegar al análisis económico comparativo de cada una de las posibilidades, demostrando que la estabilidad de suelos mediante el uso de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como agente estabilizador representa una alternativa ecológicamente sostenible, representando una alternativa de solución a las condiciones pobremente ingenieriles del suelo y la contaminación ambiental existente en la actualidad a causa de la industria azucarera así como el planteamiento de una nueva línea de estudio para futuras investigaciones.



### **CAPÍTULO 3.**

### **RESULTADOS**

Este capítulo presenta los resultados de las pruebas de laboratorio. La propiedad ingenieril relevante del suelo se evalúa para muestras de suelos naturales y estabilizados (Muestra Tratada y Muestra No Tratada) por separado. Las pruebas incluyen Análisis Granulométrico, límites de Atterberg, Gravedad Específica, Proctor Modificado y relación de rodamiento de California (CBR).

### 3.1 Contenido de humedad.

En la Tabla 8 se presentan los resultados promedio de las tres repeticiones realizadas en el ensayo correspondiente al contenido de humedad (NTP 339.127) de las muestras obtenidas en los estratos 1 y 2 en cada una de las calicatas.

**Tabla 8: Resumen de resultados del ensayo de contenido de humedad – Calicatas**

N.º	CALICATAS	ESTRATO	PROGRESIVA	PROF. (m).	W (%)
			(Km)		Promedio
1	C-01	E-01	0+100	0.80	23.29
		E-02	0+100	1.50	19.06
2	C-02	E-01	0+450	1.00	21.18
		E-02	0+450	1.50	24.17
3	C-03	E-01	0+890	0.90	28.13
		E-02	0+890	1.50	33.98

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2 Granulometría.

En la Tabla 9 se presentan los resultados de los ensayos correspondientes al análisis granulométrico por tamizado, en donde se presenta el porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 de las muestras tomadas del estrato 1 y 2 en cada una de las calicatas, realizado bajo lo dispuesto en la norma MTC E-107- 2000

**Tabla 9: Resumen de resultados del ensayo de granulometría – Calicatas**

Nº	CALICATAS	ESTRATO	PROGRESIVA	PROF. (m).	% QUE PASA POR EL TAMIZ Nº200
			(Km)		
1	C-01	E-01	0+100	0.80	63.17
		E-02	0+100	1.50	64.34
2	C-02	E-01	0+450	1.00	59.73
		E-02	0+450	1.50	50.23
3	C-03	E-01	0+890	0.90	56.33
		E-02	0+890	1.50	66.77

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3 Límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP)

En la Tabla 10 se presentan los resultados de los ensayos correspondientes a límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de las muestras tomadas en cada una de las calicatas para los estratos 1 y 2, realizado bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.129

**Tabla 10: Resumen de resultados del ensayo de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad – Calicatas**

Nº	CALICATAS	PROGRESIVA (Km)	PROF. (m).	LL	LP	IP
				%	%	%
1	C-01	0+100	0.80	26.39	15.71	10.68
		0+100	1.50	26.09	17.46	8.63
2	C-02	0+450	1.00	31.96	14.83	17.13
		0+450	1.50	33.06	17.76	15.30
3	C-03	0+890	0.90	25.05	20.47	4.58
		0+890	1.50	42.62	34.24	8.38

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4 Clasificación SUCS y AASHTO

En la Tabla 11 se presentan los resultados de la clasificación SUCS y AASHTO de las muestras tomadas en cada uno de los estratos de las calicatas, ensayos realizados bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.134 para la clasificación SUCS.

Nº	CALICATAS	ESTRATO	PROGRESIVA	PROF. (m).	CLASIFICACION	
			(Km)		SUCS	AASHTO
1	C-01	E-01	0+100	0.80	CL	A-4
		E-02	0+100	1.50	CL	A-4
2	C-02	E-01	0+450	1.00	CL	A-6
		E-02	0+450	1.50	CL	A-6
3	C-03	E-01	0+890	0.90	CL	A-6
		E-02	0+890	1.50	CL	A-6

**Tabla 11: Resumen de resultados de la clasificación SUCS y AASHTO – Calicata**

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5 Gravedad específica

En la Tabla 12 se presentan los resultados del ensayo correspondiente a la gravedad específica de las muestras tomadas en cada una de las calicatas, realizado bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.131

**Tabla 12: Resumen de resultados del ensayo de Gravedad Específica**

Nº	CALICATAS	PROGRESIVA (Km)	GE
1	C-01	0+100	2.7
2	C-02	0+450	2.51
3	C-03	0+890	2.49

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.6 Proctor Modificado

En la Tabla 13 se presentan los resultados del ensayo correspondiente a Proctor modificado, realizado a las muestras del estrato 1 tomadas de las calicatas 01, 02 y 03; realizado bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.141.

**Tabla 13: Resumen de resultados del ensayo de Proctor Modificado**

Nº	CALICATAS	PROGRESIVA	DENSIDAD SECA MAXIMA	CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%)
		(Km)	(g/m <sup>3</sup> )	(%)
1	C-01	0+100	1.90	11.78
2	C-02	0+450	1.89	11.71
3	C-03	0+890	1.91	11.86

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.7 CBR

En la Tabla 14 se presentan los resultados del ensayo correspondiente a CBR de las muestras tomadas en las calicatas 01, 02 y 03; realizado bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.145

**Tabla 14: Resumen de resultados del ensayo de CBR**

Nº	CALICATAS	PROGRESIVA (Km)	CBRAL 95% M.D.S.	CBR AL 95% M.D.S
			(0.1")	(0.2")
1	C-01	0+100	2.93	3.62
2	C-02	0+450	2.84	3.56
3	C-03	0+890	3.14	3.78

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.8 Ensayos realizados a la muestra de suelo con adición de CBCA

#### 3.8.1 Límites de Atterberg con adición de CBCA

En la Tabla 15 se presentan los resultados del ensayo correspondiente a Límites de consistencia de las muestras tomadas en la calicata 02, pues el resto de muestras tienen similitud en el índice de plasticidad. Se adiciono de 5%, 10% y 15% de CBCA suelo muestra; realizado bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.141.

**Tabla 15: Resumen de resultados del ensayo de Límites de Atterberg con adición de CBCA**

MUESTRAS	% DE ADCION DE CENIZA	LL	LP	IP
		%	%	%
SUELO PATRÓN	5%	15.69	1.65	14.04
	10%	10.92	0.85	10.07
	15%	9.77	0.85	8.92

*Fuente: Elaboración propia*

#### 3.8.2 Proctor Modificado

En la Tabla 16 se presentan los resultados del ensayo correspondiente a Proctor modificado de las muestras tomadas en las calicatas 02, con adición de 5%, 10% y 15% de CBCA en cada una de ellas; realizado bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.141.

**Tabla 16: Resumen de resultados del ensayo de Proctor Modificado a la muestra de suelo con adición de CBCA.**

Nº	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	PROGRESIVA (Km)	% DE CBCA	DENSIDAD SECA MAX	CONT. DE HUMEDAD OPTIMO
					(g/cm <sup>3</sup> )	(%)
1	SUELO PATRON	1.50	0+450	5	1.92	12.39
				10	2	13.34
				15	2.05	13.67

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.8.3 CBR

En la Tabla 17 se presentan los resultados del ensayo correspondiente a CBR de las muestras tomadas en las calicatas con adición de 5%, 10% y 15% de CBCA; realizado bajo lo dispuesto en la norma NTP 339.145.

**Tabla 17: Resumen de resultados del ensayo de CBR a muestra de suelo con adición de 5%, 10 % y 15% de CBCA**

Nº	MUESTRA	PROGRESIVA	% DE CBCA	CBRAL 95% M.D.S.	CBR AL 95% M.D.S.
		(Km)		(0.1")	(0.2")
1	SUELO PATRON	0+450	5	3.72	5.13
			10	6.56	6.29
			15	14.28	17.65

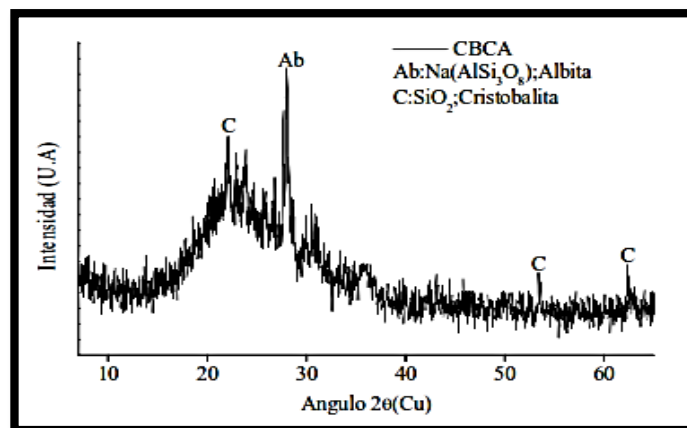
*Fuente: Elaboración propia*

### 3.9 Caracterización de la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar

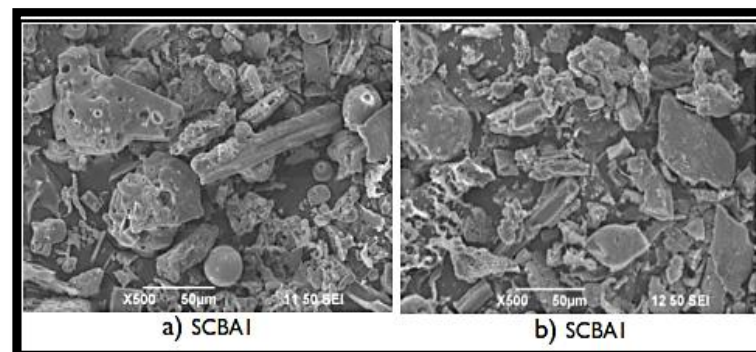
Los resultados de las pruebas químicas llevadas a cabo sobre ceniza de bagazo se muestran a continuación:

**Tabla 18: Composición Química de CBCA.**

COMPONENTES	% Composición
SiO <sub>2</sub>	65.58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.87
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.32
CaO	1.78
MgO	1.23
K <sub>2</sub> O	6.41
Na <sub>2</sub> O	1.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.35
SO <sub>3</sub>	0.18
Cl <sub>2</sub>	< 0.1
MnO	0.05
TiO <sub>2</sub>	0.25
L.O.I	10.48



*Figura 3 Difracción de Rayos X a la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar (CBCA).*



*Figura 4 Microscopía Electrónica de Barrido.*

### 3.9.1 Efecto de la Ceniza de Bagazo en los Límites de Atterberg

Se evidencio que la muestra patrón obtienen un índice de plasticidad elevado por consiguiente son las más expuestas al I.P. y es la C-2.

Se demostró que mediante la adición del 15% cenizas bagazo de caña de azúcar a la muestra patrón disminuye favorablemente su índice de plasticidad de la calicata patrón que fue seleccionada ya que es la más deficiente. Cabe precisar que al 5 % y 10% también disminuyen su índice de plasticidad, pero con un porcentaje menor.

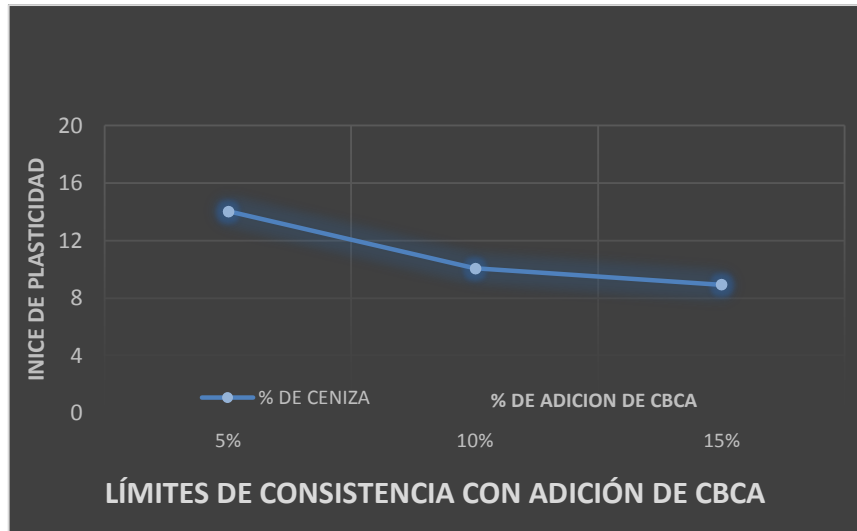


Figura 5 Resumen del Índice de Plasticidad con Adición de CBCA.



## **CAPÍTULO 4.**

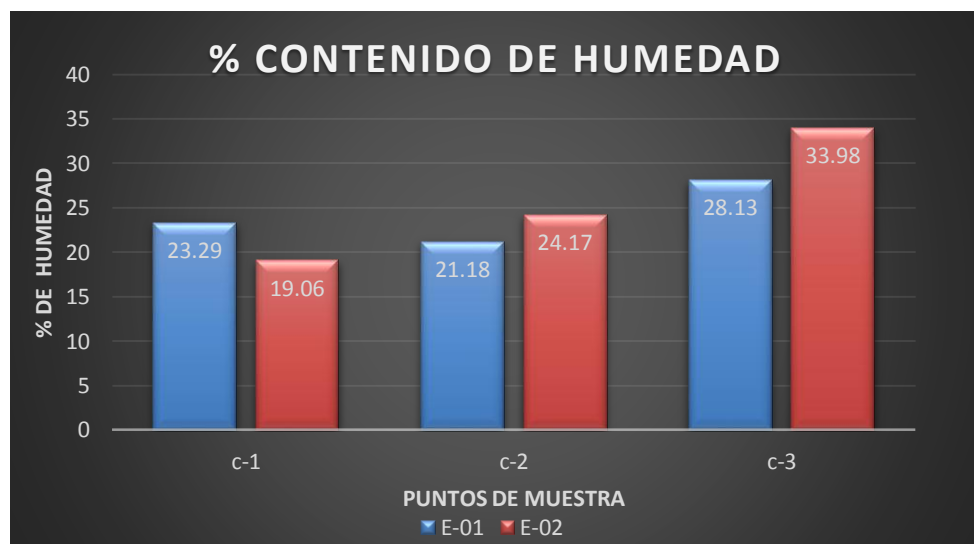
### **DISCUSIÓN**

#### 4.1 Caracterización de la Muestra

##### a. Contenido de humedad

Los datos mostrados en la Tabla 8 corresponden a los resultados obtenidos en el ensayo de contenido de humedad. El porcentaje de contenido de humedad es un dato utilizado para conocer la relación que existe entre el peso del agua de la masa del suelo con respecto a las partículas sólidas del mismo.

La Figura N° 6 presentan los resultados correspondientes al contenido de humedad promedio de las calicatas estudiadas, para cada uno de sus estratos, donde se aprecia que en ambos estratos superan el 18 % de humedad. Esta información es importante ya que el contenido de agua que presenta un suelo representa junto con la cantidad de aire, una de las características más importantes para explicar el comportamiento del suelo, como por ejemplo la estabilidad mecánica.



*Figura N° 6 Análisis de contenido de Humedad*

*Fuente: Elaboración propia*

##### b. Límite líquido (LL), límite plástico (LP) e índice de plasticidad (IP)

Como se muestra en la Figura 08 en la curva de distribución del tamaño de partícula, casi el 61% del suelo pasa a través del tamiz No. 200; asimismo en la tabla 10 muestran los resultados obtenidos de los ensayos correspondientes a la plasticidad del material, estos indican que el límite líquido se encuentra en el rango de 31% al 34% y el límite plástico se encuentra en el rango de 18% al 20%. Igualmente se realizó los cálculos dando como resultados obtenidos, las mayoría de las muestras tiene una plasticidad media ( $7 < IP \leq 20$ ), teniendo así un IP promedio de 12.70%,

el cual es clasificado según el manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC como característica principal de un suelo arcilloso de mediana plasticidad, con este dato no ha permitido calcular el índice de grupo, que permite contemplar la clasificación de suelos por el método AASHTO siendo la clase A-6 y por la clasificación de SUCS es CL, CH.

Estos resultados son reflejados en la Figura N° 7, donde se presentan los índices de plasticidad de ambos estratos. Se debe tener en cuenta que, en esta clase de suelo el contenido de arcilla, de acuerdo a su magnitud puede ser deficiente para ser utilizado como material de subrasante en una estructura de pavimento, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

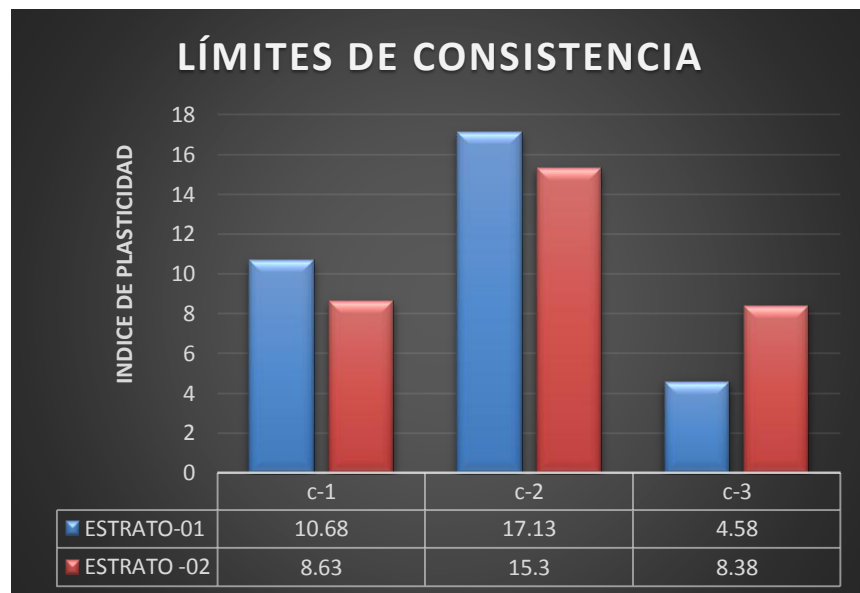


Figura N° 7 Análisis de Índice de Plasticidad

Fuente: Elaboración propia

**c. Granulometría**

Los resultados se obtuvieron a través de la realización de tres (03) calicatas en la vía de acceso a la Av. Campo Primavera – Laredo, los cuales fueron analizados mediante el ensayo de granulometría por tamizado obteniendo así a partir de ello la clasificación del suelo. En la Tabla 09 se muestran los resultados del análisis granulométrico por tamizado correspondiente a las muestras tomadas, datos con los cuales se procedió a elaborar las respectivas curvas granulométricas, obteniendo así que más del 61% de la muestra de suelo pasa por la malla N° 200, indicando que estamos trabajando con un suelo fino.

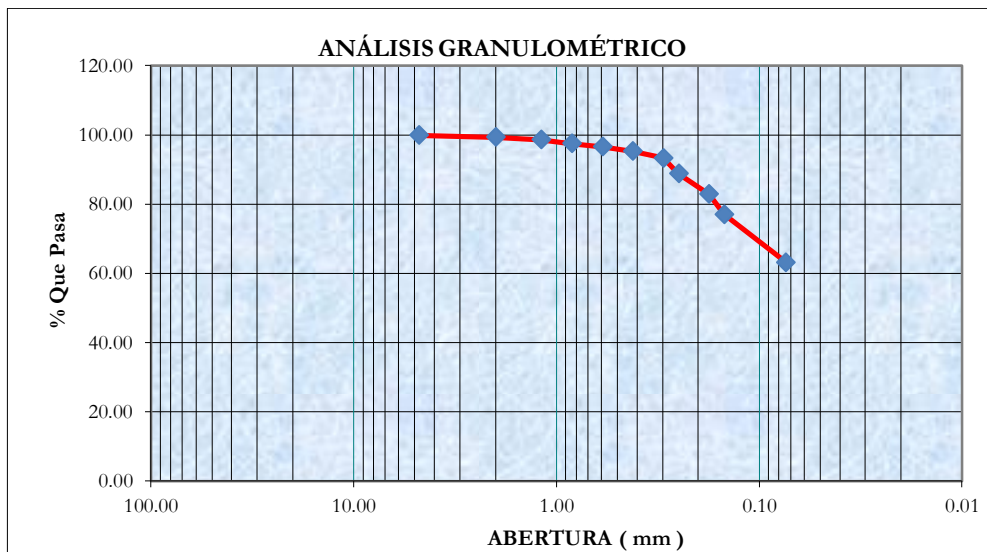


Figura N° 08: Análisis de la granulometría

Fuente: Elaboración propia

**d. Clasificación SUCS y AASHTO.**

Se tiene que los suelos obtenidos de la vía de acceso al sector Av. Campo Primavera – Laredo se encuentran en la clasificación de A – 4 a A – 6 (Ver Tabla 11) por el método AASHTO, lo cual nos confirma que se trata de un suelo arcilloso – limoso, predominando en este caso los suelos de tipo A – 6. De igual manera, en la clasificación por el método SUCS, se obtuvo suelos de tipo CL y ML, es decir arcillas de baja plasticidad limosas. Esta clasificación de los suelos permite conocer los principales indicadores para saber qué suelo se está tratando. El informe de resultados obtenidos, las muestras de suelos se encuentran en el rango de Pobre – Muy pobre (Figura N° 09), haciendo que su uso como subrasante sea malo o deficiente.

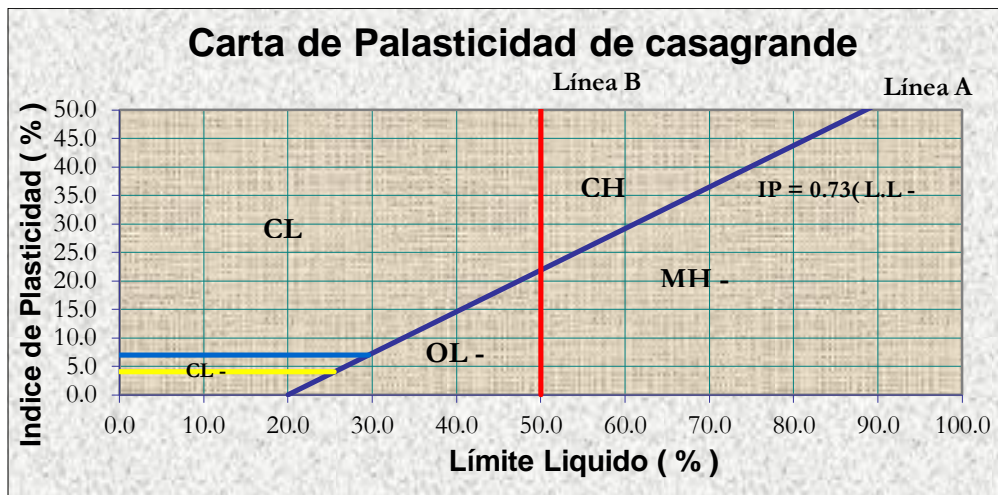


Figura N° 09 Análisis de clasificación de suelos según SUCS y AASHTO

Fuente: Braja M. Das, 2001

**e. Gravedad específica**

En la Tabla 12, se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de gravedad específica, los cuales se encuentran en el rango de 2.50 a 2.70. Como se conoce, la gravedad específica permite determinar el tipo de grano que compone el suelo, así como el tipo de suelo en sí.

La mayoría de los minerales tienen una gravedad específica que cae dentro de un rango general de 2.6 a 2.9, esto indica que las gravedades específicas menores a 2.6 hacen referencia a suelos orgánicos en la Tabla 19 se puede observar cómo se clasifican los suelos según la gravedad específica.

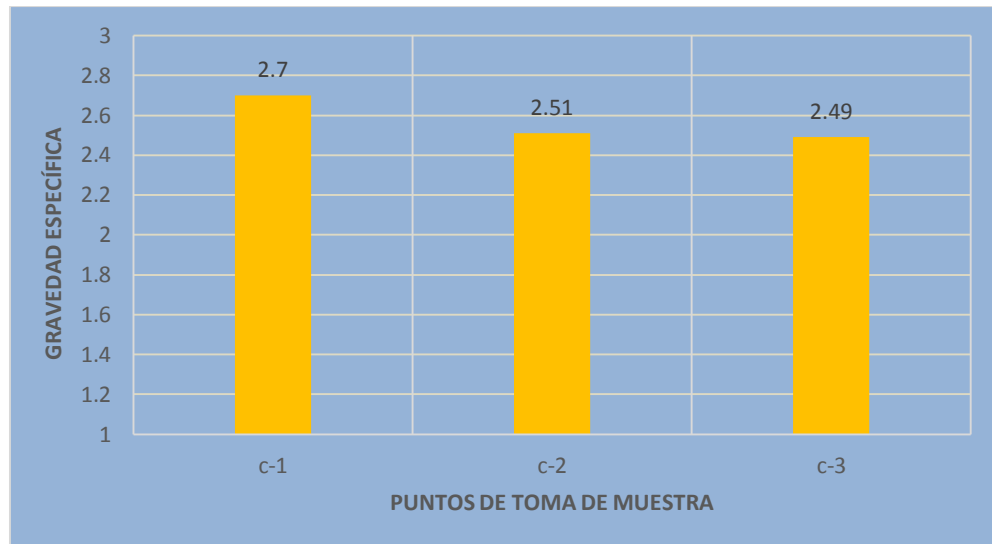
**Tabla 19: Gravedad específica según clasificación de tipo de suelo**

TIPO DE SUELO	G <sub>s</sub>
Cenizas volcánicas	2.20 – 2.50
Suelos orgánicos	2.50 – 2.65
Arenas y gravas	2.65 – 2.67
Limos	2.67 – 2.72
Arcillas poco plásticas	2.72 – 2.78
Arcillas plásticas	2.78 – 2.84
Arcillas expansivas	2.84 – 2.88

Fuente: Braja M. Das, 2013.

El valor de la gravedad específica nos permitirá realizar el cálculo de otros parámetros del suelo, como la densidad de los sólidos del suelo. Los valores obtenidos en el ensayo realizado se muestran en la Figura N° 10. En ella se puede observar que la calicata 01 presenta una densidad mayor, lo cual sugiere que el suelo

en esa zona está mejor compactado que en el resto del tramo de estudio, indicando así que en el mismo volumen de suelo hay mayor masa.

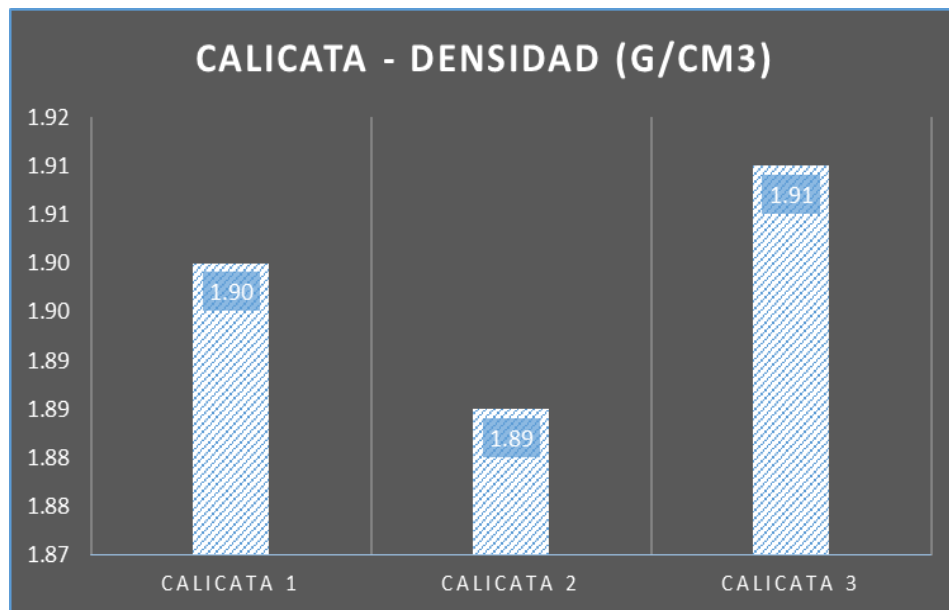


*Figura N° 10 Análisis de la gravedad específica*

*Fuente: Elaboración propia*

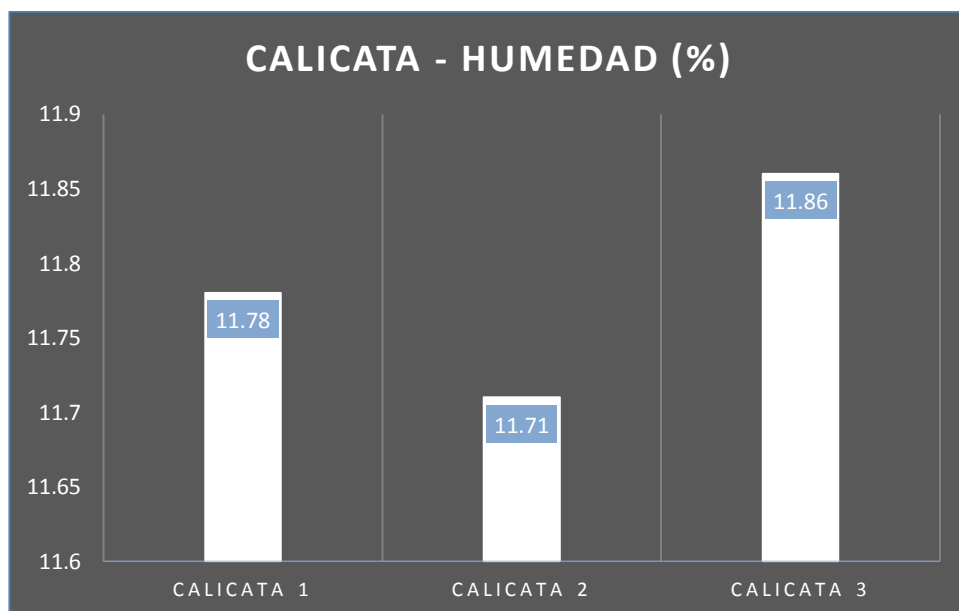
#### f. Proctor Modificado

En la Tabla 13 se presentan los resultados del ensayo de Proctor Modificado, el cual se realizó con el material de tres calicatas (3), las cuales se encontraban con una separación de 250 metros aproximadamente; estos datos nos permiten conocer la densidad seca máxima como también el óptimo contenido de humedad. Estos parámetros se necesitan conocer para poder mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo al momento de realizar la compactación. Para este ensayo se realizaron tres especímenes con las mismas condiciones, de manera que se logró obtener una densidad seca máxima de 1.90 g/cm<sup>3</sup>, 1.89 g/cm<sup>3</sup> y 1.91 g/cm<sup>3</sup> para las calicatas 01, 02 y 03 respectivamente, así mismo se realizó porcentaje de humedad óptimo que presentan es de 11.78%, 11.71% y 11.86% En la Figura N° 11 y figura N° 12 se muestra un resumen de los resultados obtenidos en los tres ensayos anteriormente mencionados, de la muestra de suelo patrón, encontrando mínima diferencia entre cada uno de los resultados. En ella se puede ver como en cada una de las calicatas el contenido de humedad óptimo se encuentra en un rango menor que el de los valores obtenidos en el ensayo de contenido de humedad del suelo natural; entendiendo así que, debido al alto contenido de humedad, el suelo en estado natural no llegaría a su densidad máxima.



**Figura N° 11 Análisis de la gravedad específica**

**Fuente: Elaboración propia**

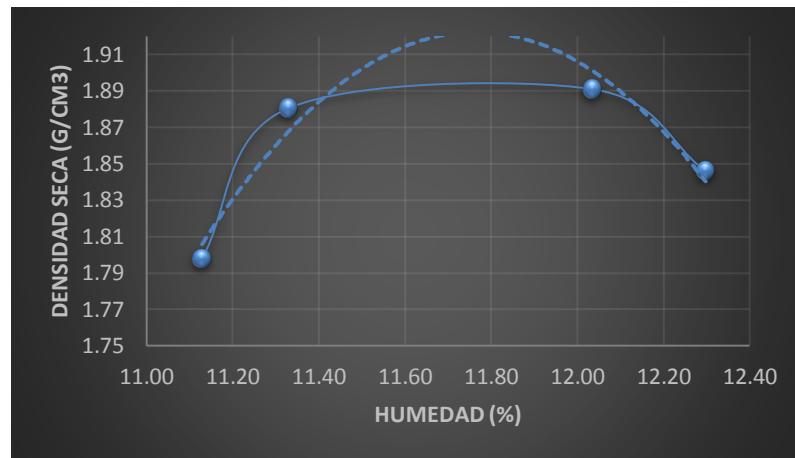


**Figura N° 12 Análisis de la gravedad específica**

**Fuente: Elaboración propia**

En la Figura N° 13, se presenta la curva de humedad – densidad de compactación obtenida en el ensayo Proctor Modificado realizado para la muestra de suelo patrón de la calicata 03, donde se puede apreciar que la densidad seca va variando al modificar la humedad de compactación

**Figura N° 13:** Análisis de la curva de la densidad- humedad

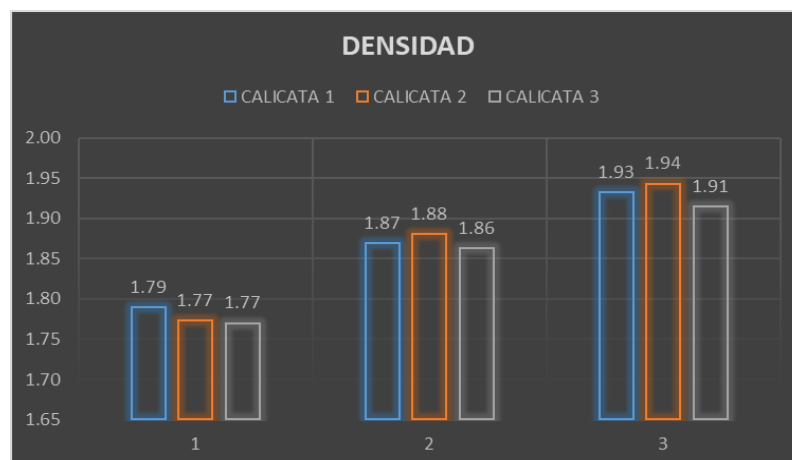


*Fuente: Elaboración propia*

**g. CBR**

En la Tabla 14 se muestran los resultados del ensayo realizado a la muestra extraída de las tres (03) calicatas. Este ensayo se realizó al 95% de la máxima densidad seca, con el fin de garantizar las propiedades óptimas buscadas. Los resultados obtenidos nos dan un CBR de 3.62%, 3.56% y 3.78%, para las calicatas 01, 02 y 03 respectivamente, lo cual indica que el suelo de la zona para su uso como subrasante tiene una clasificación de subrasante inadecuada. Estos puntos serán tomados para mejorar la calidad del suelo mediante una estabilización química y los resultados obtenidos en este punto servirán de base para poder medir el aumento del CBR en los suelos con adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA).

**Figura N° 14:** Análisis de la gravedad específica

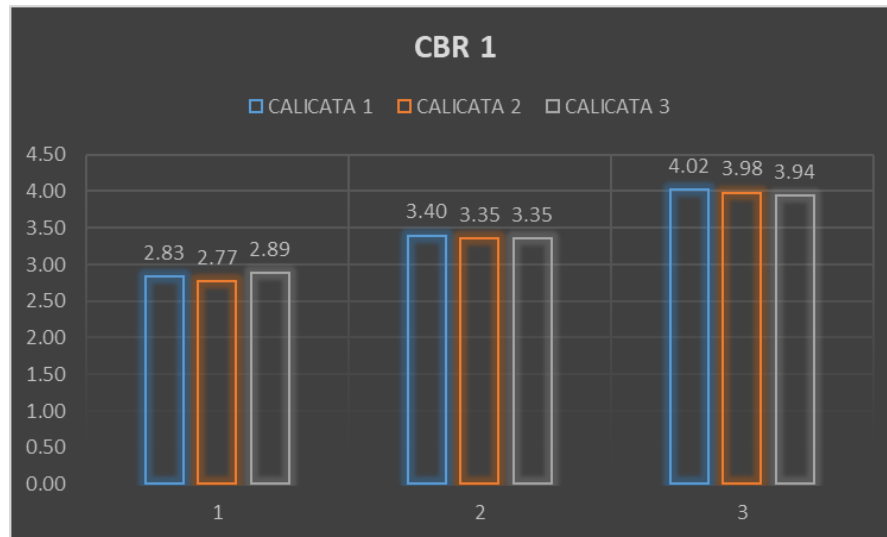


*Fuente: Elaboración propia*



A continuación, en la Figura N° 15, se muestra los resultados del ensayo CBR al 95% para la muestra patrón. Como se puede observar la calicata 03 presenta el mayor CBR, comparado con las otras muestras.

**Figura N° 15:** Análisis de la gravedad específica



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla N° 20 RELACION ENTRE VALOR DE CBR Y CALIDAD DE SUBRASANTE**

VALORES DE CBR	CALIDAD DE SUBRASANTE
0 – 3 %	MUY POBRE
3 – 7 %	MUY POBRE A REGULAR
7 – 20 %	REGULAR
20 – 50 %	BUENO
> 50 %	EXCELENTE

Por lo tanto, se descubrió que el suelo era arcilla expansiva altamente plástica con baja capacidad de carga cuando está empapado y con un alto potencial de hinchamiento, y estaba por debajo de las recomendaciones estándar para la mayoría de las obras geotécnicas, especialmente la construcción de carreteras. Por lo tanto, el suelo requiere una modificación y/o estabilización inicial para mejorar su viabilidad y propiedades ingenieriles.

## 4.2 Caracterización de la Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar

Los resultados indican la puzonalidad de la ceniza de bagazo. La composición porcentual combinada de sílice,  $Al_2O_3$  y  $Fe_2O_3$  es más del 70%. Esto es adecuado para cumplir con el requisito de la norma ASTM C618 para materiales puzolánicos que se muestran:

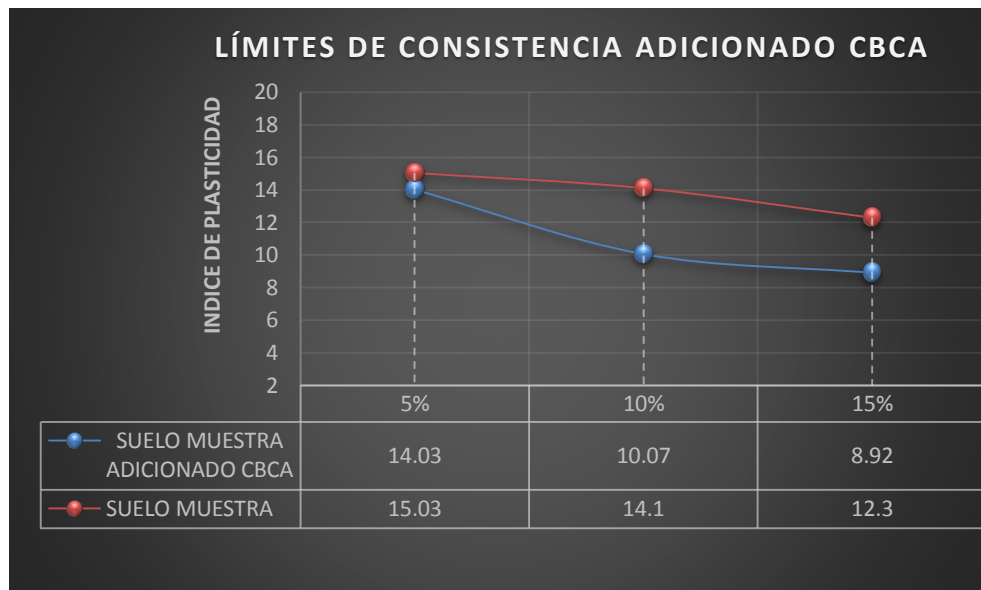
**Tabla 21 REQUERIMIENTOS QUÍMICOS PARA PUZOLANAS (ASTM C618 - 03)**

COMPONENTES QUÍMICOS	CALIDAD DE SUBRASANTE		
	N	F	C
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ (min %)	70	70	50
$SO_3$ (máx %)	4	5	5
Contenido de Humedad (máx %)	3	3	3
Pérdida por ignición (máx %)	10	12	6

## 4.3 Efecto de la ceniza de bagazo

### 4.3.1 Límites de Atterberg

Como se muestra en la figura 16, el índice de plasticidad generalmente disminuyó con el incremento en el contenido de ceniza de bagazo. Sin embargo, la disminución en el índice de plasticidad entre muestras suelo patrón y muestras de suelos adicionadas con CBCA al 0%, 5%, 10%, 15% es insignificante. Como se ve en el gráfico, la adición de cenizas de bagazo disminuye el índice de plasticidad del suelo expansivo. Se observa que la disminución es más con el aumento en las cantidades de ceniza de bagazo hasta un 15% y luego la tendencia de disminución es nominal con un aumento adicional en los porcentajes de ceniza de bagazo.



**Figura N° 16 Análisis de Límite de Consistencia adicionado CBCA**

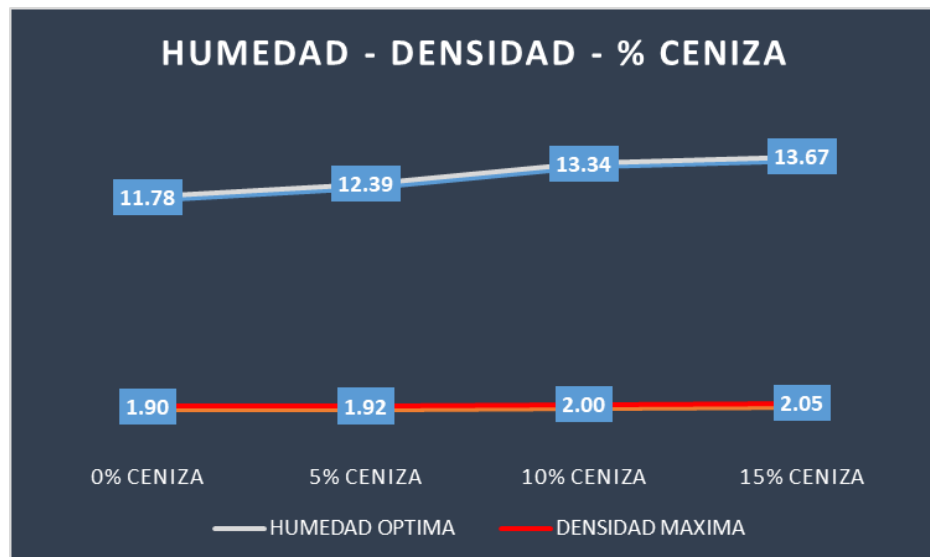
*Fuente: Elaboración propia*

En general, la plasticidad del suelo disminuye al agregar contenido de ceniza de bagazo. Esto se demuestra claramente por el hecho de que el índice de plasticidad del suelo tratado disminuyó al aumentar la cantidad de aditivos. Estos efectos se deben a la sustitución parcial de las partículas plásticas del suelo por ceniza de bagazo que no es material plástico, y la floculación y la aglomeración de las partículas de arcilla causadas por el intercambio de cationes pueden ser la otra causa.

#### **4.3.2 Proctor Modificado - CBCA.**

En la Figura N° 17 se observa la variación de la densidad seca máxima (g/cm<sup>3</sup>) debido a la adición de CBCA en 5%, 10% y 15% al suelo en estudio. Se observa un ligero aumento de 1.92%, 2.00% y 2.05% en la máxima densidad seca de las muestras con adición de 5%, 10% y 15% de CBCA respectivamente, todas con respecto a la muestra patrón. Estos resultados coinciden con lo indicado en la literatura (González Guerra, 2014) en donde se menciona que en suelos estabilizados con ceniza volante, la densidad máxima seca y la humedad óptima de compactación presentan una variación positiva con respecto al suelo sin adición de CBCA, esta es una característica valiosa en la estabilización de suelos, dado que el efecto de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) será para mejorar la durabilidad y la resistencia del suelo. Esto se debe a que la CBCA ocupa de mejor manera los espacios vacíos generados por el suelo, por tener

partículas más pequeñas que las partículas finas del suelo. Para el caso de la mezcla de suelo con adición de 15% de CBCA, se puede notar que tiene mayor incremento de todas las mezclas de suelo de estudio, llegando a obtener una densidad seca máxima en promedio de 12.7gr/cm<sup>3</sup>. Para la muestra de suelo con adición de 5% y 10% de CBCA, se presentó que su densidad máxima seca promedio fue de 1.92 gr/cm<sup>3</sup> y 2.00 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente (Ver figura N° 17). En líneas generales con la adición de CBCA la máxima densidad seca se incrementa debido a la buena compactación del suelo y al llenado de vacío gracias a la distribución uniforme de partículas de la CBCA, efecto de relleno, el cual se confirma con los resultados de CBR y compresión simple no confinada (Muntohar & Hantoro, 2016).

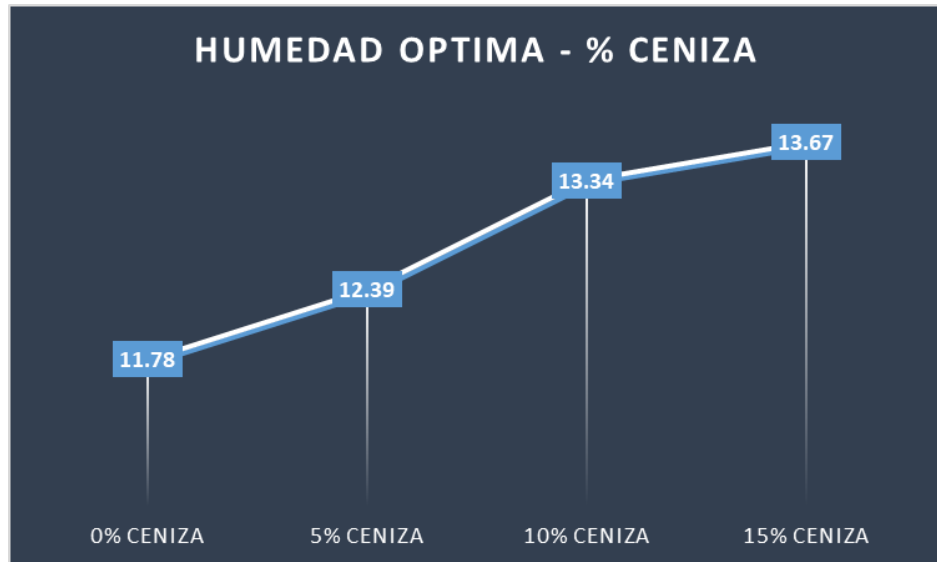


**Figura N° 17 Humedad – Densidad**

**Fuente: Elaboración propia**

Por otra parte con respecto a las humedades de compactación, la Figura N° 18, muestra la influencia de la adición de CBCA en cada una de las calicatas. Las humedades en las mezclas con CBCA incrementaron como consecuencia de una mayor absorción de agua por sus partículas, observándose el mayor incremento en la mezcla con 15% de adición de CBCA, lo cual puede asociarse al aumento de la densidad seca máxima al contar con la cantidad de agua requerida para generar las fuerzas capilares entre las partículas que permiten su compactación. En las mezclas con adiciones de 5% y 10% el incremento de humedad se encontró de igual manera dentro del rango de gua que permitió un adecuado proceso de compactación, la viabilidad en los

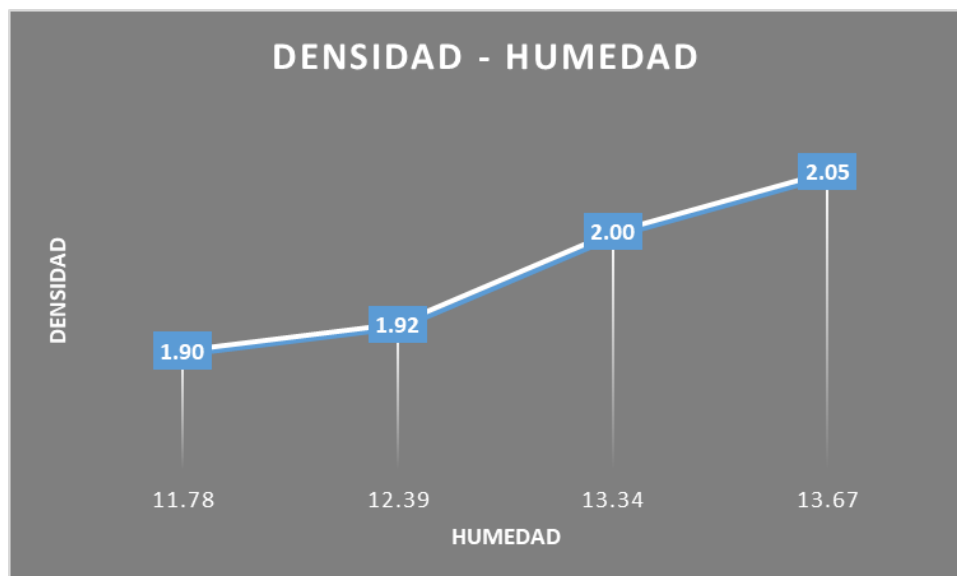
resultados de la humedad óptima es similar a lo reportado por otras investigaciones (Onyeolowe, 2012).



**Figura N° 18 Análisis de la Humedad Óptima**

*Fuente: Elaboración propia*

Finalmente en las Figura N° 19 se presenta el cambio de la densidad seca con respecto a su contenido de humedad (%W) para cada una de las calicatas 01 + % ceniza, donde se puede apreciar que a mayor porcentaje adicionado de CBCA el contenido de humedad y la densidad seca aumentan.



**Figura N° 19 Análisis de comparación Densidad -Humedad**

*Fuente: Elaboración propia*

### 4.3.3 CBR

La Figura 20 se muestra el comportamiento del CBR en las distintas mezclas de suelos ensayados. Se observa que las diferentes mezclas presentan un desempeño similar al presentado en el ensayo de resistencia a compresión simple no confinada, además se tiene que el suelo con adición de CBCA al 15% presentó incrementos significativos en los valores de CBR, incrementando en más de 12 veces con respecto al suelo sin adición, con un valor de CBR promedio de 1.82% como referencia. El suelo con adición de 15% de CBCA presentó un CBR promedio de 22.27%. Estos incrementos significativos en el CBR se asocian a la reacción cinética entre los óxidos que conforman la arcilla y el sílice amorfo presente en la CBCA que adopta cambios desde las primeras horas de mezclado como se ha reportado en investigaciones previas (Cordeiro & Kurtis, 2017).

Todos los valores de CBR de los suelos con adición de CBCA, cumplen perfectamente con los criterios para que el material pueda ser utilizado como material de subrasante en la construcción de carreteras de acuerdo a lo estipulado en el manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC, el mismo que indica un valor mínimo de  $CBR > 10\%$  a  $CBR < 20\%$  para ser considerada una subrasante buena; ya que los resultados obtenidos con 15% de adición de CBCA superan el 20% se puede indicar que se estaría mejorando de una subrasante inadecuada a una subrasante muy buena, lo que significa un ahorro sustancial y aporte ecológico en la construcción y mejoramiento de carreteras (Rico Rodríguez, Orozco y Orozco, Telles Gutierrez, & Perez Garcia, 1990).

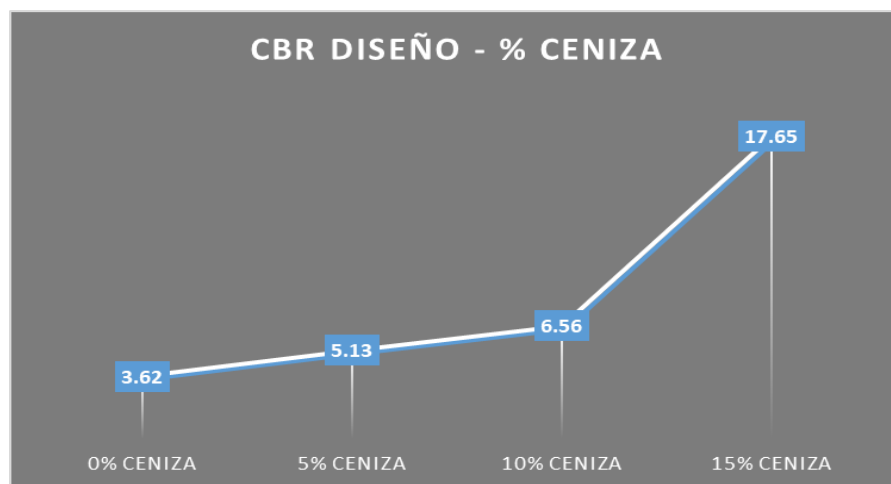


Figura N° 20 Análisis de la gravedad específica

Fuente: Elaboración propia

El suelo tiene una densidad de masa máxima de 1.90 g/cm<sup>3</sup>, un contenido de humedad óptimo de 11.78%, un valor de CBR sin empapar de 17.65% y un valor de CBR empapado de 3.62 %. La relación general entre los valores de CBR y la calidad de los suelos de subrasante utilizados en aplicaciones de pavimento es la siguiente (Bowles, J., 1992).

#### 4.4 Diseño de Pavimentos

##### 4.4.1 Diseño de Pavimento Rígido

Para el diseño de pavimentos rígidos se utiliza la siguiente ecuación según el manual AASHTO:

$$\text{Log}W_{18} = Z_R S_o + 7.35 \text{Log}(D + 1) - 0.06 + \frac{\text{log} \left[ \frac{\Delta \text{PSI}}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 + 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 S_o) + (4.22 - 0.32 p_t) \text{log} \left[ \frac{S'_c C_d [D^{0.75} - 1.132]}{215.63 [D^{0.75} \frac{18.42}{(E'_c / K)^{0.25}}]} \right]$$

##### 1) Número de Ejes Equivalentes (W<sub>18</sub>)

Para zonas urbanas un valor bastante conservador es: W<sub>18</sub> = 1'500,000.00

##### 2) Confiabilidad y Variabilidad (Z<sub>R</sub> y S<sub>O</sub>)

Nivel de confianza	: 90
Z <sub>R</sub> = Nivel de confianza	: -10282
Desviación estándar S <sub>O</sub> = 0.35	: Para pavimentos rígidos tomar de 0.3 a 0.4

##### 3) Confiabilidad y Variabilidad (Z<sub>R</sub> y S<sub>O</sub>)

Índice de serviciabilidad inicial p <sub>i</sub>	= 4.50
Índice de serviciabilidad final p <sub>f</sub>	= 2.00
Pérdida de serviciabilidad ΔPSI	= 2.50

##### 4) Módulo de Rotura del Concreto (S'<sub>c</sub>)

$$S'_c = (8 - 10) \times \sqrt{f'c}$$

f'c en PSI: 210.00 Kg/cm<sup>2</sup> = 2,986.90 PSI

##### 5) Coeficiente de Drenaje (C<sub>d</sub>)

**Tabla 22 VALORES DE COEFICIENTE DE DRENAJE, CD PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS.**

VALORES DE COEFICIENTE DE DRENAJE, CD PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS				
CALIDAD DE DRENAJE	% del Tiempo que la Estructura del Pavimento que está expuesto a Niveles de Humedad Próximas a la Saturación			
	< 1%	1 – 5%	5 – 25%	> 25%
<b>Excelente</b>	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
<b>Bueno</b>	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
<b>Regular</b>	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
<b>Malo</b>	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
<b>Muy Malo</b>	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

*FUENTE: AASHTO 1993, Guide for Design of pavements structures.*

Considerando que la calidad del drenaje de nuestro pavimento es bueno y con un % de tiempo a la saturación entre 5 - 25% tomamos: **Cd = 1.00.**

#### 6) Coeficiente de Drenaje (Cd)

Coeficiente de transferencia de carga para pavimentos rígidos que llevarán juntas reforzados tomar valores de 2.5 a 3.1  $J=2.8$ .

#### 7) Módulo de Elasticidad del Concreto (Ec)

El módulo de elasticidad del concreto está dado por:

$$E_c = 6,750 \times S'c \text{ o } E_c = 57,000 \times \sqrt{f'c}$$

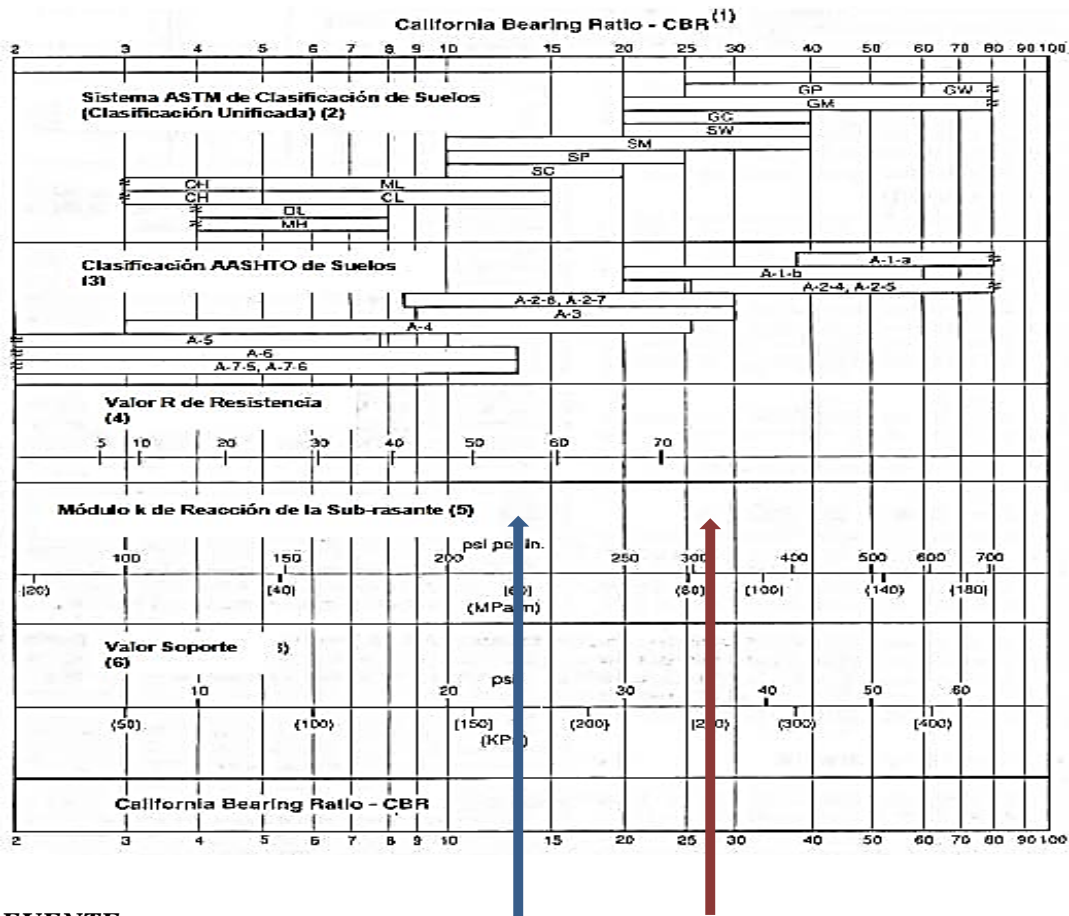
$$E_c = 3'320,142.90 \text{ PSI}$$

$$E_c = 3'115,195.80 \text{ PSI}$$

#### 8) Módulo de Reacción de la Subrasante (K)



**Tabla 23 INTERRELACIONES APROXIMADAS ENTRE CLASIF. DE SUELOS Y VALORES SOPORTE.**



**FUENTE:**

(1) Para la idea básica ver O.J. Porter, “Cimentaciones para Pavimentos Flexibles”, Highway Research Board Proceedings of the Twenty-Second Annual Meeting, 1942. Vol 22, pp 100-136.

(2) ASTM D2487

(3) “Clasificación de Materiales de Sub-rasante para Carreteras”, Highway Research Board. Proceedings of the Twenty-Fifth Annual Meeting, 1945. Vol 25, pp 376-392.

(4) C. E. Warnes, “Correlación entre el Valor R y el Valor k”. Reporte no publicado, Portland Cement Association, Rocky Mountain-Northwest Region, Octubre 1971 (es la mejor correlación con corrección por saturación).

(5) See T.A. Middlebrooks y G.E. Bertram, “Ensayos de Suelos para el Diseño de Pavimentos de Pistas de Aterrizaje”, Highway Research Board. Proceedings of the Twenty- Second Annual Meeting, 1942. Vol 22, pág. 152.

**Datos del Terreno:**

Subrasante con CBCA	CBR = 17.65%
Módulo resiliente de la subrasante	Mr = 9,482.05 PSI
Módulo elástico de la base	ESB = 12,884.86 PSI

Entramos al carta para estimar el Módulo de Reacción Compuesto K suponiendo un espesor semi infinito de la capa de apoyo. Fuente Manual de Diseño de AASHTO:

$$K1 = 180.00 \text{ PSI}$$

$$K2 = 225.00 \text{ PSI}$$

**9) Resolvemos la ecuación**

Espesor para pavimento rígido (88% sub + 12% de ceniza de bagazo de caña de azúcar)  $K1 = 180$

*Figura 21 Cálculo del espesor CBR = 7.92%.*

**FUENTE: Programa de la ecuación AASHTO 93.**

➔ Espesor de pavimento (D1): 8.4” = 21.00 cm

En la tabla 24 al mejorar la subrasante con ceniza de bagazo de caña de azúcar el espesor del pavimento rígido es 21 cm.

**Tabla 24 CÁLCULO DEL ESPESOR "E" EN FUNCIÓN DEL CBR.**

DESCRIPCIÓN	SUBRASANTE + CBCA
<b>CBR</b>	7.92
<b>E (cm)</b>	21.00

A continuación, se resume el presupuesto de pavimento rígido con un mejoramiento con ceniza de bagazo de caña de azúcar:

Tabla 25 PRESUPUESTO DE PAVIMENTO RÍGIDO.

PRESUPUESTO DE PAVIMENTO RÍGIDO	
TIPO DE ESTABILIZADOR	COSTO DIRECTO
Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar	S/ 85,687.30

4.4.2 Diseño de Pavimento Flexible

Calculando el número estructural para subrasante + ceniza de bagazo de caña de azúcar CBR = 7.98% - MR = 9653:

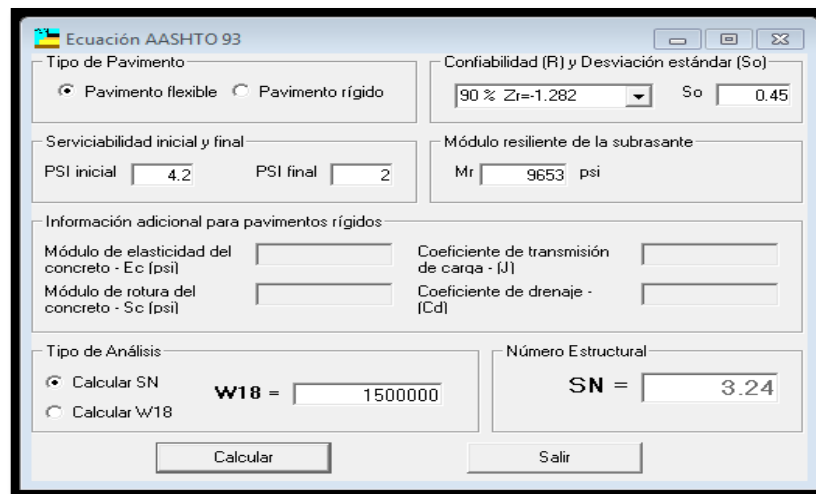


Figura 22 Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible.

FUENTE: Programa de la ecuación AASHTO 93.

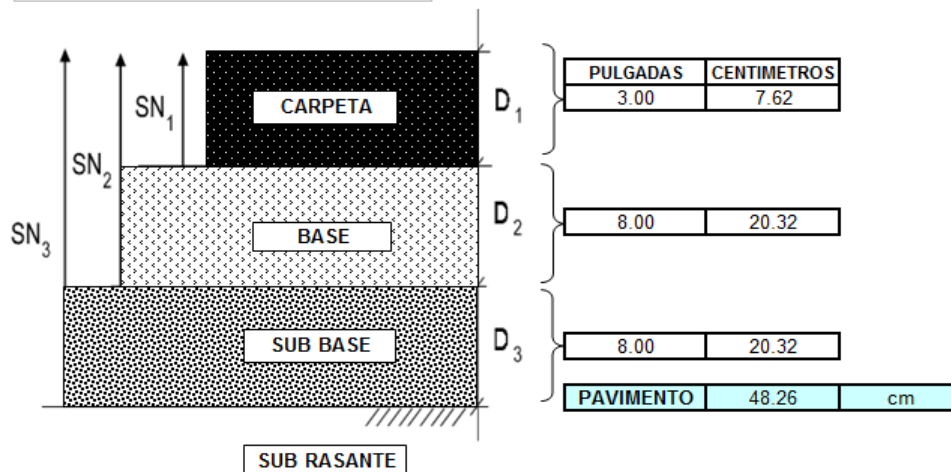
Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible:

DE LA ECUACION PARA OBTENER LOS ESPESORES	
SN	a1D1 + a2D2m2 + a3D3m3
3.24	3.32

➔

D1	3.00	''
D2	8.00	''
D3	8.00	''

$SN_{sub\ rasante} \leq a1D1 + a2D2m2 + a3D3m3$   
la diferencia no debe superar la unidad



**Tabla 26 PRESUPUESTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE.**

PRESUPUESTO DE PAVIMENTO FLEXIBLE	
TIPO DE ESTABILIZADOR	COSTO DIRECTO
Ceniza de Bagazo de Caña de Azúcar	S/ 67,136.18

#### 4.5 Análisis Económico Comparativo de un Camino Estabilizado con CBCA Vs. un Camino Afirmado en la Costa

Se consideró pertinente abarcar un análisis de costos entre mantenimiento de un afirmado convencional en la costa y un mantenimiento con tratamiento químico superficial, resultando más económico en un período de 10 años el afirmado estabilizado con ceniza de bagazo de caña de azúcar.

A continuación, en la Tabla 27 se detallan las partidas del afirmado con aditivo estabilizador siendo notoriamente superior al afirmado sin ningún aditivo.

**Tabla 27 DETALLE DE LA PARTIDA DEL AFIRMADO ESTABILIZADO CON CBCA.**

Partida	AFIRMADO (Espesor=0.15mt.) CON ADITIVO ESTABILIZADOR					
Rendimiento	300.00	m <sup>2</sup> /día	Costo unitario directo por : M3			53.04
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>						
308683	ADITIVO P/AFIRMADO (ESTABILIZADOR DE SUELOS)	TON		0.07	500.00	35.00
						<b>35.00</b>
<b>Insumos Partida</b>						
910108	AGUA DE RIEGO	M3		0.17	3.98	0.68
910508	EXTRACCION DE MATERIAL CANTERA	M3		1.20	1.62	1.94
950210	EXTENDIDO Y COMPACTADO DE MATERIAL EN PLATAFORMA E=0.15m.	M3		6.67	0.83	5.53
950402	ZARANDEADO DE AFIRMADO	M3		1.20	1.98	2.38
950415	CARGUIO DE MATERIAL	M3		1.20	1.17	1.40
950433	TRANSPORTE DE AFIRMADO DE CANTERA A OBRA	M3		1.20	5.09	6.11
						<b>18.04</b>

En la Tabla 27 se mostró la partida de un afirmado estabilizado, y se aprecia que al adicionar la ceniza de bagazo de caña de azúcar, sufre un incremento sustancial en el costo por m3; a diferencia del afirmado convencional que asciende a S/.18.04 nuevos soles por m3 y se detalla a continuación en la Tabla 28.

Tabla 28 DETALLE DE LA PARTIDA DEL AFIRMADO CONVENCIONAL.

Partida	AFIRMADO (Espesor=0.15mt.) SIN ADITIVO ESTABILIZADOR					
Rendimiento	300.00	m³/día	Costo unitario directo por : M3			18.04
Código	Descripción Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<b>Materiales</b>						
308683	ADITIVO P/AFIRMADO (ESTABILIZADOR DE SUELOS)	TON		0.00	500.00	0.00
						<b>0.00</b>
<b>Insumos Partida</b>						
910108	AGUA DE RIEGO	M3		0.17	3.98	0.68
910508	EXTRACCION DE MATERIAL CANTERA	M3		1.20	1.62	1.94
950210	EXTENDIDO Y COMPACTADO DE MATERIAL EN PLATAFORMA E=0.15m.	M3		6.67	0.83	5.53
950402	ZARANDEADO DE AFIRMADO	M3		1.20	1.98	2.38
950415	CARGUIO DE MATERIAL	M3		1.20	1.17	1.40
950433	TRANSPORTE DE AFIRMADO DE CANTERA A OBRA	M3		1.20	5.09	6.11
						<b>18.04</b>

En la Tabla 28 se mostró la partida de un afirmado convencional, el cual es mucho más barato por m3 que el estabilizado, pero a continuación, se observa en la Figura 23 el comportamiento en costos por km de mantenimiento que tendría cada tipo de base, con estabilizado y sin él durante un período de 10 años.

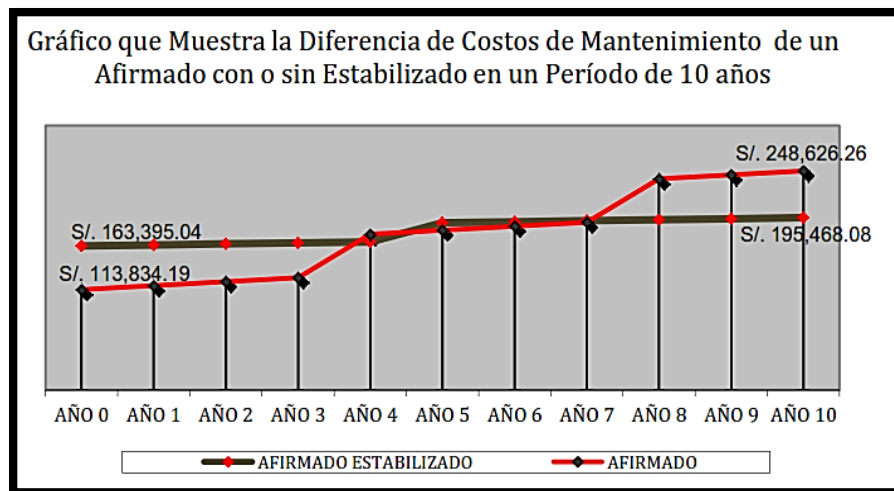


Figura 23 Comparación de Costos por Km en 10 años.

La diferencia en costo y beneficio de un afirmado con ceniza de bagazo de caña de azúcar y uno convencional mostrado en la Figura 23 demuestra el ahorro en costo de mantenimiento durante un período de 10 años, siendo la curva en verde el estabilizado ligeramente constante, y la curva en rojo del afirmado convencional con un comportamiento ascendente de principio a fin.

En la Tabla 29 se detalla los costos incurrido en mantenimiento por año, durante 10 años tanto para un afirmado con ceniza de bagazo de caña de azúcar y un afirmado convencional.

**Tabla 29 COSTOS POR AÑO DE MANTENIMIENTO EN UN PERIODO DE 10 AÑOS DE LOS DOS TIPOS DE AFIRMADOS EN ESTUDIO.**

Año	Actividad	Afirmado Estabilizado con Cloruro (S/. X km)	Afirmado Convencional (S/. X km)
Inicio	Rehabilitación	163,395	113,834
Año 1	Mantenimiento Rutinario	1,160	4,544
Año 2	Mantenimiento Rutinario	1,160	4,544
Año 3	Mantenimiento Rutinario	1,160	4,544
Año 4	Mantenimiento Rutinario	1,160	49,219
Año 5	Mantenimiento Periódico	21,633	4,544
Año 6	Mantenimiento Rutinario	1,160	4,544
Año 7	Mantenimiento Rutinario	1,160	4,544
Año 8	Mantenimiento Rutinario	1,160	49,219
Año 9	Mantenimiento Rutinario	1,160	4,544
Año 10	Mantenimiento Rutinario	1,160	4,544
<b>Total</b>		<b>195,468.08</b>	<b>248,626.26</b>

El afirmado convencional supera en un 27% más en costo al afirmado con ceniza de bagazo de caña de azúcar, esto implica que requiere de mayor horas hombre y máquina para poder tener un afirmado convencional en un adecuado estado de transitabilidad frente a un afirmado estabilizado ceniza de bagazo de caña de azúcar que requiere menos mano de obra y pocas horas máquina para mantenerlo en adecuadas condiciones.

Con los datos de la Tabla 29 se realizó un análisis del valor del dinero en el tiempo, considerando una tasa de interés anual de 10% según norma y utilizado por el sector Público en el Perú, obteniendo un costo actual menor con un afirmado estabilizado frente a un afirmado convencional, dichos resultados y costo total actual del análisis en 10 años se pueden apreciar en la Figura N° 24 mostrada a continuación.

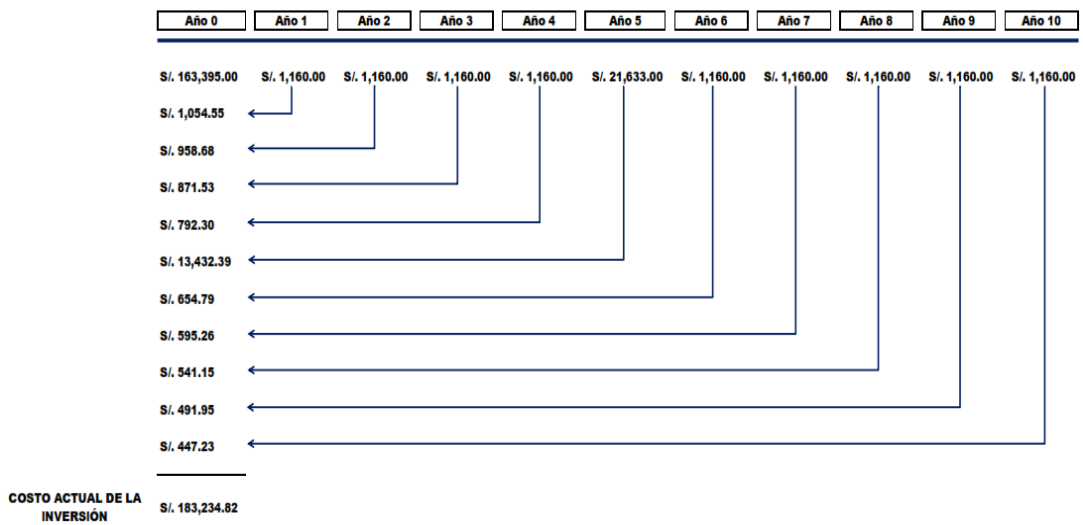


Figura 24 Flujo de dinero en un período de 10 Años con  $i = 10\%$  (Perú) para una Base Estabilizada con CBCA

Al traer a valor actual los costos de construcción y mantenimiento de un afirmado convencional en un período de 10 años se tiene un monto superior al obtenido con la construcción y mantenimiento durante 10 años de un afirmado estabilizado.

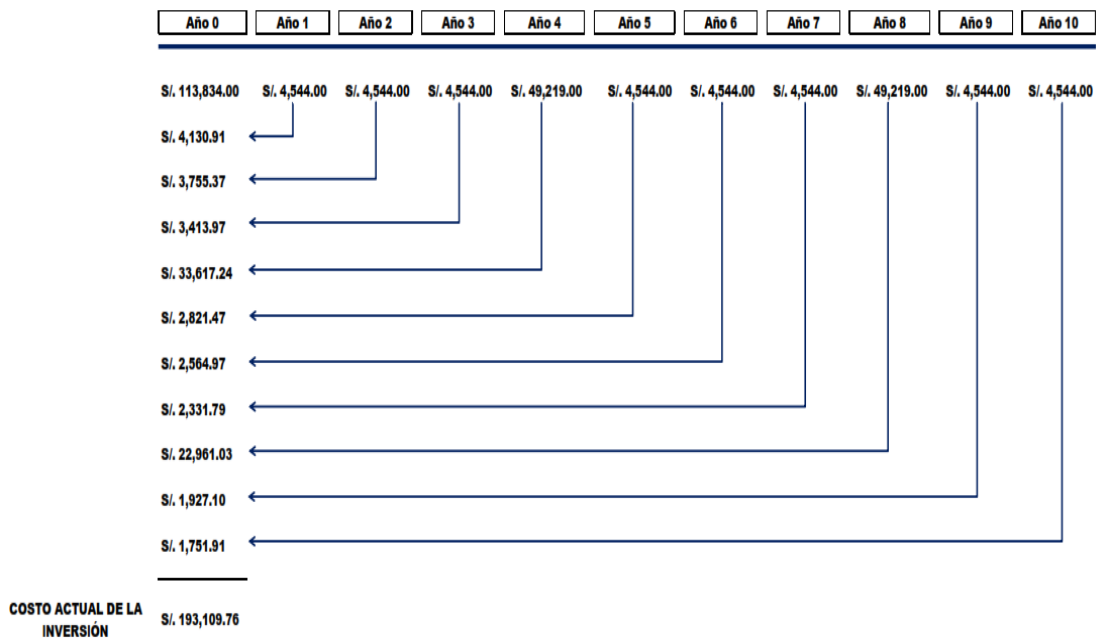
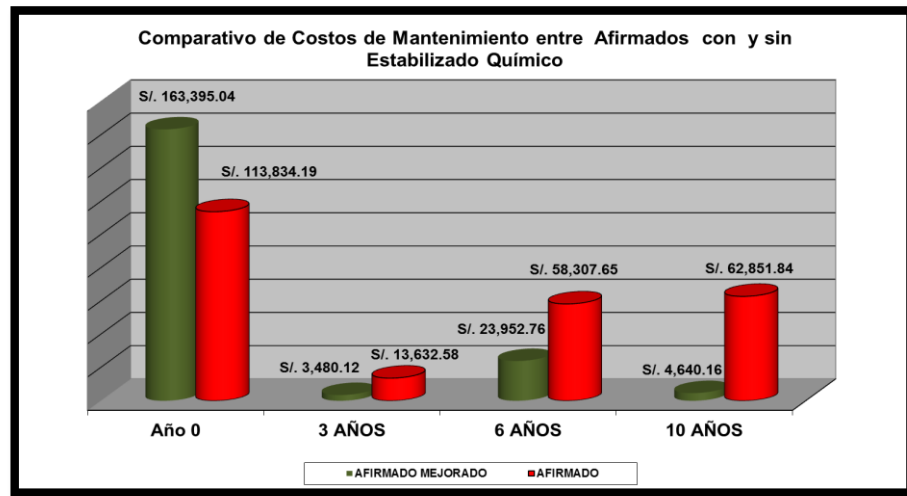


Figura 25 Flujo de dinero en un período de 10 Años con  $i = 10\%$  (Perú) para un Afirmado Convencional.

En la Figura 26 se tiene un comparativo de montos de dinero que van desde la construcción y mantenimiento tanto para un estabilizado como para un afirmado en el año 0, 3, 6 y 10.



*Figura 36 Comparación de Costos en Construcción y Mantenimiento de los Afirmados en Estudio.*

Con estos análisis realizados anteriormente se aprecia la ventaja de trabajar con un afirmado estabilizado con ceniza de bagazo de caña de azúcar frente a un afirmado convencional, obteniendo un ahorro en dinero y tiempo que beneficiaría a muchos poblados costeros del interior del país, los cuales cuentan con caminos deteriorados y debido a su poco volumen de tráfico no son pavimentados debido al alto costo que conlleva la construcción de un pavimento flexible o uno rígido.



## **CAPÍTULO 5.**

### **CONCLUSIONES**

Las siguientes conclusiones se pueden extraer de los resultados de la investigación realizada dentro del alcance del estudio:

- 5.1** Se logró determinar la influencia de la adición de ceniza de bagazo de caña de azúcar en la estabilización de suelos a nivel de subrasante en el distrito de Laredo, verificándose el aumento de resistencia progresivo del suelo a diferentes porcentajes, siendo 15% el porcentaje óptimo de adición con el cual se alcanza una mejora del CBR en hasta un 60%.
- 5.2** Se determinó las características físico-mecánicas del suelo que fueron mejoradas con el proceso de estabilización, el índice de plasticidad del suelo estabilizado se reduce en hasta un 15% con el aumento en el contenido de ceniza de bagazo de caña de azúcar y el curado tiene también un efecto insignificante en la plasticidad del suelo expansivo. El contenido de humedad óptimo aumentó mientras que los valores máximos de densidad seca disminuyeron con el incremento del contenido de ceniza de bagazo de caña de azúcar. Además, el esponjamiento libre, índice de esponjamiento libre y relación de hinchamiento libre de las muestras estabilizadas disminuyeron en hasta un 25% con el aumento de contenido de ceniza.
- 5.3** Se determinó la influencia de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en el diseño estructural de un pavimento típico según normativa AASTHO, verificándose que con el aumento de CBR en hasta un 60%, producido por la estabilización, se disminuye las dimensiones de las capas estructurales necesarias para la construcción de pavimentos en el distrito de Laredo, lo cual conlleva a un ahorro económico significativo.
- 5.4** En base al estudio realizado, se verificó que la estabilización de suelos con ceniza de bagazo de caña de azúcar es una alternativa potencial de reutilización de residuos industriales en la construcción de infraestructura vial.

## **CAPÍTULO 6.**

### **RECOMENDACIONES**

Con base en los hallazgos de esta investigación, se envían las siguientes recomendaciones:

- 6.1** La ceniza de bagazo de caña de azúcar investigada en este trabajo de investigación puede usarse como material estabilizante en combinación con productos económicos y ambientales beneficios. Por lo tanto, los organismos interesados como las industrias azucareras y las entidades gubernamentales deben informarse sobre este potencial material estabilizador del suelo y promover su producción y uso estandarizados
- 6.2** Las fábricas de azúcar en colaboración con organizaciones de educación superior en el país deberían trabajar en conjunto y establecer un equipo de investigación para seguir estudiando el uso de cenizas de bagazo como material estabilizador del suelo en diferentes tipos de suelos.
- 6.3** Cuando las capas de pavimento se tratan con estabilizadores cementosos en Perú, se deben utilizar materiales de calidad y se debe prestar atención a la construcción y a los procedimientos tales como compactar capas de pavimento y curar adecuadamente.
- 6.4** Los siguientes temas son recomendados para futuros estudios para tesis de la rama de ingeniería civil y afines, así como profesionales interesados en la innovación tecnológica de forma sostenible:
  - ◆ Se deben realizar estudios complementarios al Análisis de Difracción de Rayos X (XRD) y microscopía electrónica de barrido (SEM) para verificar la reacción secundaria de la ceniza de bagazo como Análisis Térmico (TGA).
  - ◆ Deben estudiarse los efectos de diferentes finuras de la ceniza de bagazo.
  - ◆ Los estudios deberían realizarse utilizando la quema controlada del bagazo en diferentes temperaturas.
  - ◆ El potencial estabilizador de la ceniza de bagazo de las diferentes 12 fábricas azucareras existentes en el Perú debería ser estudiadas.
  - ◆ Al variar el contenido de ceniza de bagazo, uno puede encontrar la económica relación de mezcla suelo - CBCA.
  - ◆ Estabilización de suelos con ceniza de bagazo de caña en combinación con cal, cemento polvo de horno de cemento o polvo de mármol residual en diferentes tipos de suelos.

## **CAPÍTULO 7.**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

## REFERENCIAS

- AASHTO. (1995). Standard Specification for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. América.
- Al-Rawas, A., & Mattheus, F. (2006). Expansive Soils Recent Advanced in Characterization and Treatment. Netherlands: Proceedings and Monographs in Engineering, Water and Earth Sciences.
- Amu, O., & et al. (2011). Geotechnical Properties of Lateritic Soil Stabilized with Sugarcane Straw Ash. American Journal of Scientific and Industrial Research.
- ASTM C618. (2003). Specification for fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolanas for Use as a Mineral Admixture in portland Cement Concrete (Vol. IV.02). Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- Badillo, J. (1995). Mecánica de Suelos Tomo I. México: Limus Noriega Editores.
- Bañon, L., & Bevíá, J. (2010). Manual de Carreteras, Construcción y Mantenimiento (Vol. II).
- Barrera, M., & Garnica, P. (2002). Introducción a la Mecánica de Suelos No Saturados en Vías Terrestres. México: Instituto Mexicano de Transporte.
- Bell, F. (1996). Lime Stabilization of Clay Minerals and Soils (Vol. XLII). Journal of Engineering Geology.
- Bowles, E. (1981). Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil (Segunda ed.). México D.F., México: McGraw Hill Interamericana.
- Bowles, J. (1992). Engineering Properties of Soil and Their Measurements (Cuarta ed.). McGraw-Hill Boston.
- Brooks, R. (2009). Soil Stabilization with Fly Ash and Rice Husk Ash (Vol. I). International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences.
- CCanto, G. (2010). Metodología de la Investigación Científica en Ingeniería Civil. Ingeniería de Transportes (Tercera ed.). Perú.

- Chen, F. (1988). *Foundation on Expansive Soils*. Elsevier, Amsterdam.
- Chittaranjan, M., & et al. (Octubre 2011). *Agricultural Wastes as Soil Stabilizers (Vol. IV)*. *International Journal of Earth Sciences and Engineering* .
- Chou, L. (1987). *Lime Stabilization: Reactions, Properties, Design and Construction*. State of the Art Report 5. Washington D.C.: Transportation Research Board.
- Christopher, M. (2005). *Stabilization of Soft Clay Subgrades in Virginia Phase I Laboratory Study*. MSc. Thesis. Blacksburg, Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University.
- De Solminihaç, H. (2001). *Gestión de Infraestructura Vial (Segunda ed.)*. (P. U. Chile, Ed.) Chile.
- Flores, L. (2012). *Evaluación Estructural de Pavimentos Flexibles de Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito*. Tesis de Maestría. (U. N. Ingeniería, Ed.) Lima.
- Hoffman, M. (1985). *Estudios de Evaluación Estructural de Pavimentos Basados en La Interpretación de Curvas de Deflexiones (Ensayos No Destructivos)*. (L. I. Consultores, Ed.) Lima: Louis Berger Internacional Inc.
- Khairul, A. (2009). *The Effect of Catalyst on Soil Stabilization by Application of Lime*. University of Malaysia.
- Thian, S., & Lee, C. (2012). *Shear Strength Behaviour of Mining Sand Treated with Clay and Hydrated Lime (Vol. III)*. *International Journal of Civil and Structural Engineering*.

**ANEXOS**

**ANEXO N°1: GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CALICATAS**

<b>UPRIT</b>	FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS	
<b>GUIA DE OBSERVACION DE CALICATAS REALIZADAS EN LA AV. CAMPO PRIMAVERAL, PROGRESIVA Km 0 + 000.00 al Km 1 + 000.00, LAREDO</b>		
TESIS:	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE LAREDO - TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018"	
TESISTA:	Nº de Ensayo:	1
Código: <b>CAL-01</b>	Tipo de Muestra:	Suelo de la Zona

1. DATOS INFORMATIVOS

- 1.1 Ubicación: Av. Campo Primavera
- 1.2 Distrito: Laredo
- 1.3 Ciudad: Trujillo
- 1.4 Departamento: La Libertad
- 1.5 Coordenadas: -8.060720, -79.043241
- 1.6 Altitud: 77 m.s.n.m.
- 1.7 Profundidad: 2 metros
- 1.8 Clima: Templado
- 1.9 Estratos: 2



<b>ESTRATO</b>	<b>PROFUNDIDAD (En metros)</b>	<b>DESCRIPCION</b>
1	0-1	Estrato conformado por arena fina suelta contaminada con residuos de relleno conformado por material orgánico, cierto desmonte con basura y afirmado usado posiblemente para el tránsito de vehículos.
2	1.0 - 1.50	Estrato conformado por arena fina sin plasticidad y otros fino, estrato color beige pardo o amarillo oscuro.

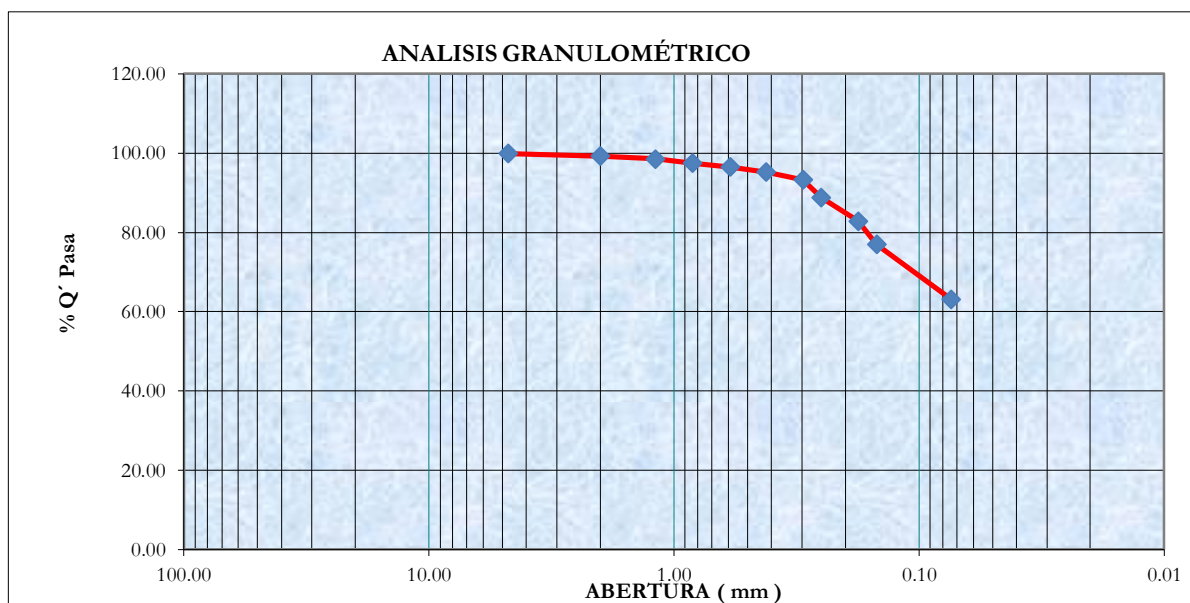


**ANEXO N°2: ANALISIS GRANULOMÉTRICO**

**Granulometría calicata 1 – estrato 01**

<b>Responsable:</b>		<b>Bach. Marco A. Aquino Mendoza</b>		
<b>Ensayo: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b>				
<b>Norma:</b>				
<b>Fecha de Muestreo:</b>				
<b>Muestreado por:</b>		M.A.A.M		
<b>Chequeado por:</b>		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UPRIT		
Peso Inicial de la Muestra Seca		1015.30 gr		
Peso de la Muestra Después del Lavado		354.10 gr		
Pérdida por Lavado		661.20 gr		
Tamiz	Abertura	Retenido		% Q' Pasa
	( mm )	( gr. )	( % )	
4	4.760	1.13	0.11	99.89
10	2.000	6.03	0.59	99.29
16	1.190	7.20	0.71	98.59
20	0.840	11.33	1.12	97.47
30	0.590	9.4	0.93	96.54
40	0.420	13.15	1.30	95.25
50	0.297	19.4	1.91	93.34
60	0.250	46.41	4.57	88.77
80	0.177	59.67	5.88	82.89
100	0.149	59.62	5.87	77.02
200	0.074	140.55	13.84	63.17
<b>Sobrante</b>		641.41	63.17	0.00
<b>Total Retenido:</b>		1015.30	100.00	

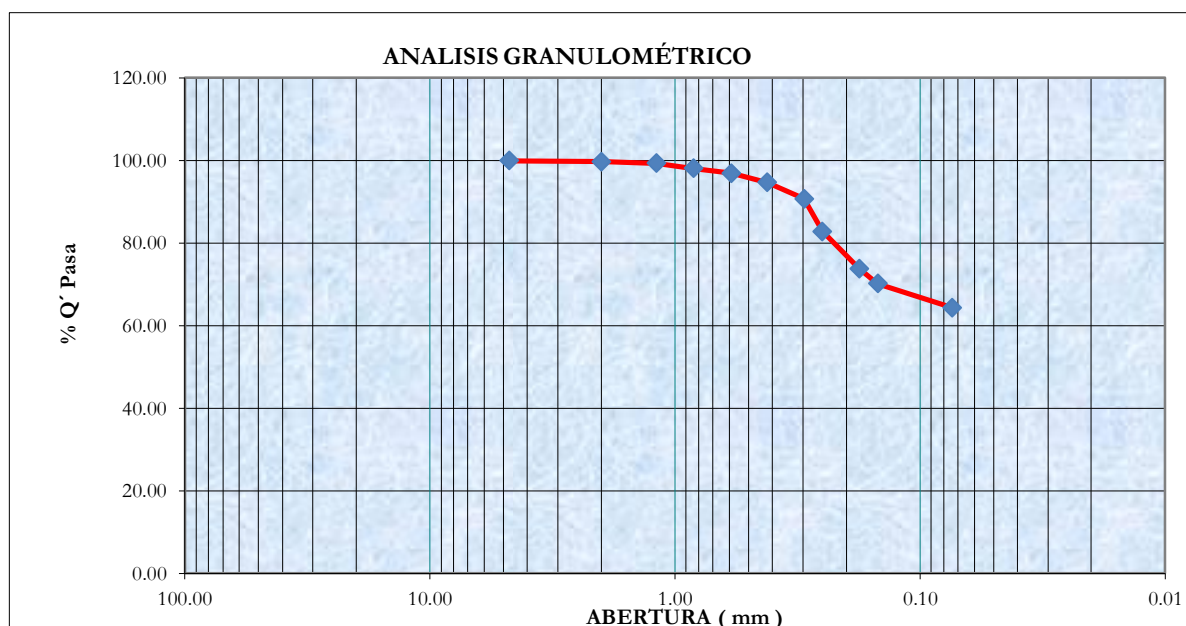
**Curva granulométrica Calicata 1 E – 1**



**: Granulometría calicata 1 -E 02**

<b>Responsable:</b>		<b>Bach. Marco A. Aquino Mendoza</b>		
<b>Ensayo:</b>		<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b>		
<b>Norma:</b>				
<b>Fecha de Muestreo:</b>				
<b>Muestreado por:</b>		M.A.A.M		
<b>Chequeado por:</b>		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UPRIT		
<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO</b>				
Peso Inicial de la Muestra Seca		1001.10		
Peso de la Muestra Después del Lavado		355.65		
Pérdida por Lavado		645.45		
Tamiz	Abertura ( mm )	Retenido		% Q' Pasa
		( gr. )	( % )	
4	4.760	1.05	0.10	99.90
10	2.000	2.06	0.21	99.69
16	1.190	4.05	0.40	99.28
20	0.840	12.62	1.26	98.02
30	0.590	11.69	1.17	96.86
40	0.420	21.93	2.19	94.67
50	0.297	39.95	3.99	90.68
60	0.250	79.25	7.92	82.76
80	0.177	89.65	8.96	73.80
100	0.149	36.72	3.67	70.14
200	0.074	58.02	5.80	64.34
<b>Fondo</b>		644.11	64.34	
<b>Total Retenido:</b>		1001.10	100.00	

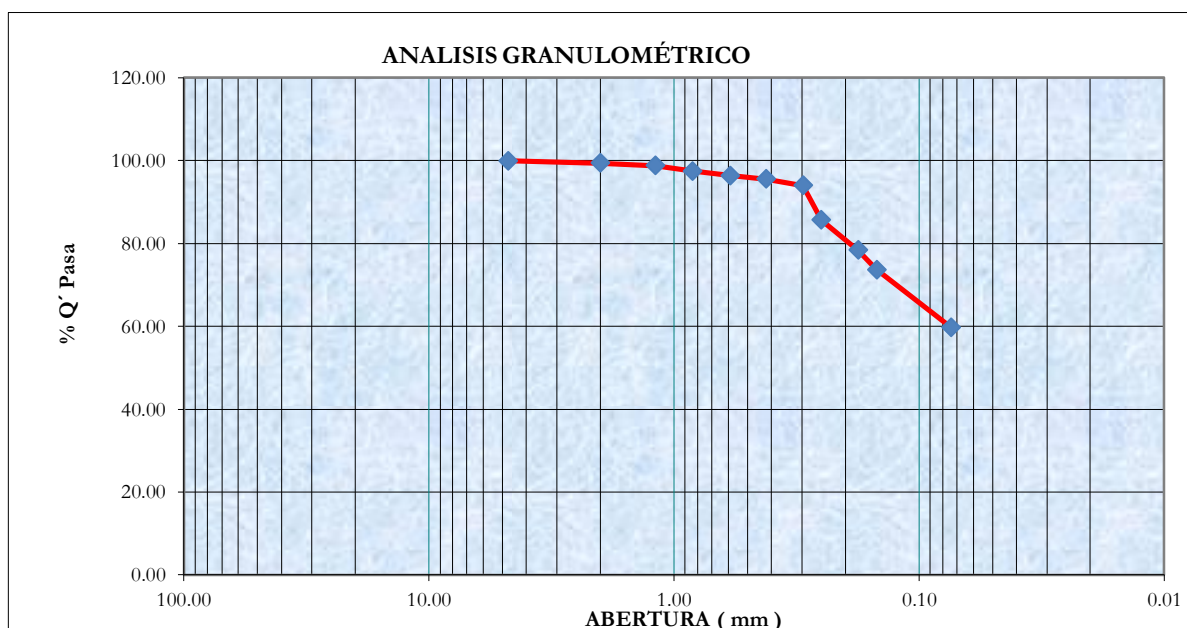
**: Curva granulométrica Calicata 1 - E 02**



**Granulometría calicata 2 –E 01**

<b>Ensayo: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b>				
<b>Norma:</b>				
<b>Fecha de Muestreo:</b>				
<b>Muestreado por:</b> M.A.A.M				
<b>Chequeado por:</b> Laboratorio de Mecánica de Suelos - UPT				
Peso Inicial de la Muestra Seca				1050.23 gr
Peso de la Muestra Después del Lavado				425.54 gr
Pérdida por Lavado				624.69 gr
Tamiz	Abertura	Retenido		% Q' Pasa
	( mm )	( gr. )	( % )	
4	4.760	1.15	0.11	99.89
10	2.000	5.2	0.50	99.40
16	1.190	6.50	0.62	98.78
20	0.840	13.90	1.32	97.45
30	0.590	11.1	1.06	96.40
40	0.420	9.02	0.86	95.54
50	0.297	16.4	1.56	93.98
60	0.250	87.36	8.32	85.66
80	0.177	76.2	7.26	78.40
100	0.149	49.61	4.72	73.68
200	0.074	146.45	13.94	59.73
<b>Sobrante</b>		627.34	59.73	0.00
<b>Total Retenido:</b>		1050.23	100.00	

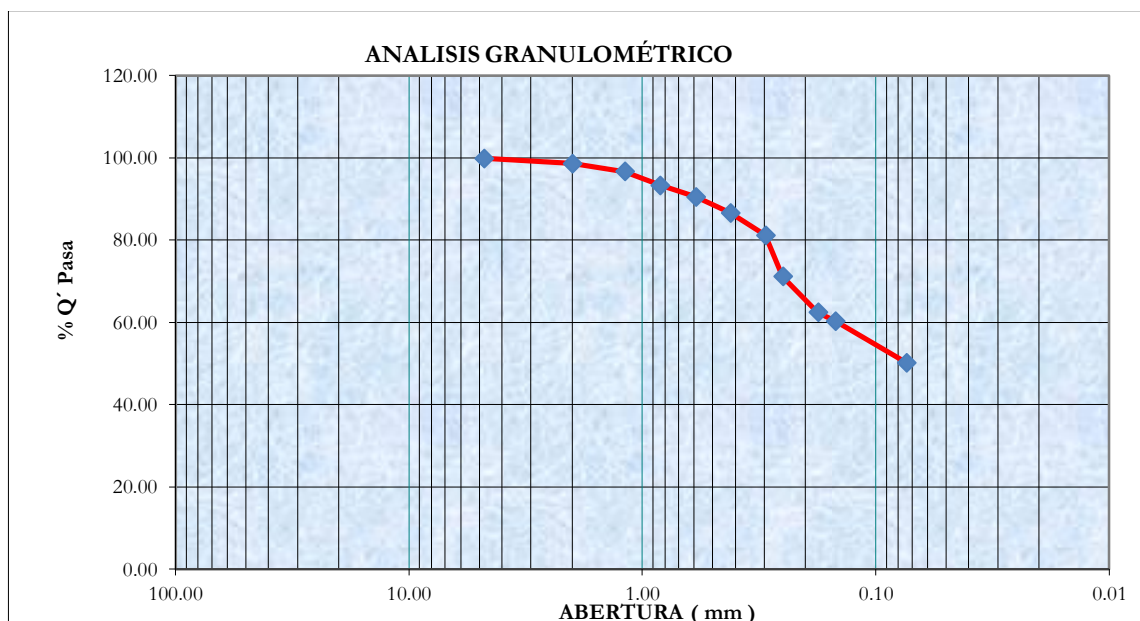
**Curva granulométrica Calicata 2 E – 01**



**Granulometría calicata 2 – E 02**

<b>Responsable:</b>		<b>Bach. Marco A. Aquino Mendoza</b>		
<b>Ensayo:</b>		<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO</b>		
<b>Norma:</b>				
<b>Fecha de Muestreo:</b>				
<b>Muestreado por:</b>		M.A.A.M		
<b>Chequeado por:</b>		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UPRIT		
Peso Inicial de la Muestra Seca		1016.80 gr		
Peso de la Muestra Después del Lavado		509.05 gr		
Pérdida por Lavado		507.75 gr		
Tamiz	Abertura	Retenido		% Q' Pasa
	( mm )	( gr. )	( % )	
4	4.760	1.55	0.15	99.85
10	2.000	13.01	1.28	98.57
16	1.190	19.49	1.92	96.65
20	0.840	34.07	3.35	93.30
30	0.590	28.35	2.79	90.51
40	0.420	39.19	3.85	86.66
50	0.297	55.4	5.45	81.21
60	0.250	102.78	10.11	71.10
80	0.177	88.21	8.68	62.43
100	0.149	21.78	2.14	60.28
200	0.074	102.27	10.06	50.23
<b>Sobrante</b>		510.70	50.23	0.00
<b>Total Retenido:</b>		1016.80	100.00	

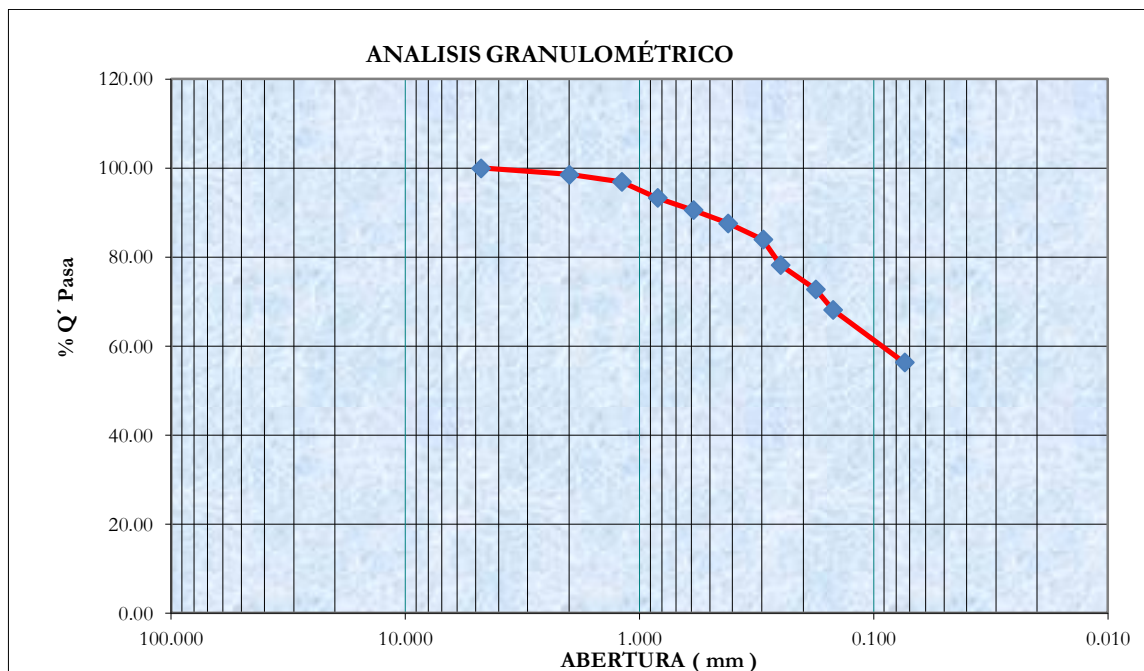
**Curva granulométrica Calicata 2- E 02**



**Tabla 99: Granulometría calicata 3 – E 01**

<b>Responsable:</b>		<i>Bach. Marco A. Aquino Mendoza</i>		
<b>Ensayo:</b> ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO				
<b>Norma:</b>				
<b>Fecha de Muestreo:</b>				
<b>Muestreado por:</b>		M.A.A.M		
<b>Chequeado por:</b>		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UPRIT		
Peso Inicial de la Muestra Seca				1001.32 gr
Peso de la Muestra Después del Lavado				437.51 gr
Pérdida por Lavado				563.81 gr
Tamiz	Abertura	Retenido		% Q' Pasa
	( mm )	( gr. )	( % )	
4	4.760	0.00	0.00	100.00
10	2.000	13.81	1.38	98.62
16	1.190	16.80	1.68	96.94
20	0.840	35.86	3.58	93.36
30	0.590	27.37	2.73	90.63
40	0.420	29.9	2.99	87.64
50	0.297	36.35	3.63	84.01
60	0.250	57.53	5.75	78.27
80	0.177	55.11	5.50	72.76
100	0.149	46.2	4.61	68.15
200	0.074	118.35	11.82	56.33
<b>Sobrante</b>		564.04	56.33	0.00
<b>Total Retenido:</b>		1001.32	100.00	

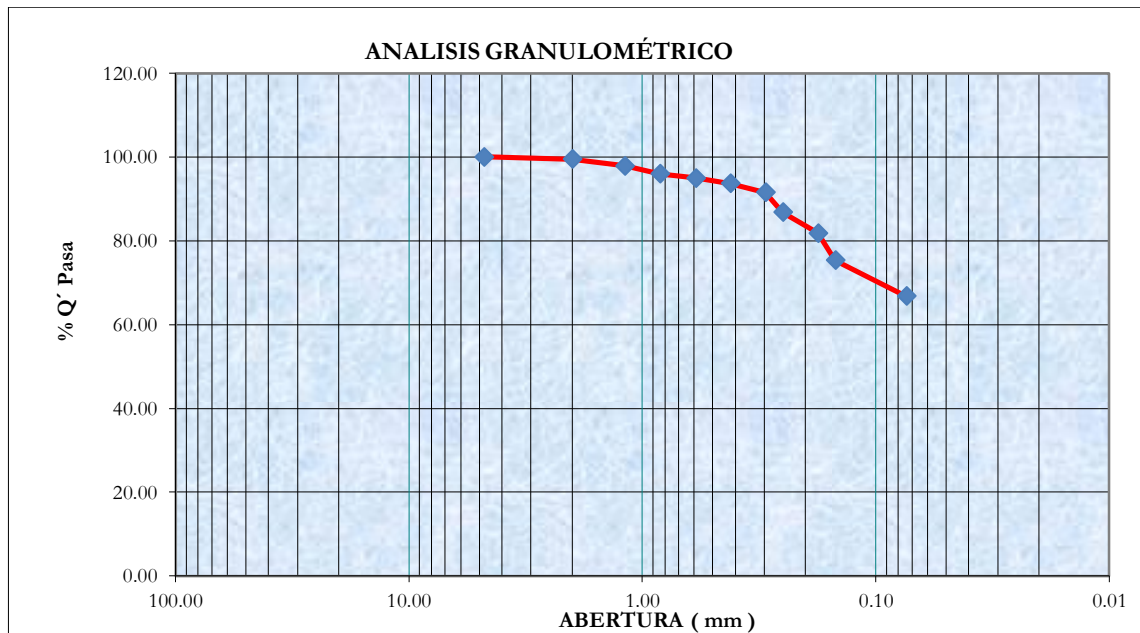
**Curva granulométrica Calicata 3- E 01**



**Granulometría calicata 3 – E 02**

<b>Responsable:</b>		<i>Bach. Marco A. Aquino Mendoza</i>		
<b>Ensayo:</b>		<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR LAVADO</b>		
<b>Norma:</b>				
<b>Fecha de Muestreo:</b>				
<b>Muestreado por:</b>		M.A.A.M		
<b>Chequeado por:</b>		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UPRIT		
Peso Inicial de la Muestra Seca		1018.20 gr		
Peso de la Muestra Después del Lavado		337.48 gr		
Pérdida por Lavado		680.72 gr		
Tamiz	Abertura ( mm )	Retenido ( gr. )      ( % )		% Q' Pasa
4	4.760	0.00	0.00	100.00
10	2.000	5.09	0.50	99.50
16	1.190	16.16	1.59	97.91
20	0.840	19.31	1.90	96.02
30	0.590	10.62	1.04	94.97
40	0.420	12.97	1.27	93.70
50	0.297	21.51	2.11	91.59
60	0.250	48.46	4.76	86.83
80	0.177	50.5	4.96	81.87
100	0.149	66.47	6.53	75.34
200	0.074	87.21	8.57	66.77
<b>Sobrante</b>		679.90	66.77	0.00
<b>Total Retenido :</b>		1018.20	100.00	

**Curva granulométrica Calicata 3- E 02**



**ANEXO N°3: ANALISIS DE CONTENIDO DE HUMEDAD**
**Tabla 78: Contenido de humedad calicata 01– estrato 01- 02**

<i>Responsable</i> :		<b>Bach. AQUINO MENDOZA MARCO ANTONIO</b>					
Ensayo:		<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>			Norma : ASTM D 2216 Norma : ASTM D 854		
Fecha de Muestreo :		La Libertad / 6 - 08 - 2019					
Muestreado por :		A.M.M.A.					
Chequeado por :		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UPRIT					
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD :</b>							
<b>Observaciones :</b>		Ubicación : C - 1			Ubicación : C - 1		
		Estrato : E1			Estrato : E2		
		Profundidad 0.80 m			Prof: 1.50 m		
<b>Recipiente Número</b>	<b>Unidades</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso Recipiente + Muestra Húmeda	Gr	125.32	123.12	126.32	126.10	122.10	126.80
Peso Recipiente + Muestra Seca	Gr	106.00	104.65	107.95	108.10	108.20	111.01
Peso del Recipiente	Gr	23.35	25.63	28.45	24.10	26.10	27.10
Peso de la Muestra Seca	Gr	82.65	79.02	79.50	84.00	82.10	83.91
Peso del Agua	Gr	19.32	18.47	18.37	18.00	13.90	15.79
Contenido de Humedad	%	23.38	23.37	23.11	21.43	16.93	18.82
<b>Promedio</b>		<b>23.29</b>			<b>19.06</b>		

**: Contenido de humedad calicata 02– estrato 01- 02**

<i>Responsable</i> :		<b>Bach. AQUINO MENDOZA MARCO ANTONIO</b>					
Ensayo:		<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>			Norma : ASTM D 2216 Norma : ASTM D 854		
Fecha de Muestreo :		La Libertad / 6 - 08 - 2019					
Muestreado por :		A.M.M.A.					
Chequeado por :		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UPRIT					
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD :</b>							
<b>Observaciones :</b>		Ubicación : C - 2			Ubicación : C - 2		
		Estrato : E1			Estrato : E2		
		Profundidad 0.80 m			Prof: 1.50 m		
<b>Recipiente Número</b>	<b>Unidades</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso Recipiente + Muestra Húmeda	Gr	128.50	120.50	123.14	93.25	95.40	110.10
Peso Recipiente + Muestra Seca	Gr	110.12	105.89	104.78	78.20	83.20	94.20

Peso del Recipiente	Gr	24.20	26.10	27.80	23.02	25.70	27.98
Peso de la Muestra Seca	Gr	85.92	79.79	76.98	55.18	57.50	66.22
Peso del Agua	Gr	18.38	14.61	18.36	15.05	12.20	15.90
Contenido de Humedad	%	21.39	18.31	23.85	27.27	21.22	24.01
Promedio		21.18			24.17		

**: Contenido de humedad calicata 03– estrato 01- 02**

<i>Responsable</i>		<i>Bach. AQUINO MENDOZA MARCO ANTONIO</i>					
Ensayo:		<b>CONTENIDO DE HUMEDAD:</b>			Norma :	ASTM D 2216	
					Norma :	ASTM D 854	
Fecha de Muestreo :	La Libertad / 6 - 08 - 2019						
Muestreado por :	A.M.M.A.						
Chequeado por :	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UPRIT						
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD :</b>							
<b>Observaciones :</b>		Ubicación : C - 3			Ubicación : C - 3		
		Estrato : E1			Estrato : E2		
		Profundidad 0.80 m			Prof: 1.50 m		
<b>Recipiente Número</b>	<b>Unidades</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso Recipiente + Muestra Húmeda	Gr	102.94	140.15	118.90	104.17	123.32	119.45
Peso Recipiente + Muestra Seca	Gr	87.29	115.20	98.00	84.53	96.65	94.48
Peso del Recipiente	Gr	27.30	28.51	27.22	21.30	22.23	23.21
Peso de la Muestra Seca	Gr	59.99	86.69	70.78	63.23	74.42	71.27
Peso del Agua	Gr	15.65	24.95	20.90	19.64	26.67	24.97
Contenido de Humedad	%	26.09	28.78	29.53	31.06	35.84	35.04
Promedio		28.13			33.98		



**ANEXO N°4: GUÍA DE ENSAYO LÍMITES DE CONSISTENCIA**

**Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de la calicata 01 -E01**

<b>Proyecto:</b> "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE LAREDO - TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018" <b>Responsable:</b> Bach. Marco A. Aquino Mendoza																									
<b>Ensayo:</b> LÍMITES DE CONSISTENCIA <b>LÍMITE LÍQUIDO:</b> Norma: ASTM D 438 <b>LÍMITE PLÁSTICO:</b> Norma: ASTM D 439																									
<b>Fecha de Muestreo:</b> La Libertad 13 / 12 / 2019 <b>Muestreado por:</b> M.A.A.M. <b>Chequeado por:</b> Laboratorio de Mecánica de Suelos - UPRIT																									
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>			Ubicación: Calicata C1			Profundidad: 0.80 m																			
			Estrato: E1																						
		<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>			<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>			<b>Límites de Consistencia</b>																	
<b>Tara Número</b>	<b>Unidades</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>																		
Peso Recipiente + Muestra Húmeda	Gr	30.03	41.03	19.34	28.12	27.78	27.32	Límite Líquido: LL = 26.39%																	
Peso Recipiente + Muestra Seca	Gr	28.27	39.48	18.43	28.04	27.68	27.25	Límite Plástico: LP = 15.71%																	
Peso de la Recipiente	Gr	23.21	34.38	13.21	27.29	27.24	26.74	Índice de Plasticidad: IP = 10.68%																	
Peso de la Muestra Seca	Gr	5.06	5.10	5.22	0.75	0.44	0.51	Contenido de Humedad: $W_{at}$ = 23.29%																	
Peso del Agua	Gr	1.76	1.55	0.91	0.08	0.10	0.07	Grado de Consistencia: $K_w$ = 0.29																	
Contenido de Humedad	%	34.78	30.39	17.43	10.67	22.73	13.73	Grado de Consistencia: $V_{scosa}$																	
<b>Número de Golpes</b>		18	25	31	Promedio:			15.71																	
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="2"><b>Calicata:</b> C1</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Estrato:</b> E1</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Potencia:</b> 0.80 m</td> </tr> <tr> <td><b>Número de Golpes</b></td> <td><b>Contenido de Humedad (%)</b></td> </tr> <tr> <td>18</td> <td>34.78</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>30.39</td> </tr> <tr> <td>31</td> <td>17.43</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>26.388</td> </tr> </table>										<b>Calicata:</b> C1		<b>Estrato:</b> E1		<b>Potencia:</b> 0.80 m		<b>Número de Golpes</b>	<b>Contenido de Humedad (%)</b>	18	34.78	25	30.39	31	17.43	25	26.388
<b>Calicata:</b> C1																									
<b>Estrato:</b> E1																									
<b>Potencia:</b> 0.80 m																									
<b>Número de Golpes</b>	<b>Contenido de Humedad (%)</b>																								
18	34.78																								
25	30.39																								
31	17.43																								
25	26.388																								
<div style="text-align: center;"> <p><b>DIGRAMA DE FLUIDEZ</b></p> <p><b>Contenido de Humedad (%)</b></p> <p><b>Número de Golpes</b></p> </div>																									

**Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de la calicata 01 -E02**

LÍMITES DE CONSISTENCIA		Ubicación : Calicata C1			Profundidad 1.50 m		
		Estrato : E2					
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO		
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3
Peso Recipiente + Muestra Húmeda	Gr	30.02	41.03	19.35	28.13	27.78	27.31
Peso Recipiente + Muestra Seca	Gr	28.28	39.47	18.43	28.03	27.68	27.23
Peso de la Recipiente	Gr	23.22	34.39	13.27	27.28	27.24	26.74
Peso de la Muestra Seca	Gr	5.06	5.08	5.16	0.75	0.44	0.49
Peso del Agua	Gr	1.74	1.56	0.92	0.10	0.10	0.08
Contenido de Humedad	%	34.39	30.71	17.83	13.33	22.73	16.33
Número de Golpes		18	24	31	Promedio :		17.46

Límites de Consistencia	
Límite Líquido: LL =	26.09%
Límite Plástico: LP =	17.46%
Índice de Plasticidad : IP =	8.63%
Contenido de Humedad : W <sub>n</sub> =	19.06%
Grado de Consistencia : K <sub>w</sub> =	0.82
Grado de Consistencia :	Plástica

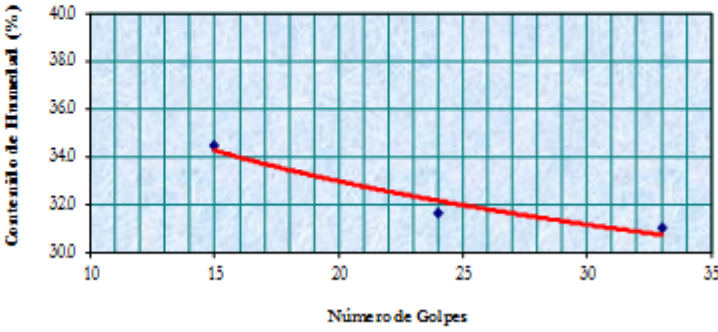
  

Calicata : C1	
Estrato : E2	
Potencia : 1.50 m	
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)
18	34.39
24	30.71
31	17.83
25	26.095

**DIAGRAMA DE FLUIDEZ**

### Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de la calicata 02 -E01

<b>Proyecto :</b> "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE LAREDO - TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018"							
<b>Responsable</b> Bach. Marco A. Aquino Mendoza							
<b>Ensayo :</b> LÍMITES DE CONSISTENCIA							
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>				Norma : ASTM D 4318			
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>				Norma : ASTM D 4319			
<b>Fecha de Muestreo :</b>				La Libertad 13 / 12 / 2019			
<b>Muestreado por :</b>				M.A.A.M			
<b>Chequeado por :</b>				Laboratorio de Mecánica de Suelos - UPRIT			
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>		<b>Ubicación :</b> Calicata C2			<b>Profundidad</b> 1.00 m		
		<b>Estrato :</b> E1					
		<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>			<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		
					<b>Límites de Consistencia</b>		
<b>Tara Número</b>	<b>Unidades</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso Recipiente + Muestra Húmeda	Gr	33.38	33.66	34.44	28.77	28.73	28.19
Peso Recipiente + Muestra Seca	Gr	33.42	33.61	34.17	28.56	28.53	28.07
Peso de la Recipiente	Gr	27.73	27.13	26.85	27.25	27.14	27.12
Peso de la Muestra Seca	Gr	5.69	6.48	7.32	1.31	1.39	0.95
Peso del Agua	Gr	1.96	2.05	2.27	0.21	0.22	0.12
Contenido de Humedad	%	34.45	31.64	31.01	16.03	15.83	12.63
<b>Número de Golpes</b>		<b>15</b>	<b>24</b>	<b>33</b>	<b>Promedio :</b>	<b>14.83</b>	
<b>Calicata :</b> C2							
<b>Estrato :</b> E1							
<b>Potencia :</b> 1.00 m							
<b>Número de Golpes</b>	<b>Contenido de Humedad (%)</b>						
15	34.45						
24	31.64						
33	31.01						
25	31.955						
		<b>DIAGRAMA DE FLUIDEZ</b> 					

**Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de la calicata 02 -E02**

LÍMITES DE CONSISTENCIA		Ubicación: Calicata C2			Profundidad 1.50 m			
		Estrato: E2						
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO			Límites de Consistencia
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3	
Peso Recipiente + Muestra Húmeda	Gr	28.17	29.66	29.58	28.12	28.71	28.62	Límite Líquido: LL = 33.06%
Peso Recipiente + Muestra Seca	Gr	26.57	27.89	27.57	28.03	28.45	28.42	Límite Plástico: LP = 17.76%
Peso de la Recipiente	Gr	22.04	22.56	21.31	27.07	27.29	27.49	Índice de Plasticidad: IP = 15.30%
Peso de la Muestra Seca	Gr	4.53	5.33	6.26	0.96	1.16	0.93	Contenido de Humedad: W <sub>n</sub> = 24.17%
Peso del Agua	Gr	1.60	1.77	2.01	0.09	0.26	0.20	Grado de Consistencia: K <sub>w</sub> = 0.58
Contenido de Humedad	%	35.32	33.21	32.11	9.37	22.41	21.51	Grado de Consistencia: Suave
Número de Golpes		13	23	34	Promedio: 17.76			

Calicata: C2	
Estrato: E3	
Potencia: 1.50 m	
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)
13	35.32
23	33.21
34	32.11
25	33.063

**DIAGRAMA DE FLUIDEZ**

**Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de la calicata 03 -E01**

<b>Proyecto:</b>		<b>"ESTABILIZACION DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZUCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE LAREDO - TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018"</b>																					
<b>Responsable</b>		<b>Bach. Marco A. Aquino Mendoza</b>																					
<b>Ensayo: LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>																							
<b>LÍMITE LIQUIDO</b>		Norma : ASTM D 4318																					
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		Norma : ASTM D 4319																					
<b>Fecha de Muestreo:</b>		La Libertad 13/ 12 / 2019																					
<b>Muestreado por:</b>		M.A.A.M																					
<b>Chequeado por:</b>		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UPRIT																					
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>		<b>Ubicación:</b> Calicata C3			<b>Profundidad:</b> 0.90 m																		
		<b>Estrato:</b> E1																					
		<b>LÍMITE LIQUIDO</b>			<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>																		
<b>Tara Número</b>	<b>Unidades</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>																
Peso Recipiente + Muestra Húmeda	Gr	49.05	45.65	54.90	46.01	36.00	29.65																
Peso Recipiente + Muestra Seca	Gr	42.52	38.95	48.91	43.01	32.48	27.21																
Peso de la Recipiente	Gr	21.89	15.03	21.10	24.85	17.25	16.01																
Peso de la Muestra Seca	Gr	20.63	23.92	27.81	18.16	15.23	11.20																
Peso del Agua	Gr	6.53	6.70	5.99	3.00	3.52	2.44																
Contenido de Humedad	%	31.65	28.01	21.34	16.52	23.11	21.79																
Número de Golpes		19	22	29	Promedio:	20.47																	
		<table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>Calicata:</b> C3</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Estrato:</b> E2</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Potencia:</b> 0.90 m</td> </tr> <tr> <td><b>Número de Golpes</b></td> <td><b>Contenido de Humedad (%)</b></td> </tr> <tr> <td>19</td> <td>31.65</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>28.01</td> </tr> <tr> <td>29</td> <td>21.34</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>25.048</td> </tr> </table>						<b>Calicata:</b> C3		<b>Estrato:</b> E2		<b>Potencia:</b> 0.90 m		<b>Número de Golpes</b>	<b>Contenido de Humedad (%)</b>	19	31.65	22	28.01	29	21.34	25	25.048
<b>Calicata:</b> C3																							
<b>Estrato:</b> E2																							
<b>Potencia:</b> 0.90 m																							
<b>Número de Golpes</b>	<b>Contenido de Humedad (%)</b>																						
19	31.65																						
22	28.01																						
29	21.34																						
25	25.048																						
<p align="center"><b>DIAGRAMA DE FLUIDES</b></p> <table border="1"> <caption>Data points for the Fluides Diagram</caption> <thead> <tr> <th>Número de Golpes</th> <th>Contenido de Humedad (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>19</td> <td>31.65</td> </tr> <tr> <td>22</td> <td>28.01</td> </tr> <tr> <td>29</td> <td>21.34</td> </tr> </tbody> </table>								Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)	19	31.65	22	28.01	29	21.34								
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)																						
19	31.65																						
22	28.01																						
29	21.34																						
		<table border="1"> <tr> <td colspan="2"><b>Límite Líquido:</b> LL = 25.03%</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Límite Plástico:</b> LP = 20.47%</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Índice de Plasticidad:</b> IP = 4.58%</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Contenido de Humedad:</b> Wn = 28.13%</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Grado de Consistencia:</b> Kw = -0.67</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Grado de Consistencia:</b> Consistencia Líquida</td> </tr> </table>						<b>Límite Líquido:</b> LL = 25.03%		<b>Límite Plástico:</b> LP = 20.47%		<b>Índice de Plasticidad:</b> IP = 4.58%		<b>Contenido de Humedad:</b> Wn = 28.13%		<b>Grado de Consistencia:</b> Kw = -0.67		<b>Grado de Consistencia:</b> Consistencia Líquida					
<b>Límite Líquido:</b> LL = 25.03%																							
<b>Límite Plástico:</b> LP = 20.47%																							
<b>Índice de Plasticidad:</b> IP = 4.58%																							
<b>Contenido de Humedad:</b> Wn = 28.13%																							
<b>Grado de Consistencia:</b> Kw = -0.67																							
<b>Grado de Consistencia:</b> Consistencia Líquida																							

**Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad de la calicata 03 -E02**

LÍMITES DE CONSISTENCIA		Ubicación: Calicata C3			Profundidad 1.50 m			
		Estrato: E2						
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO			Límites de Consistencia
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3	
Peso Recipiente + Muestra Húmeda	Gr	26.48	29.55	33.98	28.37	19.76	28.61	Límite Líquido: LL = 42.62%
Peso Recipiente + Muestra Seca	Gr	24.87	27.35	32.31	28.16	19.36	28.36	Límite Plástico: LP = 34.24%
Peso de la Recipiente	Gr	21.33	22.31	28.26	27.44	18.22	27.71	Índice de Plasticidad: IP = 8.38%
Peso de la Muestra Seca	Gr	3.54	5.04	4.05	0.72	1.14	0.65	Contenido de Humedad: W <sub>n</sub> = 33.98%
Peso del Agua	Gr	1.61	2.20	1.67	0.21	0.40	0.25	Grado de Consistencia: K <sub>w</sub> = 1.03
Contenido de Humedad	%	45.48	43.65	41.23	29.17	35.09	38.46	Grado de Consistencia: Media Dura, Sólida
Número de Golpes		17	23	29	Promedio:	34.24		

DIGRAMA DE FLUIDEZ	
Calicata:	C3
Estrato:	E2
Potencia:	1.50 m
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)
17	45.48
23	43.65
29	41.23
25	42.616

**ANEXO N° 05 GUÍA DE ENSAYO CBR**
**CBR- C-01**

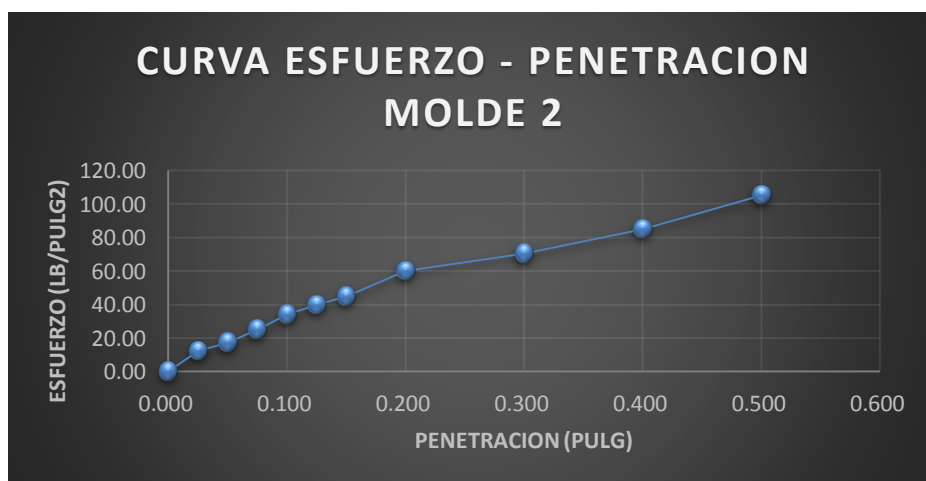
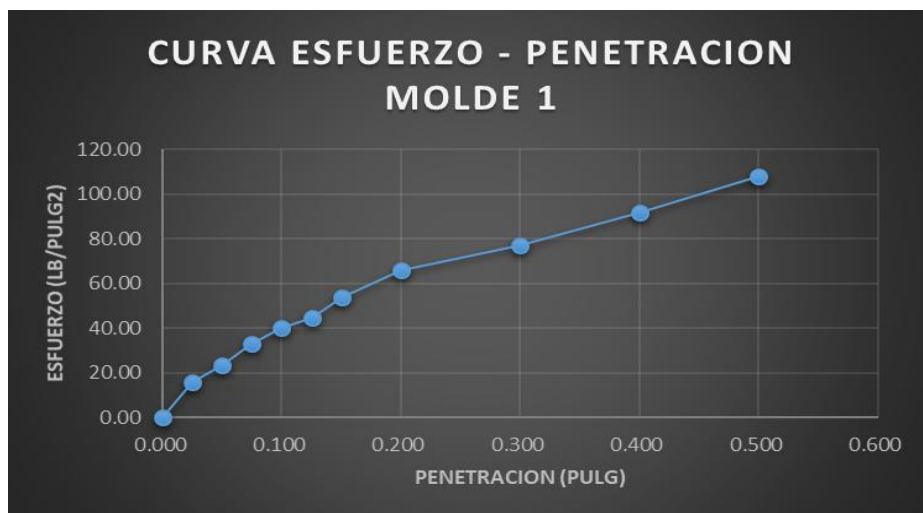
<b>UPRIT</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>	
	<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS</b>	
<b>TESIS:</b>	<b>"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE LAREDO- TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018"</b>	
<b>TESISTA:</b>	<b>BACH. MARCO ANTONIO AQUINO MENDOZA</b>	
<b>PERFORACIÓN:</b>	<b>1.50 mts.</b>	<b>CALICATA: 01</b>

<b>DETERMINACION DE LA DENSIDAD</b>						
<b>MOLDE N°</b>	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	
ALTURA DE MOLDE (mm)	120		120		120	
N° DE CAPAS	5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPAS	12		25		56	
DIAMETRO	15.2		15.2		15.2	
AREA	181.46		181.46		181.46	
VOLUMEN	2177.51		2177.51		2177.51	
CONDICION DE MUESTRA	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR
Peso de muestra húmeda + molde (g)	11345.00	11368.00	12070.00	12084.00	13140.00	13158.00
Peso de molde (g)	6766.00	6766.00	7258.00	7258.00	8105.00	8105.00
Peso de muestra húmeda (g)	4579.00	4602.00	4812.00	4826.00	5035.00	5053.00
Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.10	2.11	2.21	2.22	2.31	2.32
Densidad Húmeda Promedio (g/cm <sup>3</sup> )	2.11		2.21		2.32	

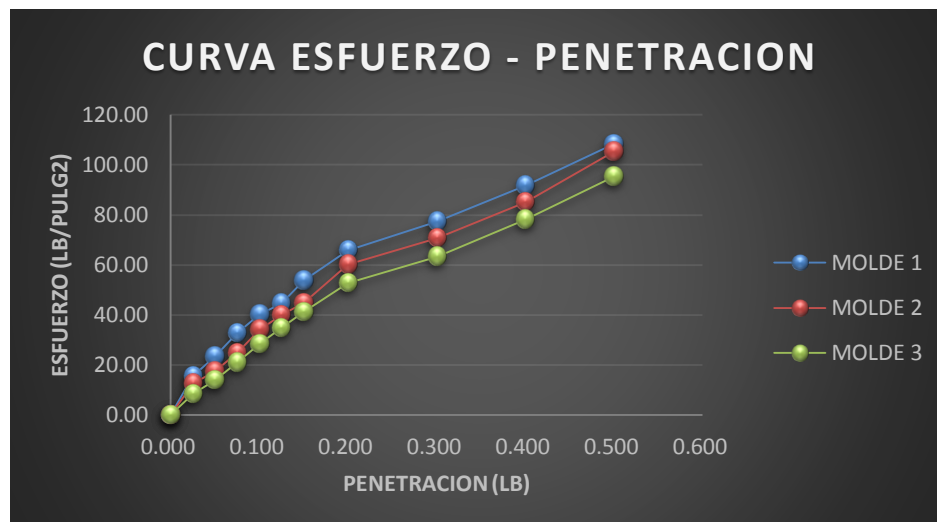
<b>DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>			
<b>Tara N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de tara + Suelo húmedo (g)	147.20	153.28	137.00
Suelo Seco + Tara (g)	130.65	135.20	120.40
Peso Agua (g)	16.55	18.08	16.60
Peso Tara (g)	36.01	36.03	36.01
Peso Suelo Seco (g)	94.64	99.17	84.39
Contenido de Humedad (%)	17.49	18.23	19.67
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.79	1.87	1.93

<b>DETERMINACION DE EXPANSIÓN</b>									
<b>Molde N°</b>	<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
	<b>Lectura</b>	<b>Hinchamiento</b>	<b>(%)</b>	<b>Lectura</b>	<b>Hinchamiento</b>	<b>(%)</b>	<b>Lectura</b>	<b>Hinchamiento</b>	<b>(%)</b>
0	4.42	0.00	0.00	4.18	0	0.00	3.89	0	0.00
24	5.77	1.35	1.12	4.87	0.69	0.58	4.21	0.32	0.27
48	6.58	0.81	0.68	5.66	0.79	0.66	4.66	0.45	0.38
36	7.06	0.48	0.40	6.21	0.55	0.46	4.99	0.33	0.28
96	7.21	0.15	0.13	6.98	0.77	0.64	5.42	0.43	0.36

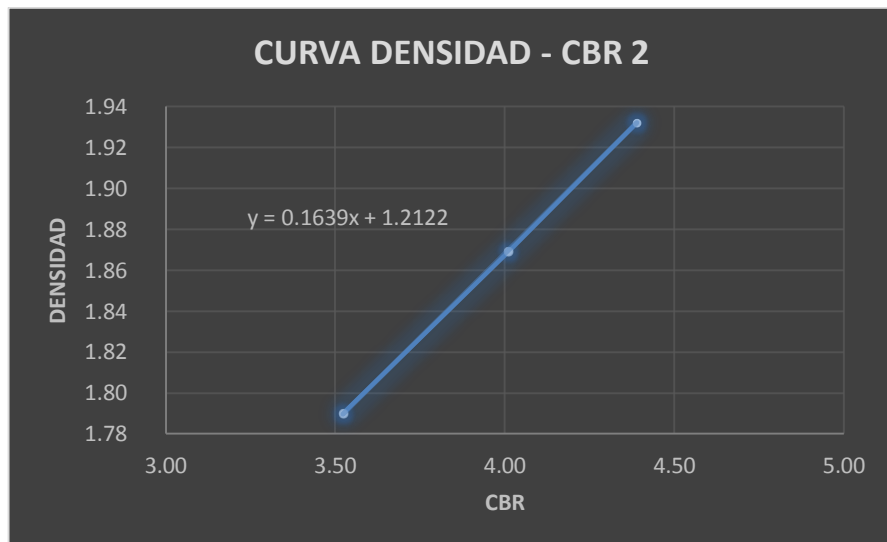
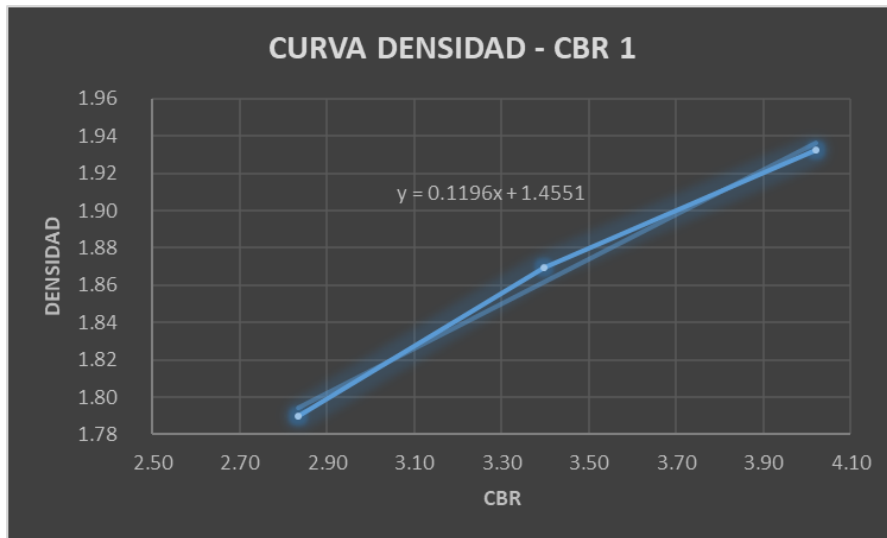
DETERMINACION DE CARGA - PENETRACION						Area del disco	3
Molde Nº	1		2		3		
Nº de Golpes	56		25		12		
Penetración (pulg)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	
0.000	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	
0.025	46.80	15.60	37.50	12.50	25.20	8.40	
0.050	70.06	23.35	52.04	17.35	41.64	13.88	
0.075	98.55	32.85	74.50	24.83	62.89	20.96	
0.100	120.65	40.22	101.89	33.96	85.04	28.35	
0.125	134.02	44.67	119.75	39.92	104.53	34.84	
0.150	161.27	53.76	134.69	44.90	123.78	41.26	
0.200	197.54	65.85	180.45	60.15	158.49	52.83	
0.300	231.68	77.23	211.63	70.54	189.56	63.19	
0.400	275.02	91.67	254.96	84.99	234.08	78.03	
0.500	324.54	108.18	315.96	105.32	285.88	95.29	







MOLDE	0.1"	0.2"	DENSIDAD (g/cm3)	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)
1	28.35	52.83	1.79	2.83	3.52
2	33.96	60.15	1.87	3.40	4.01
3	40.22	65.85	1.93	4.02	4.39



	CBR 1	$y = 0.1196x + 1.4551$						
	CBR 2	$y = 0.1639x + 1.2122$						
			CBR 1	CBR 2		DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)
MAXIMO DENSIDAD 100%	1.90		3.72	4.20		1.79	2.83	3.52
95% MAXIMO DENSIDAD	1.81		2.93	3.62		1.87	3.40	4.01
CBR DISEÑO (%)			3.62			1.93	4.02	4.39



**CBR C-02**

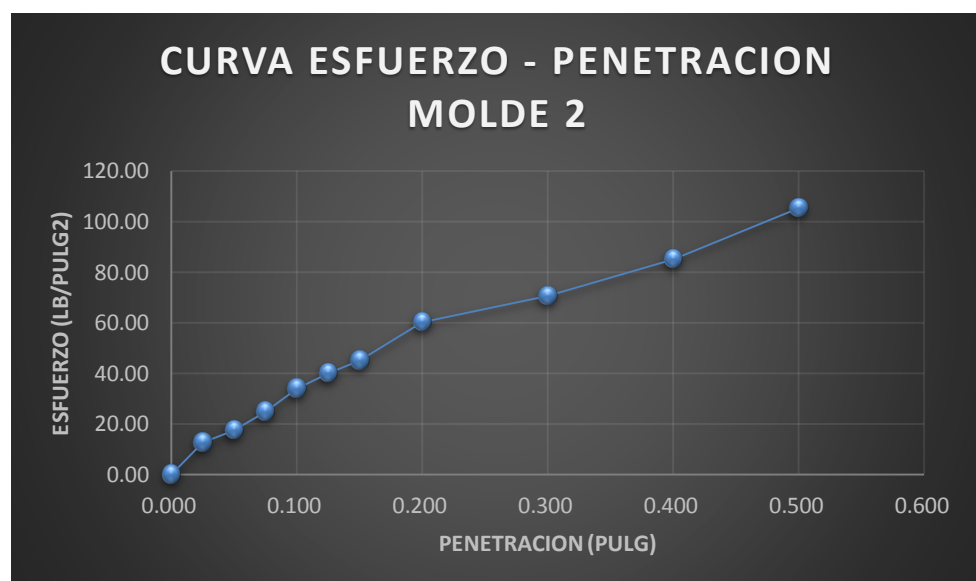
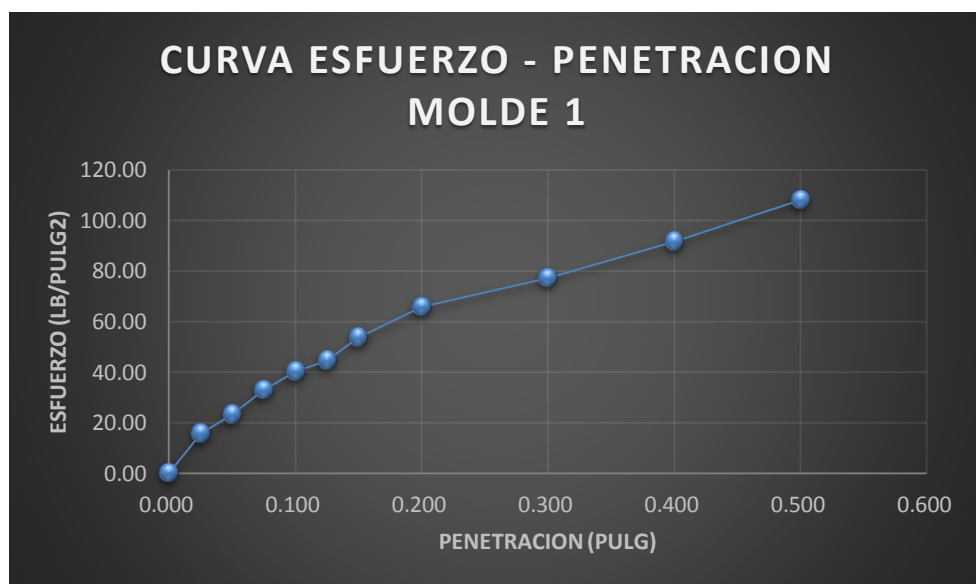
<b>UPRIT</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>	
	<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS</b>	
<b>TESIS:</b>	<b>"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE LAREDO- TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018"</b>	
<b>TESISTA:</b>	<b>BACH. MARCO ANTONIO AQUINO MENDOZA</b>	
<b>PERFORACIÓN:</b>	1.50 mts.	<b>CALICATA: 02</b>

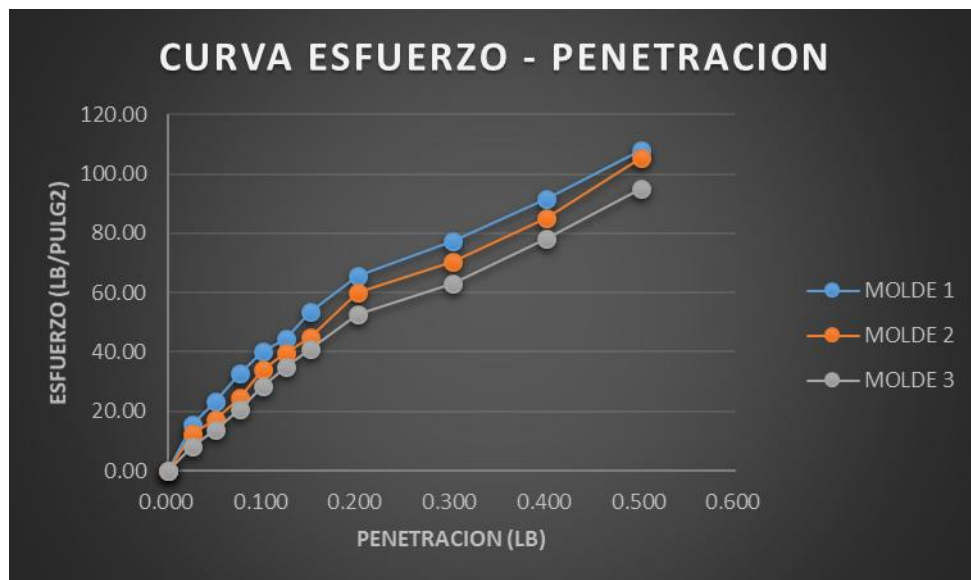
<b>DETERMINACION DE LA DENSIDAD</b>						
<b>MOLDE N°</b>	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	
ALTURA DE MOLDE (mm)	120		120		120	
N° DE CAPAS	5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPAS	12		25		56	
DIAMETRO	15.2		15.2		15.2	
AREA	181.46		181.46		181.46	
VOLUMEN	2177.51		2177.51		2177.51	
CONDICION DE MUESTRA	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR
Peso de muestra húmeda	11321.00	11348.00	12086.00	12125.00	13128.00	13137.00
Peso de molde (g)	6768.00	6768.00	7262.00	7262.00	8101.00	8101.00
Peso de muestra húmeda	4553.00	4580.00	4824.00	4863.00	5027.00	5036.00
Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.09	2.10	2.22	2.23	2.31	2.31
Densidad Húmeda Promedio	2.10		2.22		2.31	

<b>DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDA</b>			
<b>Tara N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de tara + Suelo húmedo	147.01	152.65	142.02
Suelo Seco + Tara (g)	130.12	135.02	125.24
Peso Agua (g)	16.89	17.63	16.78
Peso Tara (g)	36.01	36.03	36.01
Peso Suelo Seco (g)	94.11	98.99	89.23
Contenido de Humedad (%)	17.95	17.81	18.81
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.77	1.88	1.94

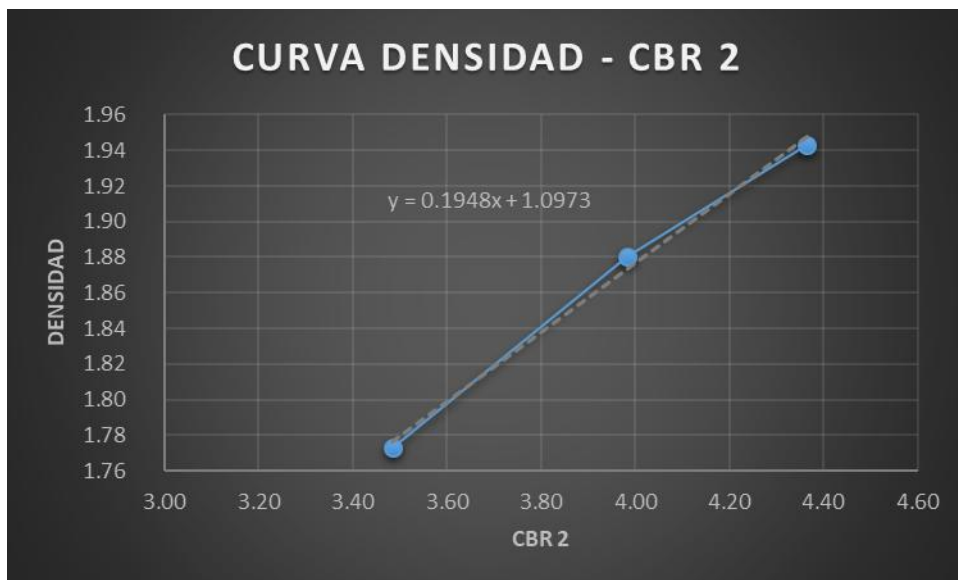
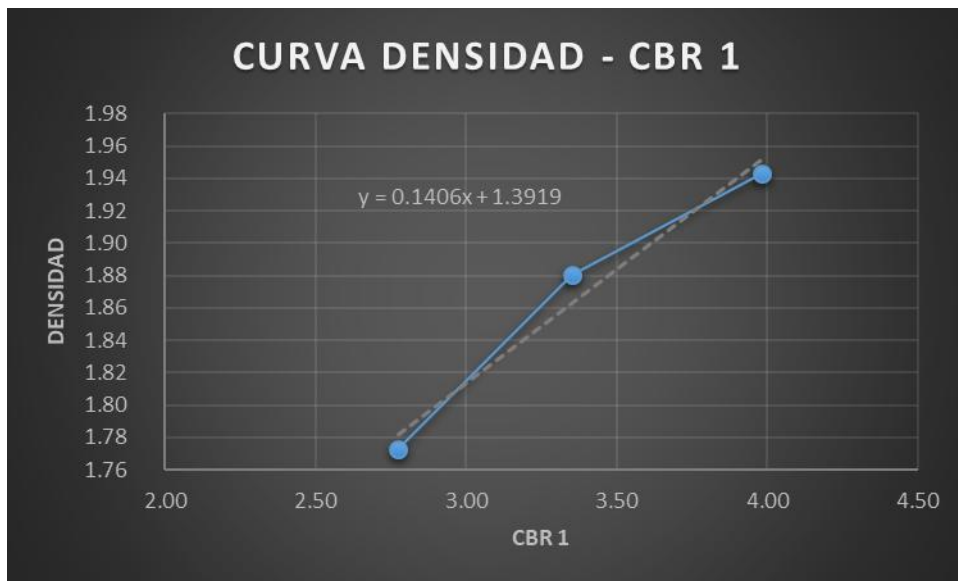
<b>DETERMINACION DE EXPANSIÓN</b>									
<b>Molde N°</b>	<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
	Lectura	Hinchamiento	(%)	Lectura	Hinchamiento	(%)	Lectura	Hinchamiento	(%)
0	4.56	0.00	0.00	4.12	0	0.00	3.85	0	0.00
24	5.48	0.92	0.77	4.76	0.64	0.53	4.16	0.31	0.26
48	6.27	0.79	0.66	5.45	0.69	0.58	4.69	0.53	0.44
36	6.98	0.71	0.59	6.14	0.69	0.58	5.08	0.39	0.33
96	7.24	0.26	0.22	6.94	0.8	0.67	5.49	0.41	0.34

DETERMINACION DE CARGA - PENETRACION						Area del disco	3
Molde Nº	1		2		3		
Nº de Golpes	56		25		12		
Penetración	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	
0.000	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	
0.025	47.62	15.87	35.22	11.74	24.61	8.20	
0.050	69.21	23.07	51.36	17.12	40.52	13.51	
0.075	99.12	33.04	73.52	24.51	60.86	20.29	
0.100	119.42	39.81	100.54	33.51	83.21	27.74	
0.125	134.53	44.84	119.62	39.87	102.45	34.15	
0.150	162.79	54.26	136.4	45.47	121.45	40.48	
0.200	196.42	65.47	179.21	59.74	156.82	52.27	
0.300	232.08	77.36	212.12	70.71	187.28	62.43	
0.400	274.54	91.51	252.75	84.25	232.51	77.50	
0.500	322.08	107.36	311.56	103.85	281.54	93.85	

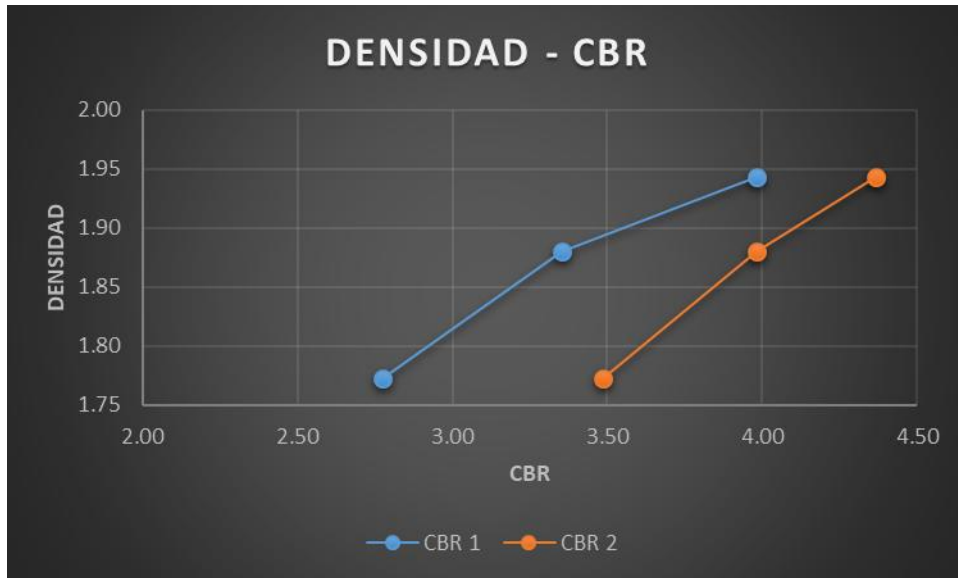




MOLDE	0.1"	0.2"	DENSIDAD (g/cm3)	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)
1	27.74	52.27	1.77	2.77	3.48
2	33.51	59.74	1.88	3.35	3.98
3	39.81	65.47	1.94	3.98	4.36



CBR 1	$y = 0.1406x + 1.3919$					
CBR 2	$y = 0.1948x + 1.0973$					
		CBR 1	CBR 2	DENSIDAD (g/cm3)	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)
MAXIMO DENSIDAD 100%	1.89	3.51	4.04	1.77	2.77	3.48
95% MAXIMO DENSIDAD	1.79	2.84	3.56	1.88	3.35	3.98
CBR DISEÑO (%)		3.56		1.94	3.98	4.36





**CBR C-03**

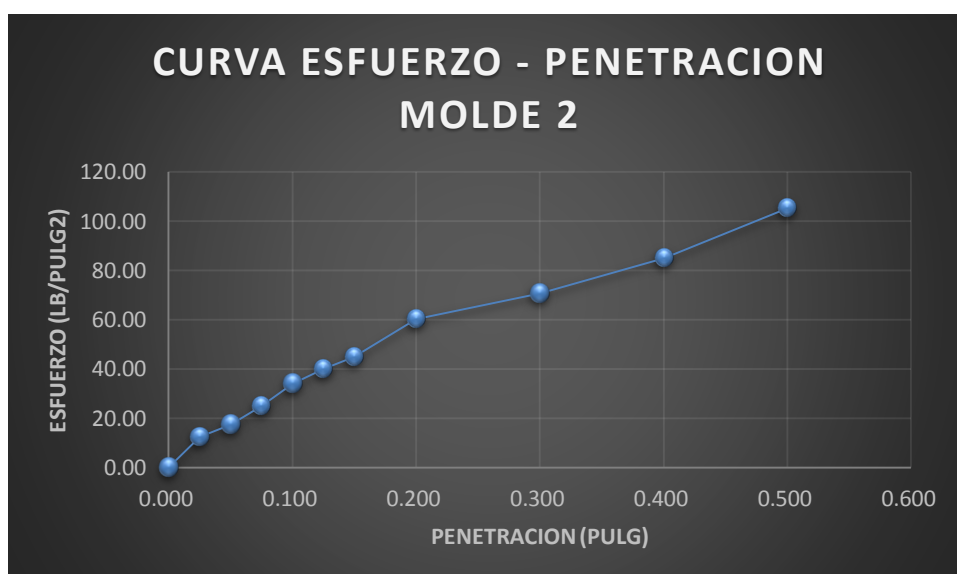
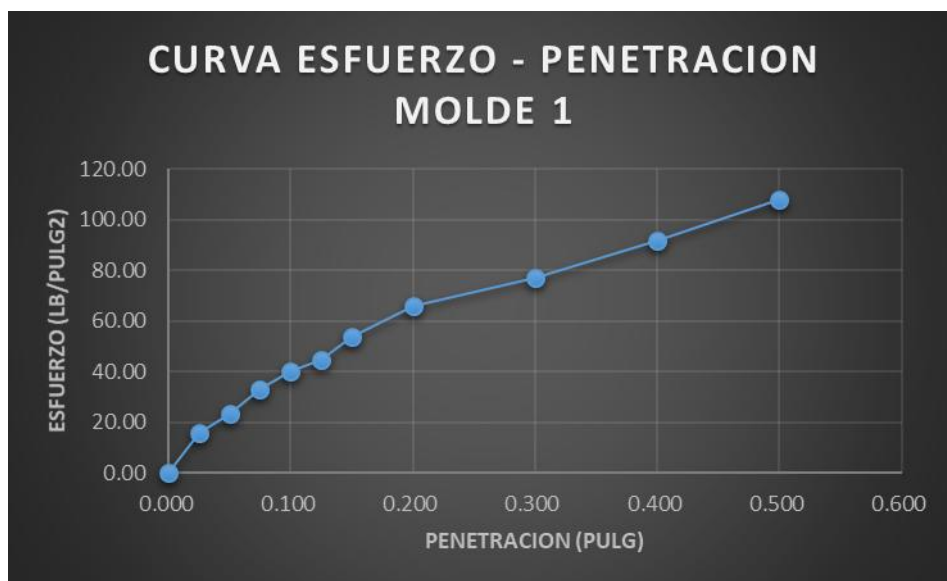
<b>UPRIT</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL</b>					
	<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS</b>					
<b>TESIS:</b>	<b>"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE LAREDO- TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018"</b>					
<b>TESISTA:</b>	<b>BACH. MARCO ANTONIO AQUINO MENDOZA</b>					
<b>PERFORACIÓN:</b>	1.50 mts.			<b>CALICATA: 03</b>		

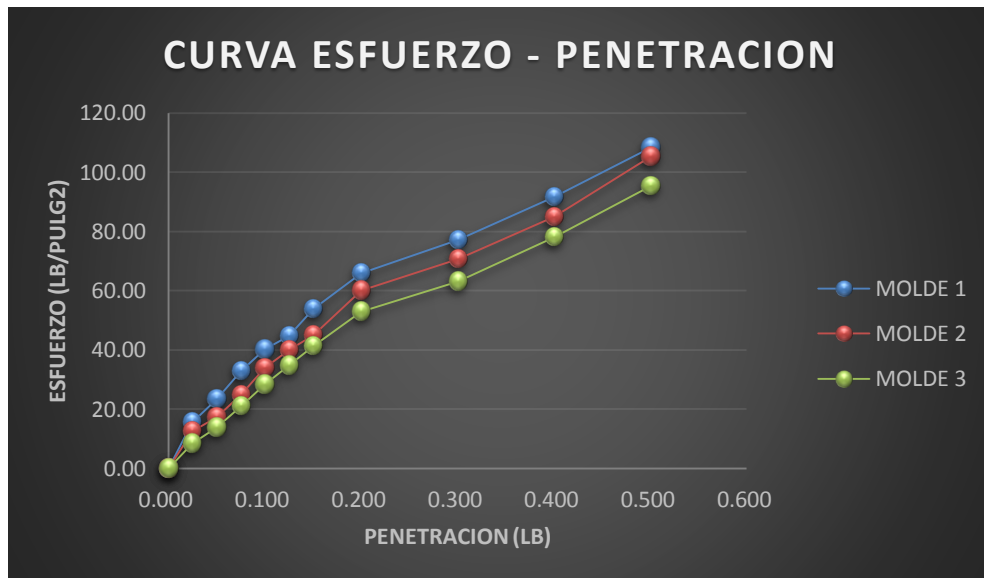
<b>DETERMINACION DE LA DENSIDAD</b>						
<b>MOLDE N°</b>	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	
ALTURA DE MOLDE (mm)	120		120		120	
N° DE CAPAS	5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPAS	12		25		56	
DIAMETRO	15.2		15.2		15.2	
AREA	181.46		181.46		181.46	
VOLUMEN	2177.51		2177.51		2177.51	
CONDICION DE MUESTRA	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR
Peso de muestra húmeda	11379.00	11397.00	12081.00	12095.00	13142.00	13167.00
Peso de molde (g)	6778.00	6778.00	7264.00	7264.00	8084.00	8084.00
Peso de muestra húmeda	4601.00	4619.00	4817.00	4831.00	5058.00	5083.00
Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.11	2.12	2.21	2.22	2.32	2.33
Densidad Húmeda Promedio	2.12		2.22		2.33	

<b>DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDA</b>			
<b>Tara N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de tara + Suelo húmedo	146.12	152.21	139.25
Suelo Seco + Tara (g)	128.24	133.89	121.12
Peso Agua (g)	17.88	18.32	18.13
Peso Tara (g)	36.01	36.03	36.01
Peso Suelo Seco (g)	92.23	97.86	85.11
Contenido de Humedad (%)	19.39	18.72	21.30
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.77	1.86	1.91

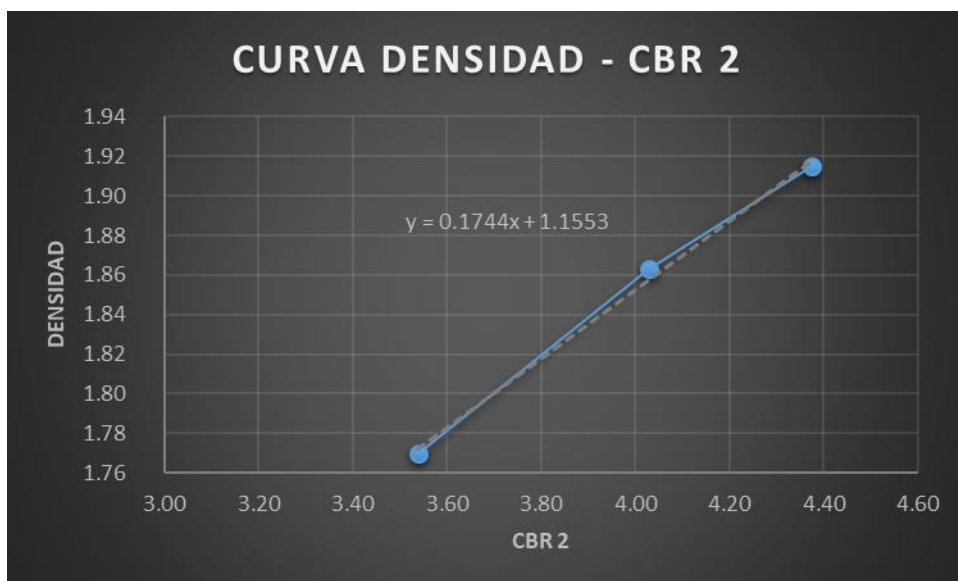
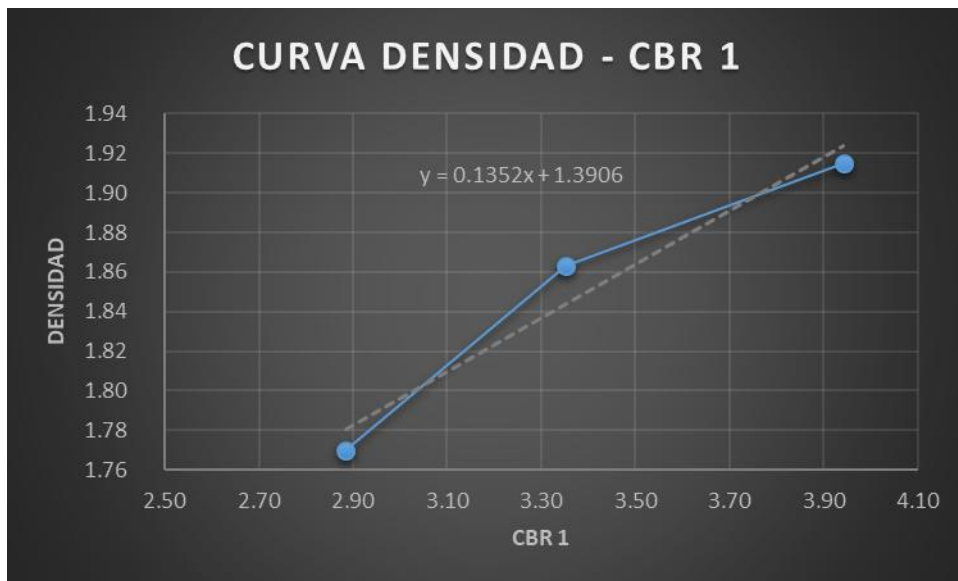
<b>DETERMINACION DE EXPANSIÓN</b>									
<b>Molde N°</b>	<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
	<b>Lectura</b>	<b>Hinchamiento</b>	<b>(%)</b>	<b>Lectura</b>	<b>Hinchamiento</b>	<b>(%)</b>	<b>Lectura</b>	<b>Hinchamiento</b>	<b>(%)</b>
0	4.52	0.00	0.00	4.05	0	0.00	3.73	0	0.00
24	5.32	0.80	0.67	4.71	0.66	0.55	4.18	0.45	0.38
48	6.10	0.78	0.65	5.42	0.71	0.59	4.68	0.5	0.42
36	6.75	0.65	0.54	6.18	0.76	0.63	5.02	0.34	0.28
96	7.32	0.57	0.48	6.86	0.68	0.57	5.44	0.42	0.35

DETERMINACION DE CARGA - PENETRACION							Area del disco	3
Molde N°	1		2		3			
N° de Golpes:	56		25		12			
Penetración	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)		
0.000	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00		
0.025	44.39	14.80	37.20	12.40	25.42	8.47		
0.050	68.11	22.70	51.23	17.08	42.51	14.17		
0.075	99.05	33.02	75.86	25.29	63.11	21.04		
0.100	118.25	39.42	100.59	33.53	86.55	28.85		
0.125	133.09	44.36	120.44	40.15	104.83	34.94		
0.150	162.75	54.25	133.63	44.54	124.99	41.66		
0.200	196.92	65.64	181.28	60.43	159.23	53.08		
0.300	230.45	76.82	210.44	70.15	190.62	63.54		
0.400	276.88	92.29	253.89	84.63	233.45	77.82		
0.500	326.21	108.74	316.45	105.48	286.12	95.37		

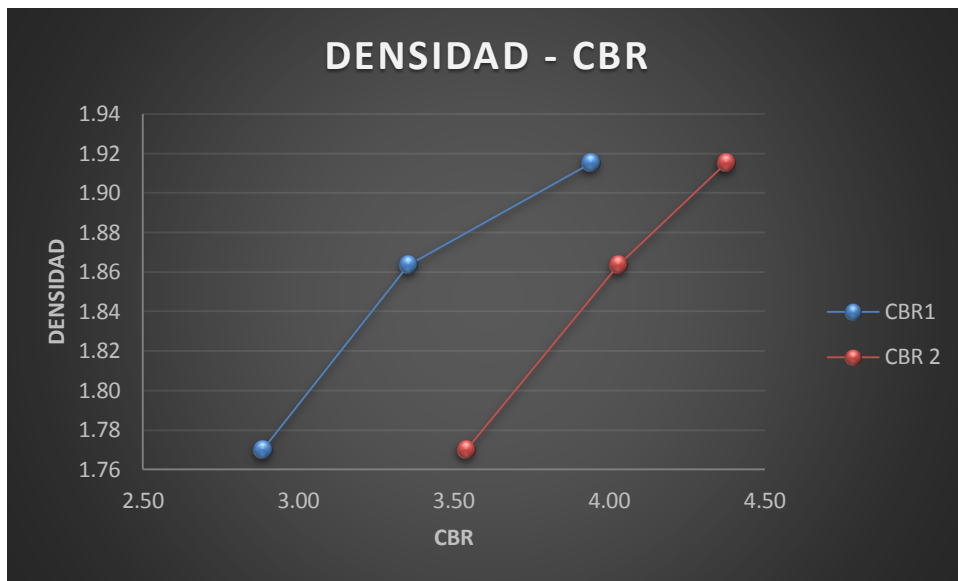




MOLDE	0.1"	0.2"	DENSIDAD (g/cm3)	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)
1	28.85	53.08	1.77	2.89	3.54
2	33.53	60.43	1.86	3.35	4.03
3	39.42	65.64	1.91	3.94	4.38

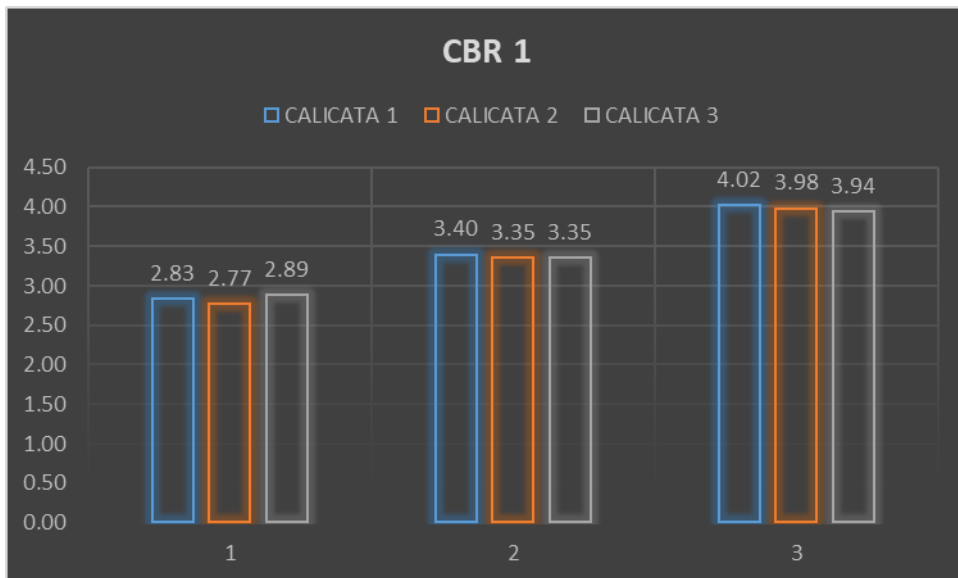
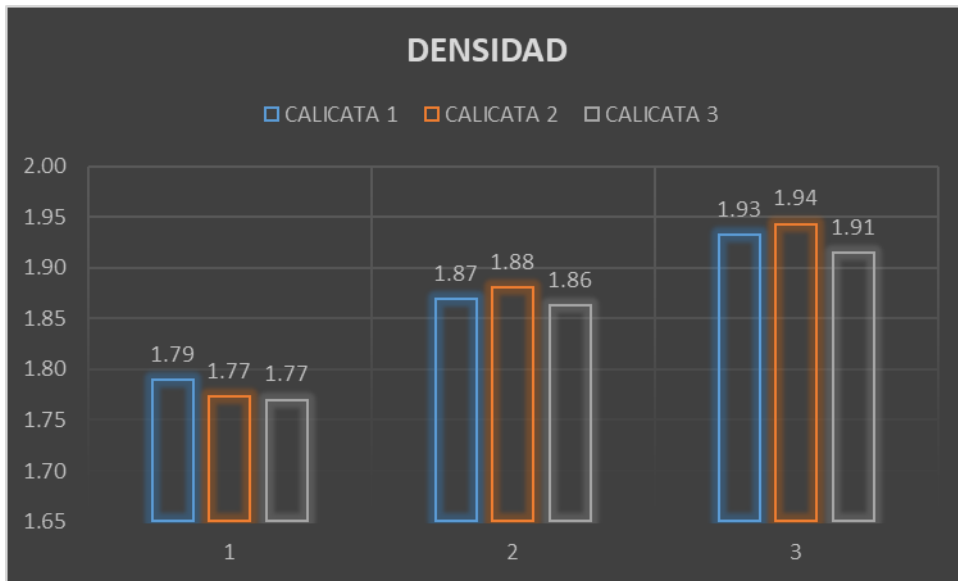


	CBR 1	$y = 0.1352x + 1.3906$					
	CBR 2	$y = 0.1744x + 1.1553$					
			CBR 1	CBR 2	DENSIDAD (g/cm3)	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)
MAXIMO DENSIDAD 100%	1.91		3.84	4.33	1.77	2.89	3.54
95% MAXIMO DENSIDAD	1.81		3.14	3.78	1.86	3.35	4.03
CBR DISEÑO (%)			3.78		1.91	3.94	4.38

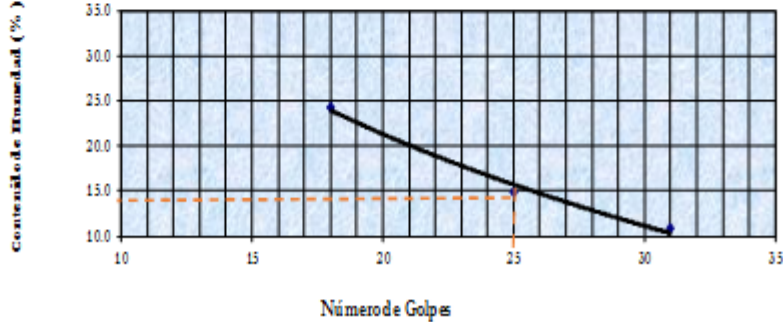


**RESUMEN COMPARATIVO DE CBR EN LAS CALICATAS 1-2-3**

CALICATA 1			CALICATA 2			CALICATA 3			
DENSIDAD (g/cm3)	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)	DENSIDAD (g/cm3)	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)	DENSIDAD (g/cm3)	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)	
1.79	2.83	3.52	1.77	2.77	3.48	1.77	2.89	3.54	
1.87	3.40	4.01	1.88	3.35	3.98	1.86	3.35	4.03	
1.93	4.02	4.39	1.94	3.98	4.36	1.91	3.94	4.38	
	DENSIDAD			CBR 1			CBR 2		
CALICATA 1	1.79	1.87	1.93	2.83	3.40	4.02	3.52	4.01	4.39
CALICATA 2	1.77	1.88	1.94	2.77	3.35	3.98	3.48	3.98	4.36
CALICATA 3	1.77	1.86	1.91	2.89	3.35	3.94	3.54	4.03	4.38



**ANEXO N°6: ENSAYO LÍMITES DE CONSISTENCIA ADICIONADO CON CBCA**

<b>Proyecto:</b> "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE LAREDO - TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018"										
<b>Responsable:</b> Bach. Marco A. Aquino Mendoza										
<b>Ensayo:</b> LÍMITES DE CONSISTENCIA CON ADICIÓN DE CBCA										
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>		Norma: ASTM D 4318								
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		Norma: ASTM D 4319								
<b>Fecha de Muestreo:</b>		La Libertad 13/ 12/ 2019								
<b>Muestreado por:</b>		M.A.A.M								
<b>Chequeado por:</b>		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UPRIT								
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA CON ADICIÓN</b>		Ubicación:			Calicata: C2		Profundidad: 1.50m			
		CBCA			5%					
		<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>			<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>			<b>Límites de Consistencia</b>		
<b>Tira Número</b>	<b>Unidades</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>			
Peso Recipiente + Muestra Húmeda	Gr	10.08	8.79	9.39	10.34	12.65	12.55	<b>Límite Líquido:</b>	LL = 15.69%	
Peso Recipiente + Muestra Seca	Gr	8.57	7.96	8.72	10.24	12.58	12.49	<b>Límite Plástico:</b>	LP = 1.63%	
Peso de la Recipiente	Gr	2.56	2.35	2.53	4.56	8.89	7.89	<b>Índice de Plasticidad:</b>	IP = 14.06%	
Peso de la Muestra Seca	Gr	6.01	5.61	6.19	5.68	3.69	4.60			
Peso del Agua	Gr	1.46	0.83	0.67	0.10	0.07	0.06			
Contenido de Humedad	%	24.29	14.80	10.82	1.76	1.90	1.30			
Número de Golpes		18	25	31	<b>Promedio:</b>		1.65			
		<b>DIGRAMA DE FLUIDEZ</b>								
<b>Calicata:</b>		C2								
<b>CBCA:</b>		5%								
<b>Potencia:</b>		1.50m								
<b>Número de Golpes</b>	<b>Contenido de Humedad (%)</b>									
18	24.29									
25	14.80									
31	10.82									
25	15.688									
										

LIMITES DE CONSISTENCIA CON ADICION		Ubicación :	Calicata C2			Profundidad			1.50 m	
		CBCA			10%					
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO			Límites de Consistencia		
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3			
Peso Recipiente + Muestra Húmeda	Gr	8.66	8.73	9.03	12.24	12.76	12.72	Límite Líquid LL =	10.92%	
Peso Recipiente + Muestra Seca	Gr	7.64	8.09	8.86	12.16	12.69	12.67	Límite Plástico LP =	0.85%	
Peso de la Recipiente	Gr	3.01	2.67	2.96	4.53	4.67	4.65	Índice de Plas IP =	10.07%	
Peso de la Muestra Seca	Gr	4.63	5.42	5.90	7.63	8.02	8.02			
Peso del Agua	Gr	1.02	0.64	0.17	0.08	0.07	0.05			
Contenido de Humedad	%	22.03	11.81	2.88	1.05	0.87	0.62			
Número de Golpes		18	25	31	Promedio :			0.85		

DIGRAMA DE FLUIDEZ	
Calicata :	C2
CBCA	10%
Potencia :	1.50 m
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)
18	22.03
25	11.81
31	2.88
25	10.921

LIMITES DE CONSISTENCIA CON ADICION		Ubicación :	Calicata C2			Profundidad			1.50 m	
		CBCA			15%					
		LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO			Límites de Consistencia		
Tara Número	Unidades	1	2	3	1	2	3			
Peso Recipiente + Muestra Húmeda	Gr	8.63	8.71	9.01	12.22	12.74	12.71	Límite Líquido: LL =	9.77%	
Peso Recipiente + Muestra Seca	Gr	7.61	8.07	8.84	12.14	12.67	12.66	Límite Plástico: LP =	0.85%	
Peso de la Recipiente	Gr	3.00	2.65	2.94	4.52	4.65	4.63	Índice de Plasticidad : IP =	8.92%	
Peso de la Muestra Seca	Gr	4.61	5.42	5.90	7.62	8.02	8.03			
Peso del Agua	Gr	1.02	0.64	0.17	0.08	0.07	0.05			
Contenido de Humedad	%	22.13	11.81	2.88	1.05	0.87	0.62			
Número de Golpes		15	25	31	Promedio :			0.85		

DIAGRAMA DE FLUIDEZ	
Calicata :	C2
CBCA	15%
Potencia :	1.50 m
Número de Golpes	Contenido de Humedad (%)
15	22.13
25	11.81
31	2.88
25	9.771



**ANEXO N°7: ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO CON ADICION DE CBCA**

**PROTOR MODIFICADO DEL SUELO PATRON + 5% DE CBCA**

<b>UPRIT</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
	<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS</b>		
<b>TESIS:</b>	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE LAREDO- TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018"		
<b>TESISTA:</b>	BACH. AQUINO MENDOZA MARCO ANTONIO		
<b>PERFORACIÓN:</b>	1.50 mts.		CALICATA N°

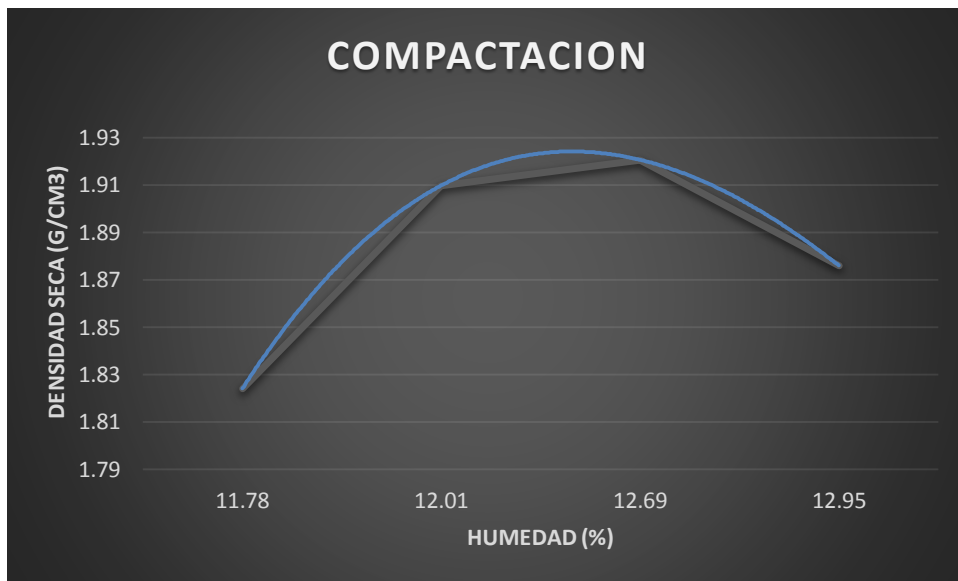
IDENTIFICACION : Calicata 1 + 5% de Ceniza

<b>RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO)</b>			
MOLDE N°	1	2	3
ALTURA DE MOLDE (mm)	120	120	120
N° DE CAPAS	5	5	5
N° DE GOLPES POR CAPAS	12	25	56
DIAMETRO	15.2	15.2	15.2
AREA	181.46	181.46	181.46
VOLUMEN	2177.51	2177.51	2177.51

<b>DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
MUESTRA N°	1	2	3	4
PESO DEL TARRO (g)	57.66	57.92	57.74	57.85
PESO DEL TARRO+MUESTRA HÚMEDA (g)	166.81	166.88	167.22	167.32
PESO DEL TARRO+ MUESTRA SECA (g)	155.31	155.2	154.89	154.77
PESO DEL AGUA (g)	11.5	11.68	12.33	12.55
PESO DEL MATERIAL SECO (g)	97.65	97.28	97.15	96.92
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	11.78	12.01	12.69	12.95

<b>DETERMINACION DE LA DENSIDAD</b>				
CONTENIDO DE HUMEDAD %	11.78	12.01	12.69	12.95
PESO DEL SUELO+MOLDE (g)	10990	11198	11253	11154
PESO DEL MOLDE (g)	6550	6540	6540	6540
PESO DEL SUELO (g)	4440	4658	4713	4614
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm <sup>3</sup> )	2.04	2.14	2.16	2.12
DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )	1.82	1.91	1.92	1.88

DENSIDAD MAXIMA (g/cm <sup>3</sup> )	1.92
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	12.39



**SUELO PATRON + 10% CBCA**

<b>UPRIT</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
	<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS</b>		
<b>TESIS:</b>	<b>"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE LAREDO- TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018"</b>		
<b>TESISTA:</b>	<b>BACH. AQUINO MENDOZA MARCO ANTONIO</b>		
<b>PERFORACIÓN:</b>	<b>1.50 mts.</b>	<b>CALICATA Nº</b>	<b>I</b>

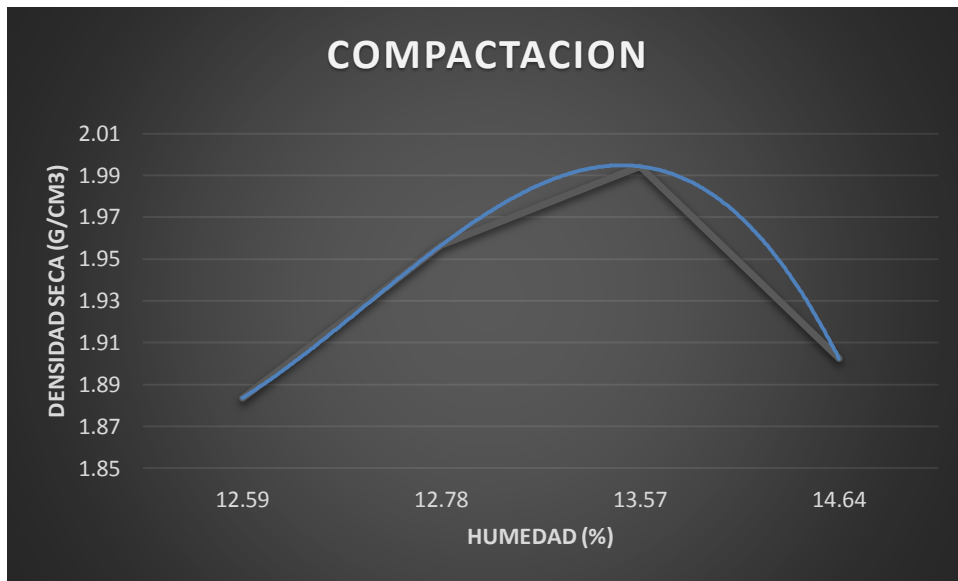
IDENTIFICACION : Calicata 1 + 10% de Ceniza

<b>RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO)</b>			
<b>MOLDE Nº</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
ALTURA DE MOLDE (mm)	120	120	120
Nº DE CAPAS	5	5	5
Nº DE GOLPES POR CAPAS	12	25	56
DIAMETRO	15.2	15.2	15.2
AREA	181.46	181.46	181.46
VOLUMEN	2177.51	2177.51	2177.51

<b>DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
<b>MUESTRA Nº</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
PESO DEL TARRO (g)	57.66	57.92	57.74	57.85
PESO DEL TARRO+MUESTRA HÚMEDA (g)	170.77	170.81	171.89	171.64
PESO DEL TARRO+ MUESTRA SECA (g)	158.12	158.02	158.25	157.11
PESO DEL AGUA (g)	12.65	12.79	13.64	14.53
PESO DEL MATERIAL SECO (g)	100.46	100.1	100.51	99.26
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	12.59	12.78	13.57	14.64

<b>DETERMINACION DE LA DENSIDAD</b>				
CONTENIDO DE HUMEDAD %	12.59	12.78	13.57	14.64
PESO DEL SUELO+MOLDE (g)	11168	11345	11472	11289
PESO DEL MOLDE (g)	6550	6540	6540	6540
PESO DEL SUELO (g)	4618	4805	4932	4749
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm <sup>3</sup> )	2.12	2.21	2.26	2.18
DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )	1.88	1.96	1.99	1.90

DENSIDAD MAXIMA (g/cm <sup>3</sup> )	2.00
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	13.34



**SUELO PATRON + 15% CBCA**

<b>UPRIT</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
	<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS</b>		
<b>TESIS:</b>	<b>"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE LAREDO- TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018"</b>		
<b>TESISTA:</b>	<b>BACH. AQUINO MENDOZA MARCO ANTONIO</b>		
<b>PERFORACIÓN:</b>	1.50 mts.	<b>CALICATA Nº</b>	<b>I</b>

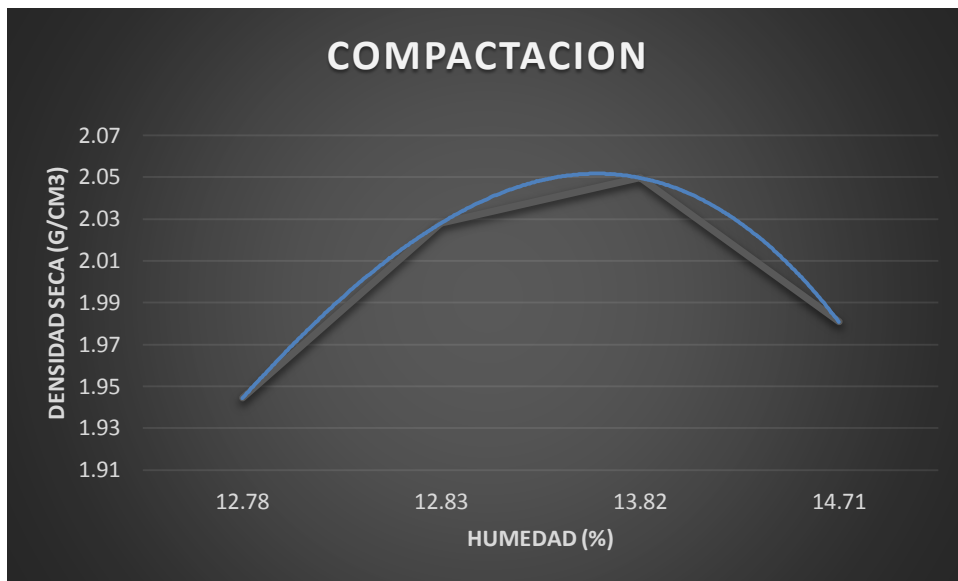
IDENTIFICACION : Calicata 1 + 15% de Ceniza

<b>RELACION DENSIDAD - HUMEDAD (PROCTOR MODIFICADO)</b>			
<b>MOLDE Nº</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
ALTURA DE MOLDE (mm)	120	120	120
Nº DE CAPAS	5	5	5
Nº DE GOLPES POR CAPAS	12	25	56
DIAMETRO	15.2	15.2	15.2
AREA	181.46	181.46	181.46
VOLUMEN	2177.51	2177.51	2177.51

<b>DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
<b>MUESTRA Nº</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
PESO DEL TARRO (g)	57.66	57.92	57.74	57.85
PESO DEL TARRO+MUESTRA HÚMEDA (g)	174.65	174.85	175.75	175.66
PESO DEL TARRO+ MUESTRA SECA (g)	161.39	161.55	161.42	160.55
PESO DEL AGUA (g)	13.26	13.3	14.33	15.11
PESO DEL MATERIAL SECO (g)	103.73	103.63	103.68	102.7
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	12.78	12.83	13.82	14.71

<b>DETERMINACION DE LA DENSIDAD</b>				
CONTENIDO DE HUMEDAD %	12.78	12.83	13.82	14.71
PESO DEL SUELO+MOLDE (g)	11325	11523	11620	11488
PESO DEL MOLDE (g)	6550	6540	6540	6540
PESO DEL SUELO (g)	4775	4983	5080	4948
DENSIDAD HÚMEDA (g/cm <sup>3</sup> )	2.19	2.29	2.33	2.27
DENSIDAD SECA (g/cm <sup>3</sup> )	1.94	2.03	2.05	1.98

DENSIDAD MAXIMA (g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.05</b>
HUMEDAD ÓPTIMA (%)	<b>13.67</b>



**ANEXO N°8: ENSAYO DE CBR CON ADICION DE CBCA**
**CBR del Suelo Patrón + 5% de CBCA**

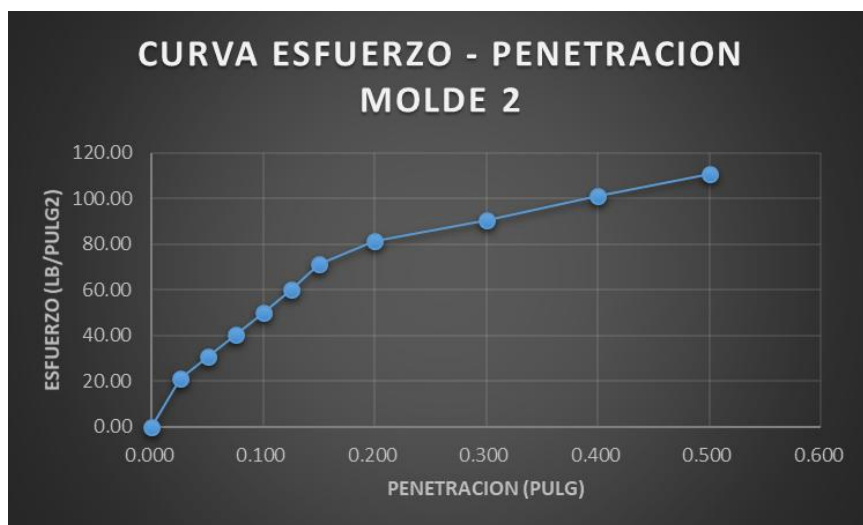
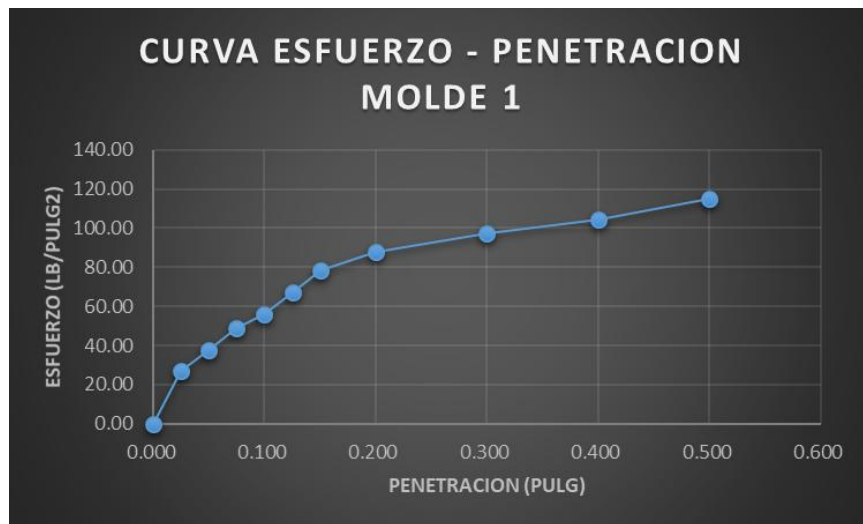
<b>UPRIT</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>
	<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS</b>
<b>TESIS:</b>	<b>"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE LAREDO- TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018"</b>
<b>TESISTA:</b>	<b>BACH. AQUINO MENDOZA MARCO ANTONIO</b>
<b>PERFORACIÓN:</b>	<b>1.50 mts.</b>

IDENTIFICACION : Calicata 1 + 5% de Ceniza						
DETERMINACION DE LA DENSIDAD						
MOLDE N°	1		2		3	
ALTURA DE MOLDE (mm)	120		120		120	
Nº DE CAPAS	5		5		5	
Nº DE GOLPES POR CAPAS	12		25		56	
DIAMETRO	15.2		15.2		15.2	
AREA	181.46		181.46		181.46	
VOLUMEN	2177.51		2177.51		2177.51	
CONDICION DE MUESTRA	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR
Peso de muestra húmeda + molde (g)	11345.00	11418.00	12041.00	12124.00	13136.00	13201.00
Peso de molde (g)	6766.00	6766.00	7258.00	7258.00	8105.00	8105.00
Peso de muestra húmeda (g)	4579.00	4652.00	4783.00	4866.00	5031.00	5096.00
Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.10	2.14	2.20	2.23	2.31	2.34
Densidad Húmeda Promedio (g/cm <sup>3</sup> )	2.12		2.22		2.33	

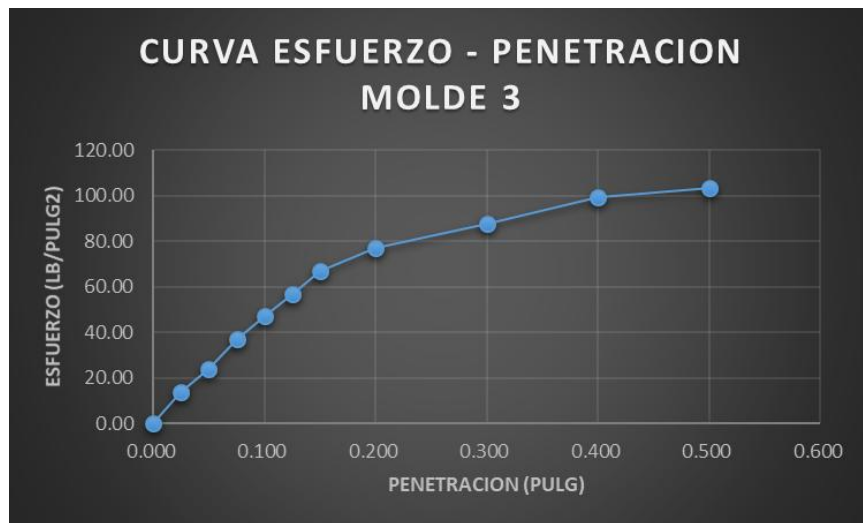
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD			
Tara N°	1	2	3
Peso de tara + Suelo húmedo (g)	151.54	157.28	141.01
Suelo Seco + Tara (g)	136.00	140.12	124.48
Peso Agua (g)	15.54	17.16	16.53
Peso Tara (g)	36.01	36.03	36.01
Peso Suelo Seco (g)	99.99	104.09	88.47
Contenido de Humedad (%)	15.54	16.49	18.68
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.82	1.89	1.95

DETERMINACION DE EXPANSIÓN									
Molde N°	1			2			3		
	Lectura	Hinchamiento	(%)	Lectura	Hinchamiento	(%)	Lectura	Hinchamiento	(%)
0	5.88	0.00	0.00	5.22	0	0.00	4.5	0	0.00
24	6.68	0.80	0.67	5.85	0.63	0.53	5.04	0.54	0.45
48	7.48	0.80	0.67	6.45	0.6	0.50	5.61	0.57	0.48
36	8.02	0.54	0.45	7.12	0.67	0.56	6.01	0.4	0.33
96	8.45	0.43	0.36	7.88	0.76	0.63	6.55	0.54	0.45

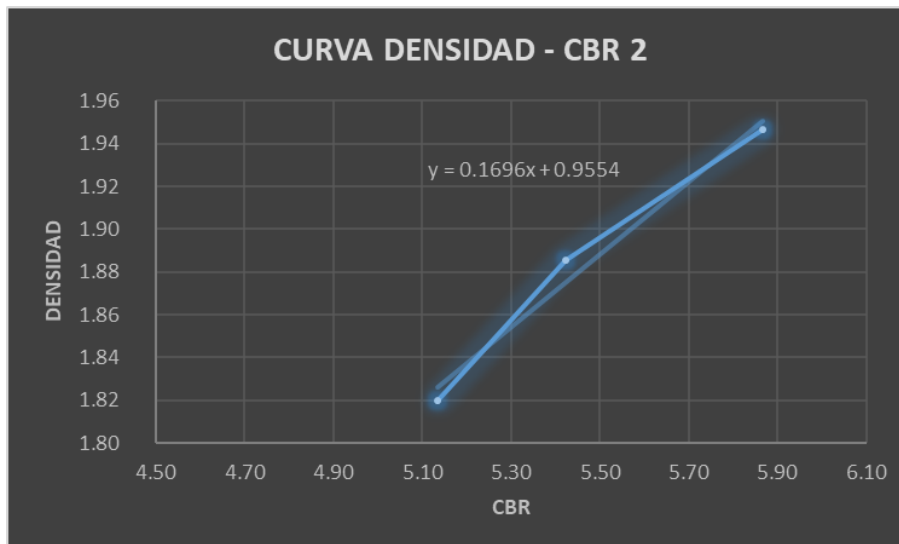
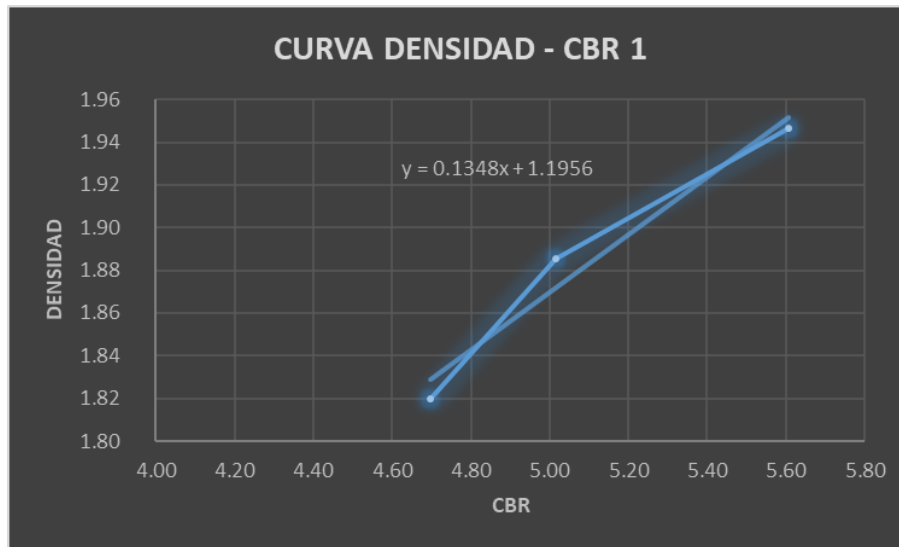
DETERMINACION DE CARGA - PENETRACION							Area del disco	3
Molde N°	1		2		3			
N° de Golpes	56		25		12			
Penetración (pulg)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)		
0.000	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00		
0.025	80.48	26.83	63.45	21.15	40.72	13.57		
0.050	112.92	37.64	91.58	30.53	71.85	23.95		
0.075	146.01	48.67	120.84	40.28	110.45	36.82		
0.100	168.20	56.07	150.46	50.15	140.94	46.98		
0.125	201.84	67.28	180.73	60.24	170.47	56.82		
0.150	234.61	78.20	213.04	71.01	200.65	66.88		
0.200	264.08	88.03	244.08	81.36	231.04	77.01		
0.300	291.21	97.07	271.91	90.64	263.77	87.92		
0.400	312.62	104.21	302.71	100.90	298.11	99.37		
0.500	344.33	114.78	331.81	110.60	310.75	103.58		







MOLDE	0.1"	0.2"	DENSIDAD (g/cm3)	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)
1	46.98	77.01	1.82	4.70	5.13
2	50.15	81.36	1.89	5.02	5.42
3	56.07	88.03	1.95	5.61	5.87



	CBR 1	$y = 0.1348x + 1.1956$		
	CBR 2	$y = 0.1696x + 0.9554$		
			CBR 1	CBR 2
MAXIMO DENSIDAD 100%	1.92		4.28	5.70
95% MAXIMO DENSIDAD	1.83		3.72	5.13
CBR DISEÑO (%)			5.13	

DENSIDAD (g/cm³)	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)
1.82	4.70	5.13
1.89	5.02	5.42
1.95	5.61	5.87



**CBR del Suelo Patrón + 10% de CBCA**

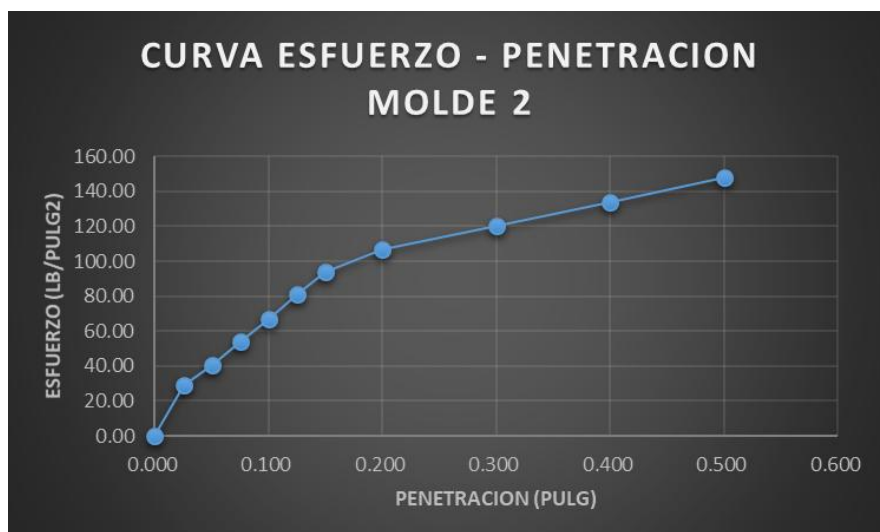
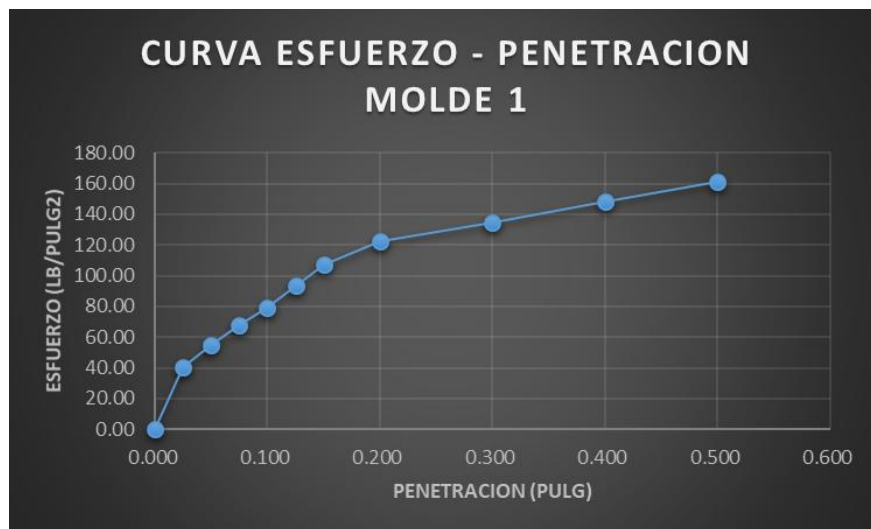
<b>UPRIT</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>
	<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS</b>
<b>TESIS:</b>	<b>"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE LAREDO- TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018"</b>
<b>TESISTA:</b>	<b>BACH. AQUINO MENDOZA MARCO ANTONIO</b>
<b>PERFORACIÓN:</b>	<b>1.50 mts.</b>

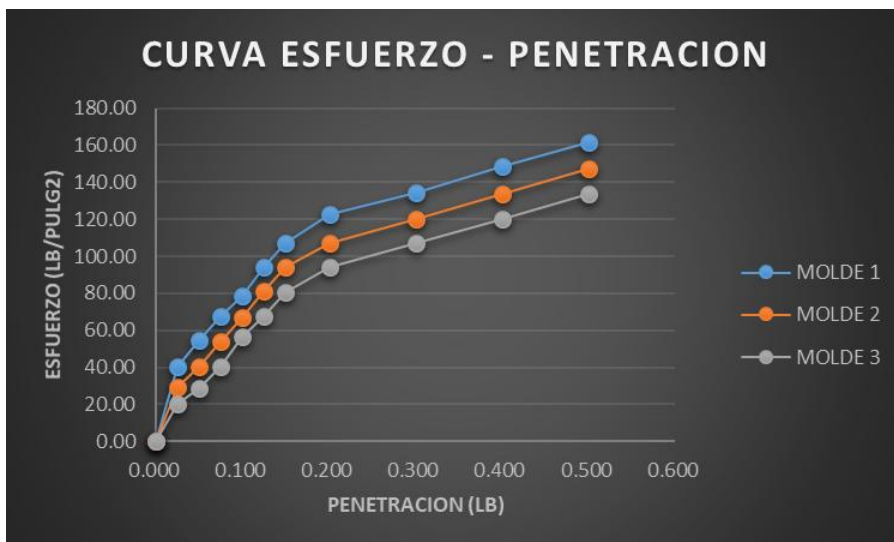
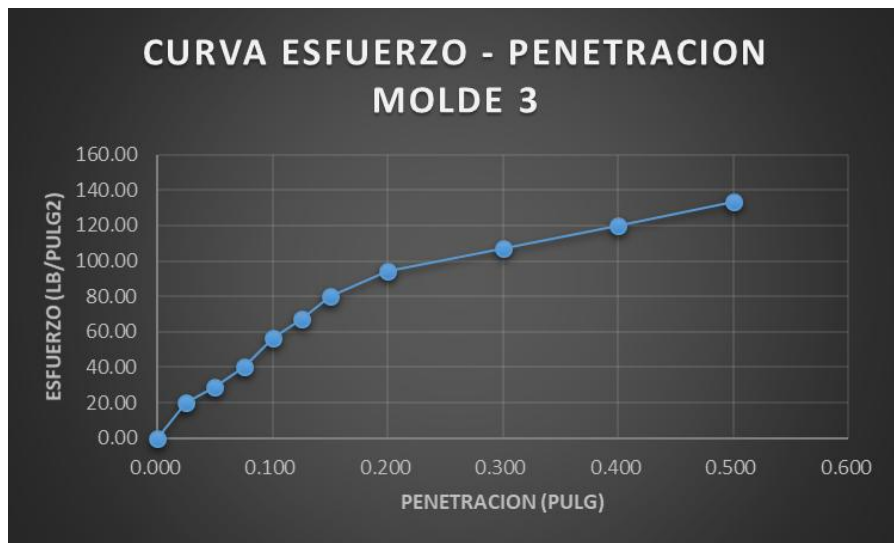
<b>DETERMINACION DE LA DENSIDAD</b>						
<b>MOLDE N°</b>	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	
ALTURA DE MOLDE (mm)	120		120		120	
N° DE CAPAS	5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPAS	12		25		56	
DIAMETRO	15.2		15.2		15.2	
AREA	181.46		181.46		181.46	
VOLUMEN	2177.51		2177.51		2177.51	
CONDICION DE MUESTRA	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR
Peso de muestra húmeda + molde (g)	11321.00	11486.00	12068.00	12155.00	13128.00	13255.00
Peso de molde (g)	6766.00	6766.00	7258.00	7258.00	8105.00	8105.00
Peso de muestra húmeda (g)	4555.00	4720.00	4810.00	4897.00	5023.00	5150.00
Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.09	2.17	2.21	2.25	2.31	2.37
Densidad Húmeda Promedio (g/cm <sup>3</sup> )	2.13		2.23		2.34	

<b>DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>			
<b>Tara N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de tara + Suelo húmedo (g)	155.31	161.57	145.44
Suelo Seco + Tara (g)	140.11	145.22	130.88
Peso Agua (g)	15.20	16.35	14.56
Peso Tara (g)	36.01	36.03	36.01
Peso Suelo Seco (g)	104.10	109.19	94.87
Contenido de Humedad (%)	14.60	14.97	15.35
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.83	1.92	2.00

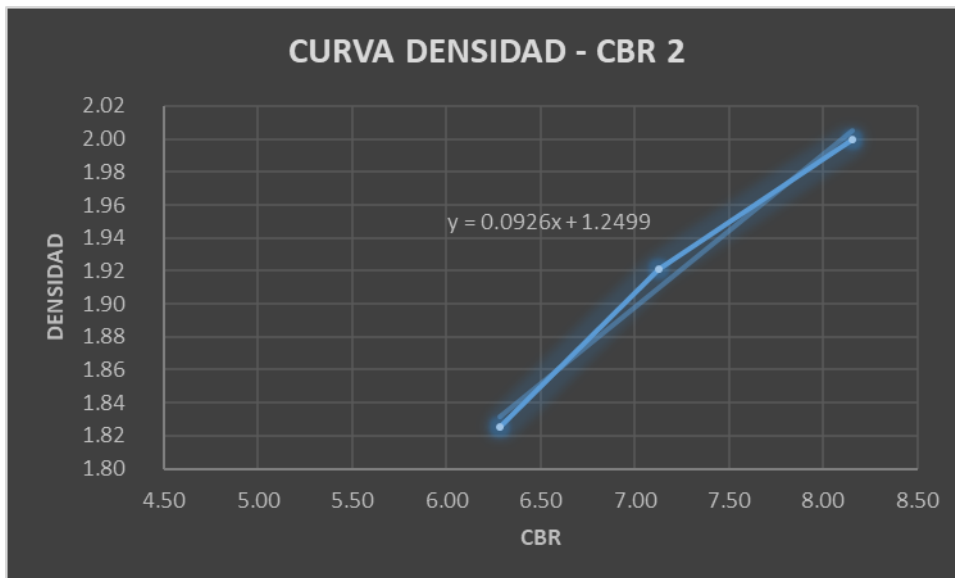
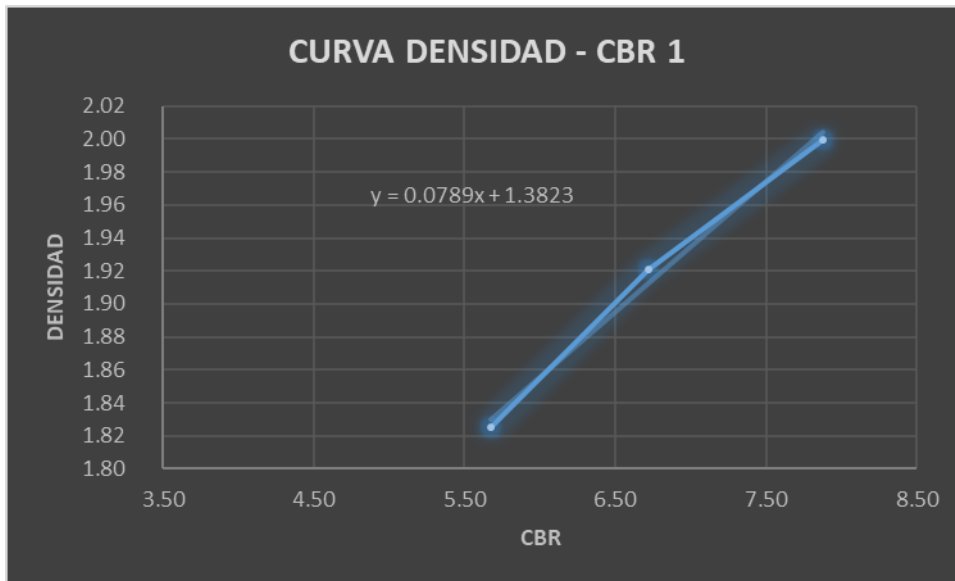
<b>DETERMINACION DE EXPANSIÓN</b>									
<b>Molde N°</b>	<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
	<b>Lectura</b>	<b>Hinchamiento</b>	<b>(%)</b>	<b>Lectura</b>	<b>Hinchamiento</b>	<b>(%)</b>	<b>Lectura</b>	<b>Hinchamiento</b>	<b>(%)</b>
0	6.33	0.00	0.00	5.65	0	0.00	5.1	0	0.00
24	7.11	0.78	0.65	6.12	0.47	0.39	5.67	0.57	0.48
48	7.89	0.78	0.65	6.88	0.76	0.63	6.12	0.45	0.38
36	8.44	0.55	0.46	7.55	0.67	0.56	6.68	0.56	0.47
96	8.94	0.50	0.42	8.24	0.69	0.58	7.11	0.43	0.36

DETERMINACION DE CARGA - PENETRACION						Area del disco	3
Molde N°	1		2		3		
N° de Golpes	56		25		12		
Penetración (	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	
0.000	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00	
0.025	121.48	40.49	88.21	29.40	60.58	20.19	
0.050	164.58	54.86	121.45	40.48	85.45	28.48	
0.075	202.85	67.62	162.48	54.16	120.45	40.15	
0.100	236.42	78.81	201.57	67.19	170.23	56.74	
0.125	281.89	93.96	243.55	81.18	201.89	67.30	
0.150	321.99	107.33	281.47	93.82	240.78	80.26	
0.200	367.01	122.34	320.69	106.90	282.75	94.25	
0.300	402.89	134.30	360.41	120.14	320.48	106.83	
0.400	445.72	148.57	401.58	133.86	360.45	120.15	
0.500	483.91	161.30	442.77	147.59	400.89	133.63	





MOLDE	0.1"	0.2"	DENSIDAD (g/cm3)	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)
1	56.74	94.25	1.83	5.67	6.28
2	67.19	106.90	1.92	6.72	7.13
3	78.81	122.34	2.00	7.88	8.16



	CBR 1	$y = 0.0789x + 1.3823$		
	CBR 2	$y = 0.0926x + 1.2499$		
			CBR 1	CBR 2
MAXIMO DENSIDAD 100%		2.00	7.83	8.10
95% MAXIMO DENSIDAD		1.90	6.56	6.29
CBR DISEÑO (%)			6.56	

DENSIDAD (g/cm3)	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)
1.83	5.67	6.28
1.92	6.72	7.13
2.00	7.88	8.16





**CBR del Suelo Patrón + 15% de CBCA**

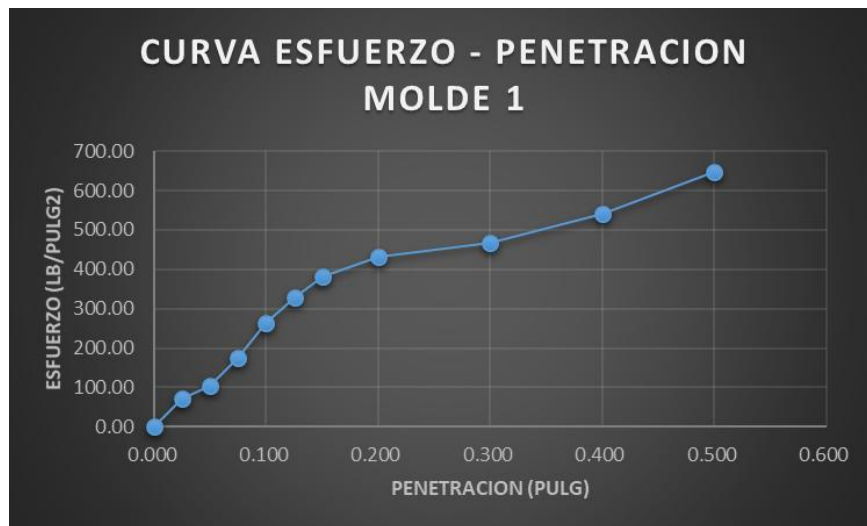
<b>UPRIT</b>	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>
	<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS</b>
<b>TESIS:</b>	<b>"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO EN SUBRASANTES EN EL DISTRITO DE LAREDO- TRUJILLO, LA LIBERTAD 2018"</b>
<b>TESISTA:</b>	<b>BACH. AQUINO MENDOZA MARCO ANTONIO</b>
<b>PERFORACIÓN:</b>	<b>1.50 mts.</b>

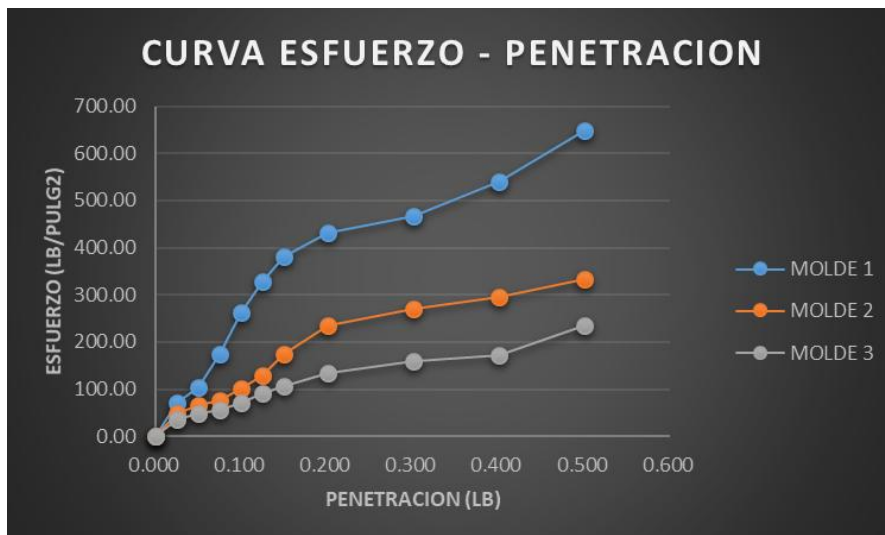
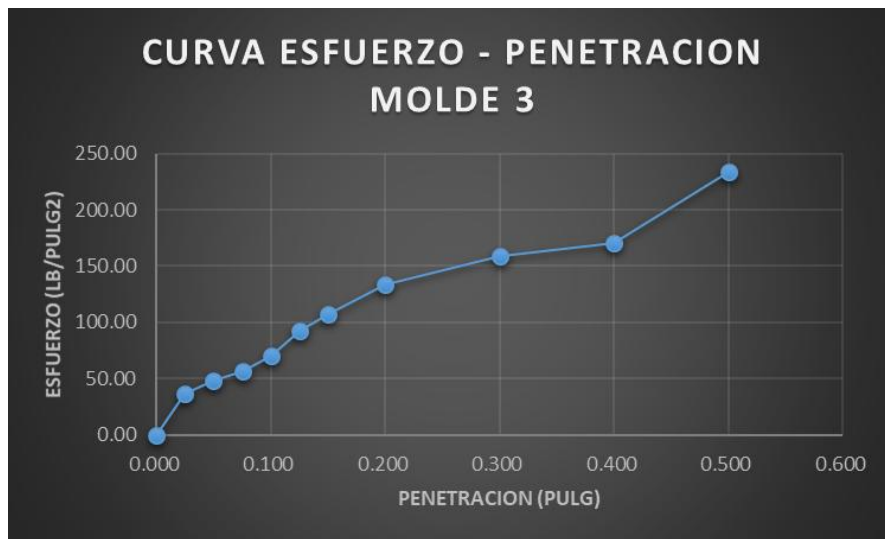
<b>DETERMINACION DE LA DENSIDAD</b>						
<b>MOLDE N°</b>	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>	
ALTURA DE MOLDE (mm)	120		120		120	
N° DE CAPAS	5		5		5	
N° DE GOLPES POR CAPAS	12		25		56	
DIAMETRO	15.2		15.2		15.2	
AREA	181.46		181.46		181.46	
VOLUMEN	2177.51		2177.51		2177.51	
CONDICION DE MUESTRA	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR	ANTES DE EMPACAR	DESPUES DE EMPACAR
Peso de muestra húmeda + molde (g)	11345.00	11521.00	12062.00	12201.00	13145.00	13285.00
Peso de molde (g)	6766.00	6766.00	7258.00	7258.00	8105.00	8105.00
Peso de muestra húmeda (g)	4579.00	4755.00	4804.00	4943.00	5040.00	5180.00
Volumen de la muestra (cm <sup>3</sup> )	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51	2177.51
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	2.10	2.18	2.21	2.27	2.31	2.38
Densidad Húmeda Promedio (g/cm <sup>3</sup> )	2.14		2.24		2.35	

<b>DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD</b>			
<b>Tara N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso de tara + Suelo húmedo (g)	159.28	165.49	149.57
Suelo Seco + Tara (g)	145.27	150.34	135.74
Peso Agua (g)	14.01	15.15	13.83
Peso Tara (g)	36.01	36.03	36.01
Peso Suelo Seco (g)	109.26	114.31	99.73
Contenido de Humedad (%)	12.82	13.25	13.87
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.86	1.95	2.03

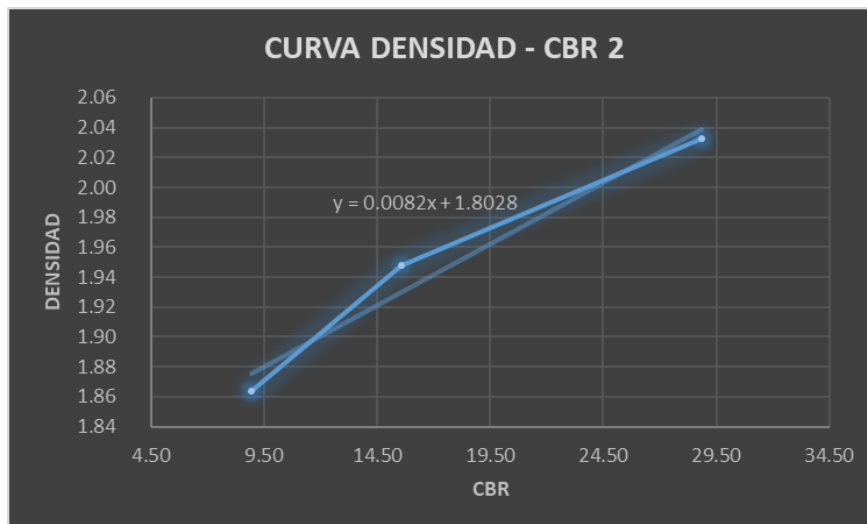
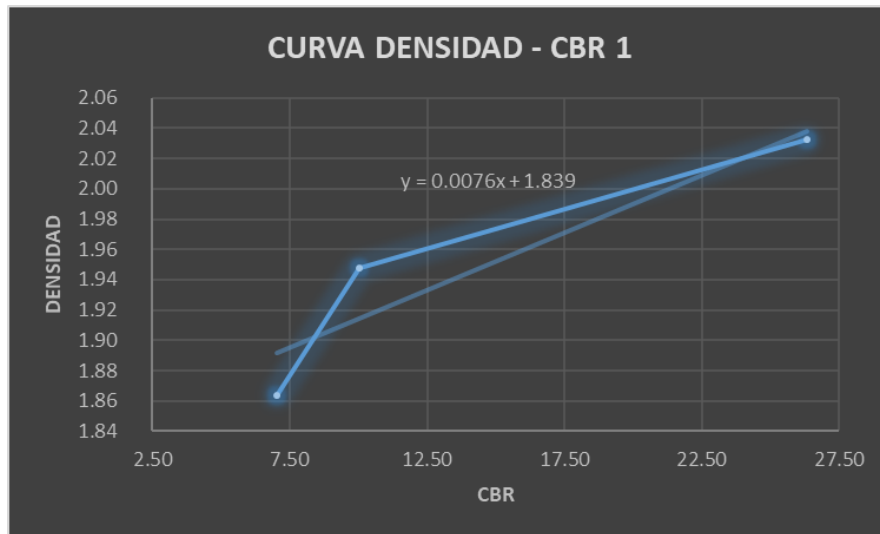
<b>DETERMINACION DE EXPANSIÓN</b>									
<b>Molde N°</b>	<b>1</b>			<b>2</b>			<b>3</b>		
	<b>Lectura</b>	<b>Hinchamiento</b>	<b>(%)</b>	<b>Lectura</b>	<b>Hinchamiento</b>	<b>(%)</b>	<b>Lectura</b>	<b>Hinchamiento</b>	<b>(%)</b>
0	6.78	0.00	0.00	6.01	0	0.00	5.56	0	0.00
24	7.54	0.76	0.63	6.64	0.63	0.53	6.05	0.49	0.41
48	8.14	0.60	0.50	7.22	0.58	0.48	6.66	0.61	0.51
36	8.78	0.64	0.53	7.85	0.63	0.53	7.11	0.45	0.38
96	9.31	0.53	0.44	8.49	0.64	0.53	7.55	0.44	0.37

DETERMINACION DE CARGA - PENETRACION							Area del disco	3
Molde Nº	1		2		3			
Nº de Golpes	56		25		12			
Penetración (pulg)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)	Carga (lb)	Esfuerzo (lb/pulg2)		
0.000	0.00	0.00	0	0.00	0	0.00		
0.025	210.25	70.08	142.56	47.52	110.21	36.74		
0.050	311.89	103.96	198.21	66.07	144.78	48.26		
0.075	523.48	174.49	231.02	77.01	168.54	56.18		
0.100	789.23	263.08	300.45	100.15	210.56	70.19		
0.125	985.21	328.40	384.12	128.04	277.52	92.51		
0.150	1145.69	381.90	521.56	173.85	321.45	107.15		
0.200	1298.12	432.71	701.54	233.85	401.21	133.74		
0.300	1398.21	466.07	811.89	270.63	477.56	159.19		
0.400	1620.23	540.08	887.25	295.75	512.75	170.92		
0.500	1945.24	648.41	999.32	333.11	701.23	233.74		





MOLDE	0.1"	0.2"	DENSIDAD(g/cm3)	CBR 1 (%)	CBR 2(%)
1	70.19	133.74	1.86	7.02	8.92
2	100.15	233.85	1.95	10.02	15.59
3	263.08	432.71	2.03	26.31	28.85



	CBR 1	$y = 0.0076x + 1.839$		
	CBR 2	$y = 0.0082x + 1.8028$		
			CBR 1	CBR 2
MAXIMO DENSIDAD 100%	2.05		27.76	30.15
95% MAXIMO DENSIDAD	1.95		14.28	17.65
CBR DISEÑO (%)			17.65	

DENSIDAD (g/cm³)	CBR 1 (%)	CBR 2 (%)
1.86	7.02	8.92
1.95	10.02	15.59
2.03	26.31	28.85



**ANEXO N° 9: RESUMEN DE ENSAYO CBR DEL SUELO PATRON +% DE CBCA**

	0% CENIZA	5% CENIZA	10% CENIZA	15% CENIZA
CBR DISEÑO	3.62	5.13	6.56	17.65

