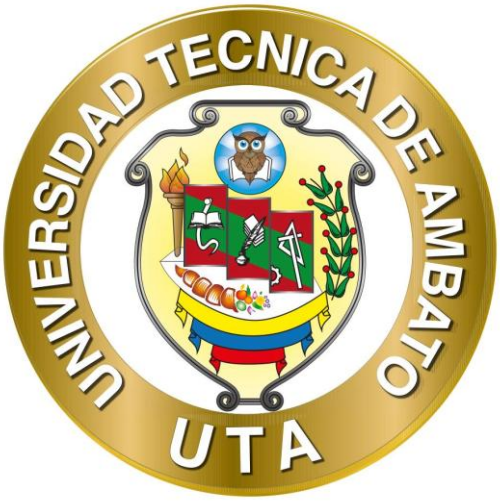


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

Estudio de las propiedades físico-mecánicas del suelo con la adición de ceniza de vaina de haba como material estabilizador.

Trabajo de titulación modalidad trabajo experimental presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

AUTOR: Christopher Daniel Carrasco Carrasco

TUTOR: Ing. Gissela Vannesa López Arboleda, M.Sc

Ambato – Ecuador
Junio - 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR"**, elaborado por el estudiante Christopher Daniel Carrasco Carrasco, portador de la cédula de ciudadanía número 1850797760, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, junio 2026

.....
Ing. Gissela Vannesa López Arboleda, M.Sc
C.C. 1803266830
TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Christopher Daniel Carrasco Carrasco** , con C.C. 1850797760 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR",** así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, junio 2026



.....

Carrasco Carrasco Christopher Daniel
C.C. 1850797760
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, junio 2026



.....

Carrasco Carrasco Christopher Daniel
C.C. 1850797760
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante **Christopher Daniel Carrasco Carrasco**, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema:

"ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR"

Ambato, junio 2026

Para constancia firma:

Ing. Milton Rodrigo Aldás Sánchez,Ph.D.
C.C. 1801628155
MIEMBRO CALIFICADOR

Ing. Jorge Javier Guevara Robalino,Ph.D.
C.C. 1803250503
MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía, mi fortaleza en los momentos de cansancio y por bendecirme con la vida y la sabiduría necesaria para culminar esta etapa.

A mis padres, Nely y Román, quienes han sido el pilar fundamental de mi vida. Gracias, mamá, por tu ejemplo de esfuerzo, dedicación y por enseñarme a no rendirme jamás. Gracias, papá, por tu amor incondicional y tu apoyo tierno y constante. Este logro es, ante todo, el resultado de su sacrificio y amor.

A mis hermanos, Alejandro y Joselyn, por su compañía, su alegría y por ser un motivo constante de inspiración. Gracias por estar siempre a mi lado y compartir conmigo cada paso de este camino.

Con todo mi amor y gratitud, les dedico este trabajo.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme bendecido con la vida, la salud y la fuerza necesaria para superar cada reto y ver culminada esta meta tan importante. Gracias por ser mi guía espiritual, por darme paciencia en los momentos difíciles y por renovar mis energías a lo largo de toda la carrera.

A mi madre, Nely, por ser mi mayor ejemplo a seguir. Gracias por enseñarme el verdadero significado de la fortaleza, por inculcarme a no rendirme jamás ante las adversidades y por moldear la persona que soy hoy. Tu guía ha sido mi luz y tu apoyo incondicional el motor que me impulsó a llegar hasta aquí.

A mi padre, Roman, por su valiosa compañía y su amor incondicional. Gracias por estar a mi lado en todo momento, por ser ese apoyo seguro con el que sé que puedo contar en cualquier ocasión y circunstancia de la vida. Tu presencia constante me dio la tranquilidad necesaria para alcanzar este sueño.

A mis hermanos, Alejandro y Joselyn, por su respaldo silencioso pero constante, por su paciencia y por hacer del hogar un refugio seguro durante los días de mayor presión académica. Gracias por su comprensión y por estar siempre conmigo.

A mis amigos, por su excelente compañía, por las risas compartidas y por el apoyo mutuo en esta etapa universitaria. Gracias por estar ahí, por escucharme en los momentos de estrés y por hacer de este camino una experiencia inolvidable que siempre recordaré con mucho cariño.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA i
APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE DE FIGURAS x
ÍNDICE DE TABLAS xii
ÍNDICE DE ANEXOS xiv
RESUMEN EJECUTIVO xvi
ABSTRACT xvii
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1
I. JUSTIFICACIÓN 1
II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 2
III. OBJETIVOS 6
A. OBJETIVO GENERAL 6
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 7
I. EQUIPOS Y MATERIALES 7
FASE 1 7
FASE 2 8
FASE 3 13
II. MÉTODOS 13
FASE 1 13
1) Localización y recolección de las muestras de suelo 14
2) Ceniza de vaina de haba 18
FASE 2 21
1) Fluorescencia de rayos X de la ceniza de la vaina de haba 21
2) Ensayos de laboratorio 22
3) Clasificación del suelo 33

FASE 3 39
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 40
I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 40
FASE 1 40
1) Localización de las muestras de suelo 40
3) Ceniza de vaina de haba 40
4) Propiedades físicas y clasificación del suelo natural 43
FASE 2 48
1) Resultados de las Mezclas de Suelo con Adición de CVH 48
FASE 3 51
1) Análisis comparativo de resultados con la adición de CVH 51
2) Determinación del porcentaje óptimo 56
II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 59
A. HIPÓTESIS 59
B. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 59
1) Evaluación del comportamiento de la Capacidad Portante (CBR) 59
2) Evaluación del comportamiento de la Plasticidad (IP) 60
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 62
I. CONCLUSIONES 62
II. RECOMENDACIONES 64
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 65
ANEXOS 68

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Ubicación de la muestra 1 a nivel nacional, provincial y cantonal. 14
Fig. 2 Ubicación del punto de muestreo (M1) en la parroquia San Antonio de Pasa. 15
Fig. 3 Perfil estratigráfico y detalles geométricos de la calicata para la Muestra 1 (M1) en el sector de Pasa. 16
Fig. 4 Ubicación de la muestra 2 a nivel nacional, provincial y cantonal. 16
Fig. 5 Ubicación del punto de muestreo (M2) en la parroquia TNTE. Hugo Ortiz..... 17
Fig. 6 Perfil estratigráfico y detalles geométricos de la calicata para la Muestra 2 (M2) en la Vía al Tena. 18
Fig. 7 Secado de la vaina de haba..... 19
Fig. 8 Horno para incineración de vaina de haba 20
Fig. 9 Registro de temperatura por pirómetro 20
Fig. 10 Muestra de suelo más porcentaje de ceniza 22
Fig. 11 Copa de Casagrande 26
Fig. 12 Ensayo Proctor Modificado..... 28
Fig. 13 Curva de Compactación 30
Fig. 14 Equipo utilizado para el ensayo de CBR..... 30
Fig. 15 Inmersión de muestras de suelo en el tanque para el ensayo CBR 31
Fig. 16 Máquina ensayo de CBR..... 32
Fig. 17 Gráfica Esfuerzo vs Penetración 32
Fig. 18 Cartas de plasticidad según la AASHTO[15]..... 35
Fig. 19 Carta de plasticidad SUCS[15] 39
Fig. 20 Muestras de suelo en la carta de plasticidad SUCS 47
Fig. 21 Muestras de suelo en la carta de plasticidad AASHTO..... 47
Fig. 22 Límites de Atterberg del suelo M1 con la adición de CVH 52
Fig. 23 Límites de Atterberg del suelo M2 con la adición de CVH 53
Fig. 24 Resultados del Proctor Modificado de la M1 con la adición de CVH 54
Fig. 25 Resultados del Proctor Modificado de la M2 con la adición de CVH 55
Fig. 26 Relación óptima de la muestra M1 con la adición de CVH 57
Fig. 27 Relación óptima de la muestra M2 con la adición de CVH 58
Fig. 28 Análisis estadístico del Incremento de Resistencia (ΔIR) con la adición de CVH. 60

Fig. 29 Análisis estadístico de la Reducción de la Plasticidad (ΔRP) con la adición de CVH. 61

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I: INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA CONTENIDO DE HUMEDAD 8
TABLA II: INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA EL ENSAYO GRANULOMÉTRICO 9
TABLA III: INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA LÍMITES DE ATTERBERG9
TABLA IV: INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA EL ENSAYO DE PROCTOR 11
TABLA V: INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA CBR 12
TABLA VI: NORMATIVA PARA ENSAYOS DE LABORATORIO 22
TABLA VII: CLASIFICACIÓN DEL SUELO DE ACUERDO CON EL VALOR DEL CBR[15] 33
TABLA VIII: SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO PARA MATERIALES GRANULARES[15] 34
TABLA IX: CLASIFICACIÓN DE LA AASHTO PARA MATERIALES LIMO-ARCILLA[15] 34
TABLA X: SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS PARA GRUPO DE SUELO TIPO GRAVA[15] 36
TABLA XI: SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS PARA GRUPO DE SUELO TIPO ARENA[15] 37
TABLA XII: SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS PARA GRUPO DE SUELO TIPO LIMO Y ARCILLA[15] 38
TABLA XIII: COORDENADAS DE UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS DEL ESTUDIO 40
TABLA XIV: CONTROL DE SECADO DE VAINA DE HABA 40
TABLA XV: CONTROL DE INCINERACIÓN DE VAINA DE HABA 41
TABLA XVI: PORCENTAJE DE ELEMENTOS DE LA CVH 42
TABLA XVII: CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS MUESTRAS DE SUELO EN ESTADO NATURAL 43
TABLA XVIII: PORCENTAJE QUE PASA POR EL TAMIZ #10, #40 Y #200 44
TABLA XIX: PORCENTAJE DE GRAVA, ARENA, LIMO Y ARCILLA 45
TABLA XX :LÍMITES DE ATTERBERG 45
TABLA XXI: CLASIFICACIÓN DE SUELOS 46

TABLA XXII: LÍMITES DE ATTERBERG CON ADICIÓN DE CVH 49
TABLA XXIII: PROCTOR MODIFICADO CON LA ADICIÓN DE CVH 50
TABLA XXIV: CBR CON LA ADICIÓN DE CVH 51
TABLA XXV: RESULTADOS DE CBR Y SU CLASIFICACIÓN 56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Bitácora de proceso de secado lote 1 68
Anexo 2: Bitácora de proceso de secado lote 2 69
Anexo 3:Bitácora de proceso de secado lote 3 70
Anexo 4:Bitácora de proceso de secado lote 4 71
Anexo 5:Bitácora proceso de ceniza lote 1 72
Anexo 6:Bitácora proceso de ceniza lote 2 73
Anexo 7:Bitácora proceso de ceniza lote 3 74
Anexo 8:Bitácora proceso de ceniza lote 4 75
Anexo 9:Ensayo de contenido de humedad natural M1 76
Anexo 10:Ensayo granulométrico M1 77
Anexo 11:Ensayo Límites de Atterberg M1 78
Anexo 12:Ensayo Límites de Atterberg M1 + 2% CVH 79
Anexo 13:Ensayo Límites de Atterberg M1 + 3% CVH 80
Anexo 14: Ensayo Límites de Atterberg M1 + 5% CVH 81
Anexo 15:Ensayo Proctor Modificado M1 82
Anexo 16: Ensayo Proctor Modificado M1 + 2% CVH 83
Anexo 17:Ensayo Proctor Modificado M1 + 3% CVH 84
Anexo 18:Ensayo Proctor Modificado M1 + 5% CVH 85
Anexo 19:Ensayo CBR M1 86
Anexo 20:Ensayo CBR M1 + 2% CVH 88
Anexo 21:Ensayo CBR M1 + 3% CVH 90
Anexo 22: Ensayo CBR M1 + 5% CVH 92
Anexo 23:Ensayo de contenido de humedad natural M2 94
Anexo 24:Ensayo granulométrico M2 95
Anexo 25:Ensayo Límites de Atterberg M2 96
Anexo 26:Ensayo Límites de Atterberg M2 + 2% CVH 97
Anexo 27:Ensayo Límites de Atterberg M2 + 3% CVH 98
Anexo 28:Ensayo Límites de Atterberg M2 + 5% CVH 99
Anexo 29:Ensayo Proctor Modificado M2 100
Anexo 30:Ensayo Proctor Modificado M2 + 2% CVH 101
Anexo 31:Ensayo Proctor Modificado M2 + 3% CVH 102
Anexo 32:Ensayo Proctor Modificado M2 + 5% CVH 103

Anexo 33:Ensayo CBR M2 104
Anexo 34:Ensayo CBR M2 + 2% CVH 106
Anexo 35:Ensayo CBR M2 + 3% CVH 108
Anexo 36:Ensayo CBR M2 + 5% CVH 110
Anexo 37:Resultados del análisis de fluorescencia de CVH 112
Anexo 38: Fotografías 114

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación evaluó el efecto de la ceniza de vaina de haba (CVH) en las propiedades físico-mecánicas de diferentes tipos de suelo mediante ensayos de laboratorio, con el propósito de validar su uso como material alternativo para la optimización de subrasantes viales.

Se seleccionaron y prepararon muestras de suelo natural de San Antonio de Pasa (M1, limo A-4) y la vía al Tena (M2, arcilla A-7-5). La CVH se obtuvo mediante secado e incineración controlada a 550 °C, alcanzando un rendimiento del 7,32%. El análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX) determinó que el potasio (40,27%), el calcio (4,10%) y el magnesio (3,40%) son los elementos responsables de disminuir el agua, inducir reacciones puzolánicas y agrupar las partículas finas.

Se incorporaron dosificaciones del 2%, 3% y 5% de CVH en las probetas de ensayo. La caracterización demostró que la adición de ceniza altera las curvas del Proctor Modificado, reduciendo la densidad seca máxima e incrementando la humedad óptima debido a su porosidad, mientras que genera mejoras significativas en la capacidad de soporte (CBR).

Se determinó que la efectividad de la CVH está ligada directamente a la reducción del Índice de Plasticidad. Para la M1, la dosificación óptima fue del 3%, reduciendo la plasticidad a 4,02% y obteniendo un CBR máximo de 25,60%. En la M2, el porcentaje óptimo se estableció en el 5%, con un IP de 7,67% y un CBR de 11,20%. Se concluye que este residuo agroindustrial mejora el comportamiento y resistencia del suelo.

Palabras clave: Ceniza de Vaina de Haba, subrasantes, residuos agroindustriales, propiedades físico-mecánicas, CBR.

ABSTRACT

This research evaluated the effect of broad bean pod ash (BBPA) on the physical-mechanical properties of different soil types through laboratory tests, aiming to validate its use as an alternative material for the optimization of road subgrades through soil stabilization.

Natural soil samples from San Antonio de Pasa (M1, A-4 silt) and the route to Tena (M2, A-7-5 clay) were selected and prepared. The BBPA was obtained by drying and controlled incineration at 550 °C, achieving a 7.32% yield. X-ray Fluorescence (XRF) analysis determined that potassium (40.27%), calcium (4.10%), and magnesium (3.40%) are the elements responsible for reducing water content, inducing pozzolanic reactions, and grouping fine particles.

Dosages of 2%, 3%, and 5% BBPA were incorporated into the test specimens. Characterization demonstrated that adding ash alters the Modified Proctor curves, decreasing maximum dry density and increasing optimum moisture due to its porosity, while generating significant improvements in bearing capacity (CBR).

It was determined that BBPA effectiveness is directly linked to the reduction of the Plasticity Index. For M1, the optimum dosage was 3%, reducing plasticity to 4.02% and obtaining a maximum CBR of 25.60%. For M2, the optimum percentage was established at 5%, with a PI of 7.67% and a CBR of 11.20%. It is concluded that these agro-industrial residues improve soil behavior and resistance.

Keywords: Broad bean pod ash, physical-mechanical properties, subgrades, soil stabilization, CBR, agro-industrial residues.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

I. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación busca evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos con la adición de ceniza de vaina de haba, con el propósito de determinar su potencial como un material estabilizante para subrasante en infraestructuras viales. En el Ecuador, la diversidad geográfica y climática ha dado lugar a una amplia variedad de suelos, muchos de los cuales presentan propiedades físicas y mecánicas deficientes, afectando la estabilidad y durabilidad de las estructuras viales.

Ante esta situación, resulta necesario investigar alternativas más sostenibles. En este sentido, el aprovechamiento de residuos agroindustriales representa una oportunidad para valorizar estos subproductos que actualmente son desechados, contribuyendo no solo a mejorar el comportamiento de la subrasante, sino también a impulsar prácticas más sostenibles dentro de la ingeniería civil.

En este contexto, la generación constante de cenizas y otros subproductos provenientes de actividades agrícolas ha sido considerada durante muchos años principalmente como un problema ambiental. Su manejo inadecuado puede provocar diversos impactos negativos, entre ellos la ocupación innecesaria de espacios, la alteración de las propiedades del suelo, el deterioro de la calidad del aire y la contaminación de cuerpos de agua, especialmente en regiones donde la actividad agroindustrial es predominante. Debido a estas implicaciones, en los últimos años ha surgido un creciente interés por replantear los métodos tradicionales de disposición final y fomentar el aprovechamiento de estos residuos mediante su incorporación en procesos constructivos y aplicaciones dentro de la ingeniería civil.[1]

Asimismo, al no existir estudios e información científica relacionada a la utilización de la ceniza de vaina de haba como un material estabilizante de suelos para subrasantes, esta investigación busca analizar el comportamiento de las propiedades geotécnicas del suelo. De esta manera, se pretende establecer bases técnicas que consideren el uso de este residuo agrícola como una alternativa viable para la estabilización de suelos, aportando al desarrollo de soluciones sostenibles y ambientales en el campo de la ingeniería geotécnica y vial.

II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En este capítulo se analiza la evolución que ha tenido la estabilización de suelos principalmente destinados a conformar la subrasante en estructuras viales, pasando de la utilización de materiales convencionales como el cemento y la cal, hacia la incorporación de materiales alternativos con carácter sostenible. Esta situación ha impulsado la búsqueda de alternativas que permitan mejorar las propiedades geotécnicas del suelo mediante el aprovechamiento de residuos agroindustriales, reduciendo del mismo modo el impacto ambiental, contribuyendo así al desarrollo de técnicas de estabilización viables y más sostenibles.

El aprovechamiento de residuos agroindustriales surge como una estrategia orientada a mitigar la acumulación de desechos orgánicos en el sector rural. Dentro de la región Sierra del Ecuador, el cultivo de la haba, cuyo nombre científico es Vicia faba L, constituye una de las leguminosas con mayor relevancia para los pequeños y medianos productores, debido a la adaptación de este cultivo en altitudes entre los 2600 y 3400 m.s.n.m. Dado que cerca del 70% de la producción nacional se comercializa para el consumo en estado tierno, alcanzando rendimientos de hasta 21,14 ton/ha de vaina verde, se genera una cantidad considerable de biomasa residual compuesta por las vainas que en su gran medida son desechadas. Particularmente en la zona de Ambato debido a su ubicación geográfica y como centro de recolección agrícola, este residuo es abundante y carece de un uso técnico, lo que justifica la utilización de este residuo como un recurso con potencial puzolánico para mejorar las propiedades geotécnicas del suelo.[2]

En el año 2025, C. Michelle llevó a cabo un estudio titulado “Evaluación de la capacidad de la ceniza de la cáscara de coco como estabilizador de suelos”, en el cual se analizó la influencia de este residuo agroindustrial sobre las propiedades mecánicas de suelos de distintas regiones del país. En los resultados se observó que la adición de un 5% de ceniza permitió alcanzar un valor de CBR de 13,90%, mientras que al incrementar la dosificación al 8%, el valor de CBR disminuyó en 12,90%, lo que sugiere que existe un porcentaje óptimo para evitar la pérdida de cohesión en la mezcla. De igual forma el estudio registró una densidad seca máxima de 1,521 g/cm3, indicando variaciones en el proceso de compactación del suelo tratado.[3]

De igual manera, T. Juan Carlos demostró que con la incorporación de un 10% de ceniza de la hoja de agave incrementó el valor del CBR de la muestra hasta un 36% bajo condiciones de compactación controladas, lo que demuestra una mejora significativa en la resistencia al esfuerzo cortante del suelo. Asimismo, mediante el ensayo Proctor Modificado, la muestra con un 20% de aditivo alcanzó una densidad seca máxima de 1,280 g/cm3 con una humedad óptima del 37,25%. La investigación demostró que la ceniza de agave actúa como un agente cementante alternativo, ayudando a la estabilización de subrasantes de manera sostenible mediante el aprovechamiento de biomasa local.[4]

Por otra parte, Adama y Jinoh, en su investigación "Effect of Locust Bean Pod Ash on Strength Properties of Weak Soils", analizaron las propiedades del algarrobo africano (Parkia Biglobosa). Esta especie, al igual que el haba, pertenece a la familia de las leguminosas, por lo que ambas presentan características similares en sus vainas, las cuales generalmente son descartadas como residuos agroindustriales. El estudio evaluó la estabilización química de suelos de subrasantes débiles mediante la incorporación de ceniza de algarrobo (LBPA). Los resultados experimentales demostraron que la adición de un 8% de LBPA incrementa significativamente el CBR (California Bearing Ratio), teniendo mejoras de aproximadamente el 50% en la capacidad portante tanto en condiciones saturadas o no saturadas. Asimismo, se registró un aumento en la resistencia portante de hasta de 541,8kN/m2, lo que permitió mejorar el comportamiento mecánico de suelos de subrasante débiles para cumplir con las exigencias técnicas para obras viales.[5]

Asimismo, Daha S. Aliyu, A. Ma'aruf, M. M. Farouq y S. U. Dawusu, en su investigación nombrada "Stabilization of Lateritic Soil using Powdered Locust Bean Pod 'Makuba", evaluaron el potencial de la vaina de algarrobo africano (Parkia filicoidea) procesada en forma de polvo como un agente estabilizador para suelos lateríticos. La investigación evaluó la incorporación del material en porcentajes de 0,3,6,9 y 12%, determinando que el 9% representa el contenido óptimo para aumentar la resistencia.[6]

Los resultados demostraron que, con la adición del 9% de este material, el CBR sin sumergir se incrementó significativamente de un 21% inicial a un 46%. Del mismo modo la resistencia a la compresión mostró una mejora, elevándose de 124,0kN/m2 a 236,0kN/m2 para el mismo porcentaje de la muestra. En cuanto a las propiedades de compactación, se demostró que el aumento del contenido de polvo de vaina provocó un incremento en el Contenido Óptimo de

Humedad (OMC) y una disminución en la Densidad Seca Máxima (MDD). Adicionalmente, se registró una reducción lineal del suelo, la cual descendió de 6,43% a 2,14% con el nivel máximo de adición. Estos resultados permitieron concluir que el uso de este residuo mejora la calidad del suelo, convirtiéndolo en un material de pavimento clasificado como muy bueno para subrasante, subbase o base.[6]

Andrew Y. Adama, Yinusa A. Jimoh y Stephen S. Kolo realizaron una investigación sobre el efecto de la ceniza de vaina de algarrobo (LBPA) en las características de compactación de suelos de subrasante débiles en el norte de Nigeria. Determinaron que la incorporación de esta ceniza clasifica como una puzolana de clase "C", mejora las propiedades de ingeniería del suelo al actuar como un estabilizador. Según los resultados, la aplicación de LBA incrementa el Contenido De Humedad Óptimo (OMC) en rangos de 10,4-11,5%, 18,0-19,5% y 12,03-18,50%, al tiempo que reduce la Densidad Seca Máxima (MDD) de 1,68-1,62, 1,33-1,304 y 1,62-1,50 g/cm3 para las distintas muestras analizadas. También menciona que un contenido de entre el 6% y el 10% de ceniza en peso es el valor óptimo para una estabilización satisfactoria, lo cual resulta económicamente ventajoso debido a que la reducción en la densidad seca máxima permite alcanzar la compactación necesaria con una menor inversión de energía. Finalmente, el estudio concluye que este proceso no solo refuerza la capacidad del suelo para soportar cargas pesadas, sino que también contribuye al control de la contaminación ambiental mediante el reciclaje de biomasa agrícola de desecho.[7]

A partir de las investigaciones revisadas, se puede observar que diversos residuos agroindustriales, tales como cenizas de cascara de coco, hoja de agave y vainas de algarrobo, han demostrado que tienen un comportamiento favorable como materiales estabilizantes para suelos destinados a subrasantes viales. En la mayoría de los estudios analizados se observa que la adición de estos materiales produce mejoras en las propiedades geotécnicas del suelo, principalmente en la capacidad portante evaluada mediante el ensayo CBR, así como parámetros relacionados al proceso de compactación, contenido de humedad y la densidad seca máxima.

De esta manera general, los resultados reportados en las investigaciones coinciden en que la adición de materiales de residuos agrícolas puede contribuir a mejorar el comportamiento mecánico del suelo, siempre que se determine experimentalmente una dosificación adecuada. Esto evidencia la importancia de establecer el contenido óptimo del material estabilizante para

evitar efectos negativos en las propiedades del suelo tratado. Asimismo, los estudios señalan que la incorporación de ceniza derivadas de biomasa vegetal tiende a incrementar el contenido de humedad y reducir la densidad seca máxima del suelo. Sin embargo, a pesar de la disminución observada de la densidad seca, los resultados demuestran mejoras en la capacidad portante del suelo, lo que indica la presencia de reacciones puzolánicas o procesos de cementación que aportan un incremento en la resistencia del material estabilizado.

Por otro lado, las investigaciones destacan la importancia del aprovechamiento de los residuos agroindustriales como una alternativa sostenible en la estabilización de suelos, ya que su utilización permite no solo mejorar las propiedades geotécnicas del suelo, sino también reducir los impactos ambientales relacionados a la acumulación y disposición inadecuada de estos residuos.

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la ceniza de vaina de haba en las propiedades físico-mecánicas de diferentes tipos de suelo mediante ensayos de laboratorio.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) Seleccionar y preparar las muestras de los distintos tipos de suelos y ceniza de vaina de haba para la elaboración de las probetas de ensayo.
2) Incorporar en las probetas de ensayo los porcentajes de 2%, 3%, 5% de ceniza de vaina de haba para determinar el porcentaje óptimo que mejore las propiedades físico-mecánicas del suelo.
3) Analizar las propiedades físico-mecánicas del suelo natural y del modificado con ceniza de vaina de haba.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

En esta sección se describe el procedimiento metodológico que dirigió el desarrollo de la investigación, el cual se sustentó en un enfoque experimental. El objetivo central de este estudio es evaluar el efecto de la adición de ceniza de vaina de haba en las propiedades físico-mecánicas de diferentes tipos de suelo mediante ensayos de laboratorio. Para ello, la investigación se organizó en tres fases interrelacionadas: la selección y preparación de los materiales, la dosificación e incorporación de la ceniza en diferentes porcentajes junto con la ejecución de ensayos de laboratorio, y el análisis comparativo de los resultados obtenidos. Este proceso permitió verificar la hipótesis planteada y determinar si la adición de este residuo agrícola mejora la resistencia y la capacidad portante del suelo, además de reducir su plasticidad.

I. EQUIPOS Y MATERIALES

Para el desarrollo de la investigación y el cumplimiento de los objetivos planteados, se requirió el uso de materiales, herramientas y equipos específicos. A continuación, se presenta el detalle los recursos empleados en cada fase del proceso.

FASE 1

Para esta primera fase, correspondiente a la localización y recolección de las muestras de suelo, se empleó el uso de un vehículo destinado al transporte de las muestras de los puntos establecidos en las zonas de estudio hasta el laboratorio de suelos. Para la extracción y conservación del material en el sitio de muestreo, se utilizaron los siguientes recursos:

- Pala
- Barra de excavación
- Flexómetro
- Sacos de polipropileno

Asimismo, con el propósito de garantizar la conservación de las muestras destinadas a la determinación del contenido de humedad natural y evitar cualquier pérdida de agua por evaporación, el material fue almacenado en fundas herméticas para su posterior análisis.

Paralelamente, se realizó un reconocimiento de campo en la provincia de Tungurahua, en la zona urbana de Ambato, debido al alto volumen de comercialización de la vaina de haba en estado tierno. Mediante este análisis, se determinó al Mercado Mayorista como un punto de recolección estratégico. Esto permitió garantizar el abastecimiento de las vainas de haba necesarias para la producción de la ceniza.

FASE 2

En la segunda fase, destinada a la determinación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo, se emplearon los equipos y materiales específicos que se detallan a continuación según cada tipo de ensayo.

Para el contenido de humedad natural, los materiales y equipos utilizados en este ensayo se detallan a continuación:

TABLA I: INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA CONTENIDO DE HUMEDAD

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Instrumento	**Fotografía**	**Detalle**
Fundas Herméticas		• N/A
Recipientes de contenido de humedad		• Laboratorio de suelos FICM- UTA
Horno		• Marca: Humboldt, modelo H-30145E • Laboratorio de suelos FICM- UTA
Balanza digital		• Marca: Lexus • Laboratorio de suelos FICM- UTA

Con respecto al análisis granulométrico, los materiales y equipo utilizado para determinar la distribución del tamaño de partículas del suelo son:

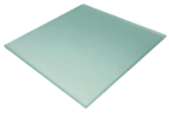
TABLA II: INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA EL ENSAYO GRANULOMÉTRICO

ENSAYO GRANULOMÉTRICO		
Instrumento	**Fotografía**	**Detalle**
Moldes		• Laboratorio de suelos FICM- UTA
Tamices		• Marca: CONTROLS, modelo 15-D2365/J • Tamices: #4, #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60, #100, #200, Fuente • Laboratorio de suelos FICM- UTA
Tamizadora mecánica		• Marca: Humboldt, modelo H-30145E • Laboratorio de suelos FICM- UTA
Balanza digital		• Marca: Lexus • Laboratorio de suelos FICM- UTA

En lo que respecta a los límites de Atterberg, los equipos de laboratorio requeridos para evaluar la consistencia y plasticidad del suelo son:

TABLA III: INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA LÍMITES DE ATTERBERG

ENSAYO LÍMITE LÍQUIDO		
Instrumento	**Fotografía**	**Detalle**
Copa Casagrande		• Laboratorio de suelos FICM- UTA

Recipientes		• Laboratorio de suelos FICM- UTA
Acanalador		• Laboratorio de suelos FICM- UTA
Espátula		• Laboratorio de suelos FICM- UTA
Mortero con Pistilo		• Laboratorio de suelos FICM- UTA
Balanza digital		• Marca: Lexus • Laboratorio de suelos FICM- UTA
ENSAYO LÍMITE PLÁSTICO		
Instrumento	**Fotografía**	**Detalle**
Placa de vidrio		• Laboratorio de suelos FICM- UTA
Espátula		• Laboratorio de suelos FICM- UTA
Recipientes		• Laboratorio de suelos FICM- UTA

En cuanto al ensayo de Proctor Modificado, los equipos y materiales empleados para determinar la relación entre el contenido de agua y la densidad seca del suelo son:

TABLA IV: INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA EL ENSAYO DE PROCTOR

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO		
Instrumento	**Fotografía**	**Detalle**
Molde cilíndrico de compactación y colla		• Marca: CONTROLS • Laboratorio de suelos FICM- UTA
Martillo de compactación		• Marca: CONTROLS, modelo 33-T0076 • Laboratorio de suelos FICM- UTA
Enrasador		• Laboratorio de suelos FICM- UTA
Balanza digital		• Marca: Lexus • Laboratorio de suelos FICM- UTA
Palustre		• Laboratorio de suelos FICM- UTA
Horno		• Marca: Humboldt, modelo H-30145E • Laboratorio de suelos FICM- UTA
Retorta		• Laboratorio de suelos FICM- UTA
Probeta		• Marca: Brand • Laboratorio de suelos FICM- UTA

Por último, en el ensayo de CBR, los instrumentos y materiales utilizados para evaluar la capacidad portante y resistencia al esfuerzo del suelo son:

TABLA V: INSTRUMENTOS DE LABORATORIO PARA CBR

ENSAYO CBR		
Instrumento	**Fotografía**	**Detalle**
Molde cilíndrico de compactación y colla		• Marca: CONTROLS • Laboratorio de suelos FICM- UTA
Martillo de compactación		• Marca: CONTROLS, modelo 33-T0076 • Laboratorio de suelos FICM- UTA
Enrasador		• Laboratorio de suelos FICM- UTA
Balanza digital		• Marca: Lexus • Laboratorio de suelos FICM- UTA
Palustre		• Laboratorio de suelos FICM- UTA
Horno		• Marca: Humboldt, modelo H-30145E • Laboratorio de suelos FICM- UTA
Retorta		• Laboratorio de suelos FICM- UTA
Pesas sobrecarga		• Marca: CONTROLS • Laboratorio de suelos FICM- UTA

Probeta		• Marca: Brand • Laboratorio de suelos FICM- UTA
Máquina Automática para Ensayos de CBR		• Laboratorio de suelos FICM- UTA

FASE 3

Finalmente, para el procesamiento y análisis de los resultados obtenidos, se utilizó un computador (ASUS) y hojas de cálculo en Excel para la tabulación de los datos de laboratorio y el desarrollo de las curvas y gráficos correspondientes. Asimismo, se empleó una calculadora científica (CASIO fx-9860GIII) para la realización de comprobaciones analíticas rápidas, junto con el uso de material bibliográfico técnico para la correcta interpretación y validación de los datos.

II. MÉTODOS

En esta sección se describen los métodos empleados para el desarrollo de la investigación mediante la aplicación de procedimientos normalizados según normas ASTM y AASHTO, los cuales permitirán la ejecución ordenada de los ensayos de laboratorio y el análisis de las propiedades físico-mecánicas del suelo que garantizan la confiabilidad de los resultados. Asimismo, se detallan las etapas para la preparación de las muestras, la incorporación de la ceniza de la vaina de haba y la evaluación de su influencia en el comportamiento del suelo.

FASE 1

Esta fase inicial fue fundamental para establecer la línea base del estudio, asegurando la calidad de los materiales que conforman la investigación por lo que en esta fase se abarcaron tareas de campo enfocadas a la localización e inspección del área de estudio para la extracción

de muestras, así como la obtención y procesamiento de la ceniza de vaina de haba. Para su desarrollo se ejecutaron en tres etapas consecutivas.

1) Localización y recolección de las muestras de suelo

La selección de las muestras de suelo se centró en suelos finos, debido a que este tipo de material presenta mayores problemas de inestabilidad y baja capacidad portante cuando es sometido a cargas. Estos suelos suelen presentar comportamientos desfavorables en aplicaciones viales como la pérdida de resistencia. Se consideró la presencia de estos suelos en zonas con un potencial desarrollo o en sectores que han presentado antecedentes de intervenciones viales.

Teniendo en cuenta los parámetros dichos anteriormente, la primera muestra se localizó en la parroquia San Antonio de Pasa, cantón Ambato provincia de Tungurahua en las coordenadas: Zona 17M; 752145.111m E; 9859592.807m N

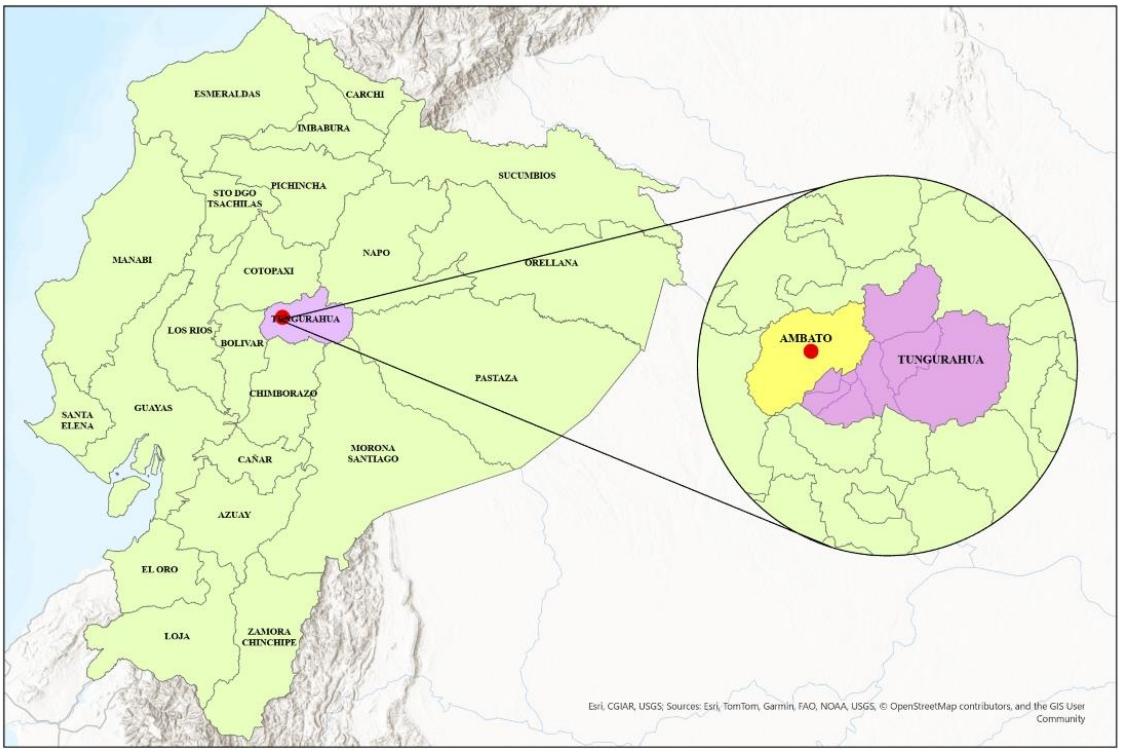


Fig. 1 Ubicación de la muestra 1 a nivel nacional, provincial y cantonal.

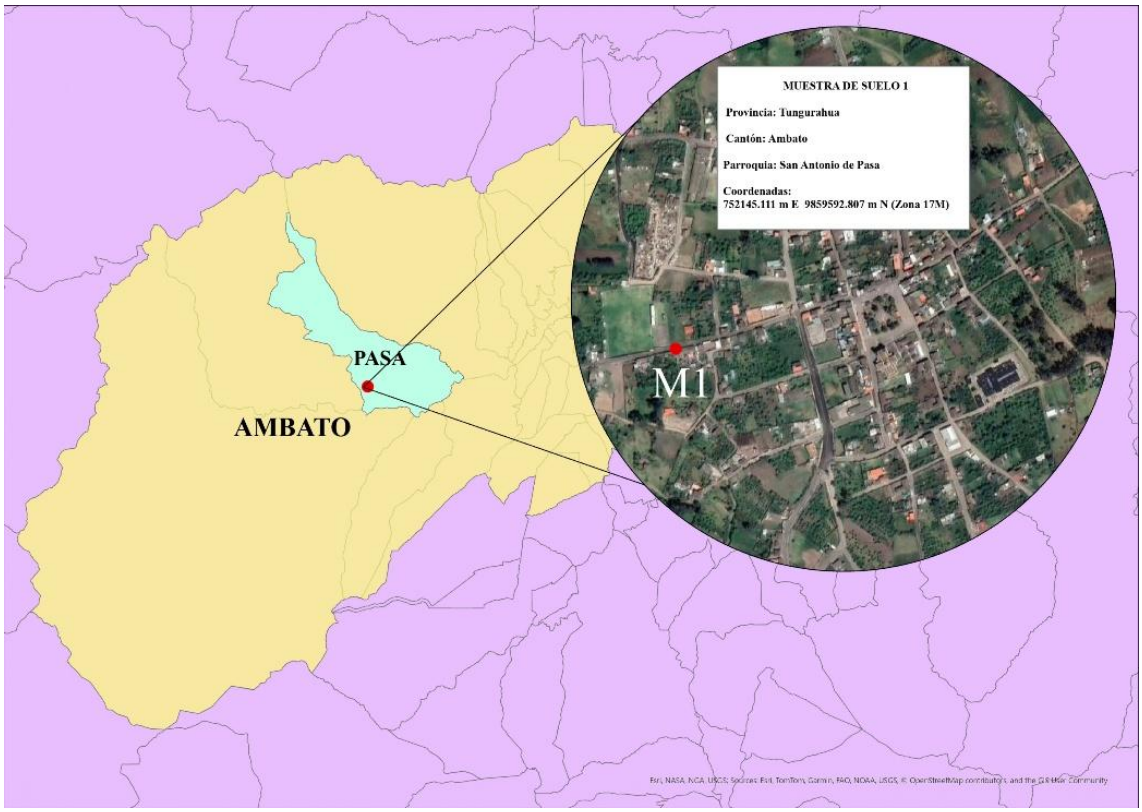


Fig. 2 Ubicación del punto de muestreo (M1) en la parroquia San Antonio de Pasa.

La extracción de las Muestras (M1) se ejecutó mediante la norma NTE INEN 686 para la obtención de muestras alteradas. El proceso inició con la delimitación del área en planta de 1,20 x 1,20m, donde se realizó la limpieza y desbroce superficial para retirar por completo la capa vegetal en un espesor de 0,50m medidos desde el N.T.N $\pm$ 0,00 m, debido a una notable y densa presencia de raíces en el sector. Posteriormente, se continuó con la excavación manual hasta alcanzar el nivel de fondo de calicata (N.F.C) a una profundidad de 1,50m. En este punto, se extrajo el suelo del estrato de interés, almacenándolo en sacos de polipropileno para la ejecución de los ensayos de laboratorio, y en fundas herméticas utilizadas para la preservación y determinación de su contenido de humedad natural

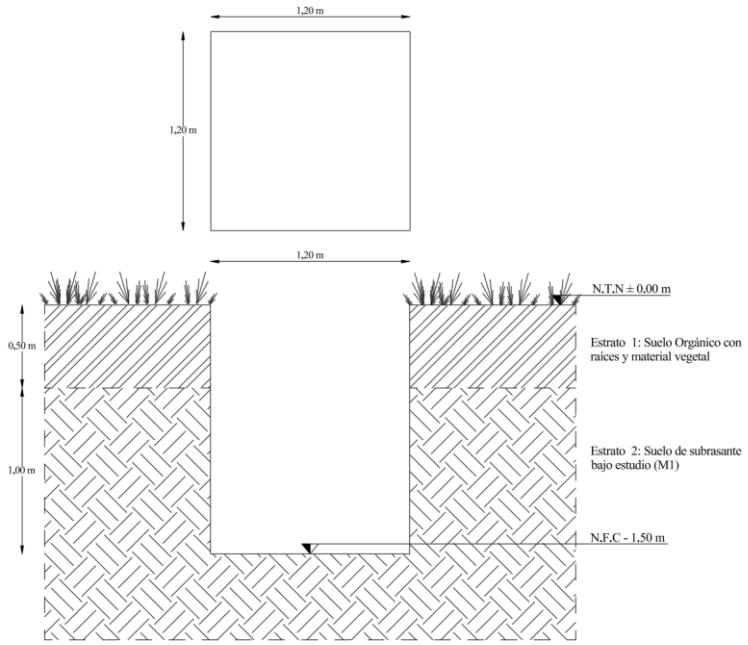


Fig. 3 Perfil estratigráfico y detalles geométricos de la calicata para la Muestra 1 (M1) en el sector de Pasa.

La segunda muestra se localizó en la vía al Tena, en la parroquia Teniente Hugo Ortiz, cantón Pastaza, provincia de Pastaza en las coordenadas: Zona 18M; 172715.00 m E; 9849483.00m N.

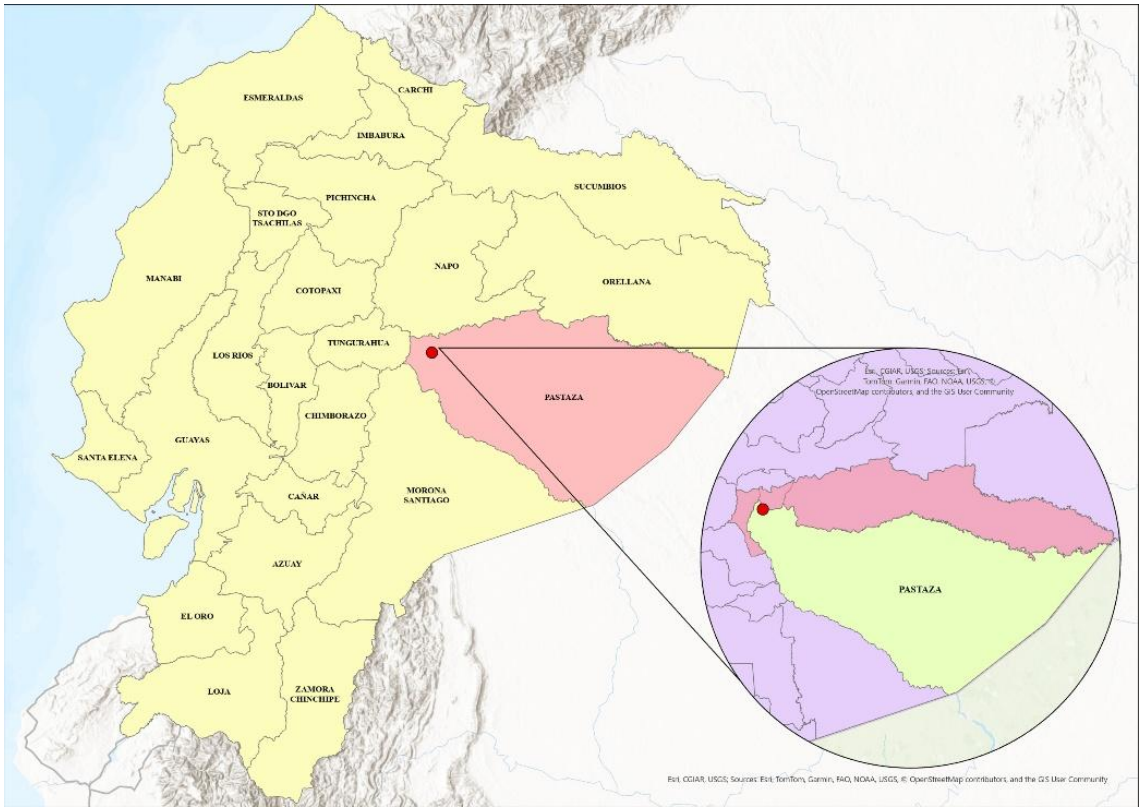


Fig. 4 Ubicación de la muestra 2 a nivel nacional, provincial y cantonal.

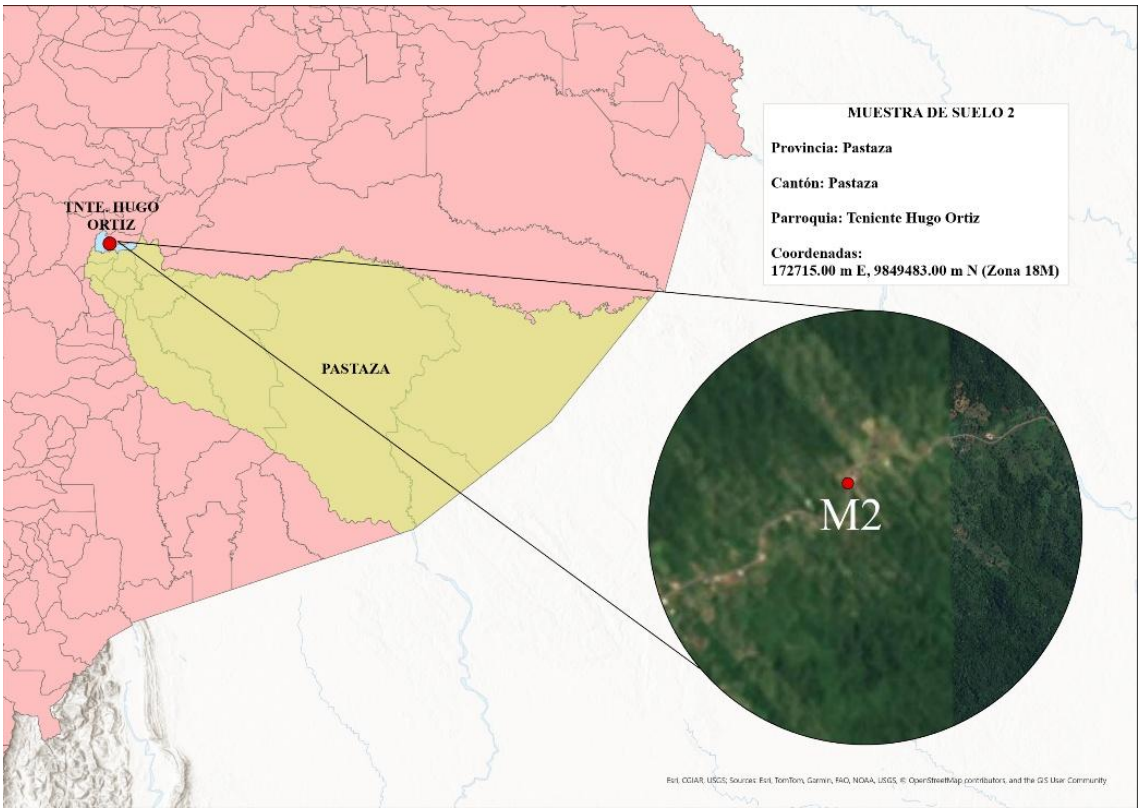


Fig. 5 Ubicación del punto de muestreo (M2) en la parroquia TNTE. Hugo Ortiz

Del mismo modo, la obtención de la Muestra 2 (M2) comenzó con la marcación de un área de planta de 1,20 x 1,20m, procediendo al desbroce superficial del área. A diferencia del primer punto de muestreo en este lugar se registró una menor presencia de raíces, lo que permitió retirar en totalidad la capa vegetal y el suelo orgánico en un espesor de 0,30m desde el N.T.N $\pm$ 0,00 m. A partir de esto se continuó la excavación manual hasta el nivel de fondo de calicata (N.F.C) a una profundidad total de 1,30m, donde se realizó la extracción del material de estudio, almacenándolos en sacos de polipropileno y en fundas herméticas para la conservación de sus propiedades y de humedad hacia el laboratorio.

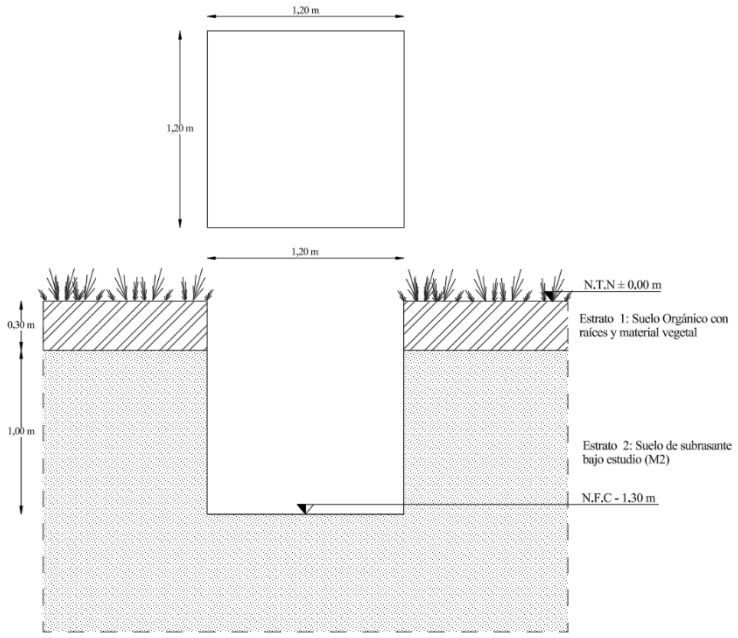


Fig. 6 Perfil estratigráfico y detalles geométricos de la calicata para la Muestra 2 (M2) en la Vía al Tena.

2) Ceniza de vaina de haba

El procesamiento de la materia prima se llevó a cabo mediante una forma secuencial que inició con la recolección y secado de la vaina de haba. Posteriormente, se realizó una incineración controlada a temperaturas sobre los 550 °C, condición necesaria para la activación de las propiedades puzolánicas del material. La elección de esta temperatura se justificó con base en el estudio desarrollado por Zaffar et al.[8] , donde se demuestra experimentalmente que mantener la incineración en rangos cercanos de 500°C a 600 °C garantiza elementos con reacciones puzolánicas se conserve en un estado amorfo y altamente reactivo. En la investigación se advierte que aplicar temperaturas superiores a los 800 °C provoca la cristalización de estos elementos, reduciendo drásticamente la actividad puzolánica de este residuo. Por lo tanto, al fijar la temperatura en 550 °C asegura la máxima reactividad química del residuo sin inducir su cristalización. Finalmente, a través de un proceso de tamizado obteniendo un material con características físico-químicas aptas para su aplicación como estabilizante de suelos.

a) Recolección y secado de la vaina de haba

La recolección de las vainas de haba se realizó en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua. Una vez obtenido el material, se procedió a un pretratamiento de limpieza mediante una inspección manual, esta selección se ejecutó en vista de que durante la recolección del material se observó la presencia de materiales ajenos a la investigación, tales como hojas, tierra y restos de habas. Por lo tanto, la separación manual garantizó la remoción de estas impurezas para asegurar la pureza de la ceniza final.

Posteriormente, se llevó a cabo el proceso de secado natural durante un periodo de 8 días por lote. La fijación de este lapso se basó en el monitoreo constante registrado en las bitácoras de secado, donde se confirmó que, tras los 8 días de secado, las vainas alcanzaban una deshidratación completa. Para la estandarización de esta fase, se realizó el seguimiento diario de cuatro lotes mediante la medición de la temperatura ambiente y la humedad relativa utilizando un termohigrómetro digital.



Fig. 7 Secado de la vaina de haba

b) Proceso de Incineración controlada

La incineración de la vaina de haba se realizó mediante un horno artesanal y con la ayuda de un soplete industrial. El objetivo principal de esta fase fue la eliminación total de la materia orgánica y la activación de las propiedades puzolánicas del residuo. El proceso se registró en cuatro lotes, manteniendo la temperatura de incineración en un rango alrededor de los 550 °C monitoreada constantemente mediante un pirómetro digital, por un lapso de 3 horas por lote, este tiempo se fijó debido a que, mediante la examinación constante y el monitoreo visual del

interior del horno, se evidenció que al cumplir las 3 horas se eliminaba por completo todo rastro de materia orgánica, logrando la calcinación total de este residuo. Tras finalizar el proceso, el material se dejó enfriar lentamente dentro del horno y posteriormente se almacenó en empaques herméticos, protegiéndolo de la humedad ambiental para su uso en las siguientes etapas de la investigación.



Fig. 8 Horno para incineración de vaina de haba



Fig. 9 Registro de temperatura por pirómetro

c) Tamizado de la ceniza

Una vez estabilizada la temperatura de la ceniza se realizó el tamizado mediante el tamiz N°4. Este paso permite obtener un material con partículas uniformes, fundamental según la normativa estándar para la ejecución del ensayo CBR. De esta manera garantiza que solo la fracción que paso el tamiz se utilice para los respectivos ensayos.

FASE 2

Esta fase se centra en el cumplimiento del segundo objetivo específico, el cual consiste en la estabilización de suelos mediante la adición de ceniza de vaina de haba en porcentajes de 2%, 3%, 5%, para identificar la dosificación óptima que mejore las propiedades físico-mecánicas del material.

Para poder evaluar este comportamiento, se ejecutaron ensayos como: Contenido de humedad, Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor modificado y California Bearing Ratio (CBR). Todo el proceso experimental se desarrolló bajo normas técnicas, empleando una metodología descriptiva que permitió la clasificación de las muestras según los sistemas AASHTO y SUCS.

1) Fluorescencia de rayos X de la ceniza de la vaina de haba

Para poder determinar la composición química de la ceniza de vaina de haba, se realizó un análisis de Fluorescencia de Rayos X (FRX) bajo los lineamientos de la norma ASTM C114. Este análisis es fundamental para identificar y cuantificar los óxidos mayoritarios presentes, lo cual permitirá evaluar el potencial puzolánico del material y su efectividad como estabilizador de suelos.[9]

a) Preparación de la Muestra

La ceniza de vaina de haba fue obtenida mediante un proceso de incineración controlada a alrededor de los 550°C. Una vez enfriado el material, se procedió a su tamizado para garantizar una homogeneidad asegurando que las partículas alcanzaran la finura necesaria para reaccionar químicamente con el suelo.

El análisis químico se llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad Politécnica Nacional en la ciudad de Quito. El procedimiento consistió en la preparación de una pastilla prensada de la ceniza, la cual fue expuesta con aglutinante y se compactó bajo una presión utilizando una prensa hidráulica. Este proceso permite identificar con precisión óxidos fundamentales para el estudio de estabilización.

b) Preparación de las mezclas de suelo con ceniza

Para cada tipo de suelo, se procedió a la incorporación de ceniza de vaina de haba en proporciones del 2%, 3% y 5% en relación con el peso seco de la muestra. El proceso de mezclado se realizó de manera meticulosa hasta alcanzar una composición homogénea, garantizando la distribución uniforme del material.



Fig. 10 Muestra de suelo más porcentaje de ceniza

2) Ensayos de laboratorio

En la Tabla VI se presentan las normativas técnicas que establecen la ejecución de los ensayos contemplados en esta investigación. El cumplimiento de estos estándares es fundamental para asegurar la precisión y validez de los resultados obtenidos durante las pruebas.

TABLA VI: NORMATIVA PARA ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYOS	**NORMATIVA**
CONTENIDO DE HUMEDAD	ASTM D2216 / AASHTO T265
GRANULOMETRÍA	ASTM D6913 / AASHTO T27
LÍMITES DE ATTERBERG	ASTM D4318 / AASHTO T89-90
PROCTOR MODIFICADO	ASTM D1557 / AASHTO T180
CBR	ASTM D1883 / AASHTO T193

a) Contenido de humedad natural

La determinación del contenido de humedad natural es un ensayo fundamental debido a su precisión para conocer la cantidad de agua que se encuentra presente en el suelo en su estado

natural. Este procedimiento se realizó bajo las normativas ASTM D2216 y AASHTO T-265, se utilizaron muestras obtenidas directamente de las calicatas [10].Inicialmente, se registró el peso de la muestra en estado húmedo para obtener su masa inicial. Posteriormente, el suelo se introdujo en un horno a una temperatura constante de 110 °C ± 5 °C durante 24 horas, asegurando la evaporación total del agua de la muestra. Tras el proceso de secado, se determinó el peso final de la muestra para obtener la masa del suelo seco. Con estos datos, se calculó el porcentaje de humedad mediante la relación entre el peso de la muestra húmeda y el peso de la muestra seca, como se muestra en la siguiente ecuación 1.[11]

$$w\,\% = \frac{W_w}{W_s} * 100\% \tag{1}$$

Donde:

$w\,\%$: Contenido de humedad

W_w: Peso de muestra húmeda

W_s: Peso de muestra seca

b) Análisis Granulométrico

El análisis granulométrico es un procedimiento que permite conocer la distribución del tamaño de las partículas que componen la muestra de suelo, lo cual es fundamental para su clasificación. El ensayo se realiza mediante el método de tamizado, utilizando una serie de tamices con aberturas dispuestas de mayor a menor tamaño. Inicialmente, la muestra se seca en un horno a una temperatura de 110 °C ± 5 °C para asegurar que el peso registrado corresponda únicamente a las partículas sólidas. El material se coloca en los tamices debidamente ordenados y se somete a un proceso de agitación mecánica, permitiendo que las partículas se separen según su diámetro. Al finalizar, se pesa el suelo retenido en cada tamiz para poder calcular los porcentajes de masa y determinar cuánto material pasa por cada abertura.[12]

A partir de estos valores de laboratorio, los resultados obtenidos del ensayo se procesan mediante tres cálculos principales:

El porcentaje retenido indica que fracción del peso total del suelo quedó atrapada en cada tamiz, se calculará mediante la ecuación 2.

$$P_r = \frac{W_r}{W_t} * 100 \quad (2)$$

Donde:

P_r: Porcentaje retenido

W_r: Peso de partículas retenidas

W_t: Peso total de la muestra

El porcentaje que pasa representa la cantidad de material acumulado que es lo suficientemente pequeño para pasar el tamiz, valor que se utiliza para construir la curva granulométrica. Este parámetro se determina mediante la ecuación 3.

$$P_p = 100 - P_r \quad (3)$$

Donde:

P_p: Porcentaje que pasa

P_r: Porcentaje retenido

El coeficiente de uniformidad y curvatura son parámetros que sirven para evaluar si el suelo tiene una variedad adecuada de tamaño de partículas (bien graduado) o si sus partículas son similares entre sí (uniforme). Estos parámetros son indispensables para clasificar el suelo.

Para la determinación del coeficiente de curvatura, se emplea la ecuación 4.

$$C_c = \frac{{D_{30}}^2}{D_{60} * D_{10}} \quad (4)$$

Donde:

C_c: Coeficiente de curvatura

D_{10}: Diámetro que corresponde al 10% del suelo que pasa

D_{30}: Diámetro que corresponde al 30% del suelo que pasa

D_{60}: Diámetro que corresponde al 60% del suelo que pasa

Por otra parte, el cálculo del coeficiente de uniformidad se realiza mediante la ecuación 5.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \tag{5}$$

Donde:

C_u: Coeficiente de uniformidad

D_{10}: Diámetro que corresponde al 10% del suelo que pasa

D_{60}: Diámetro que corresponde al 60% del suelo que pasa

Se considera que el suelo está bien graduado cuando se cumple de manera simultánea con los rangos establecidos de los coeficientes. En primer lugar, el coeficiente de curvatura (Cc) debe encontrarse en un rango de 1 a 3. Después está el coeficiente de uniformidad (Cu) debe ser mayor a 4 en el caso de gravas o mayor a 6 para las arenas. Si el suelo no cumple con estas condiciones, se clasifica como un suelo mal graduado o uniforme.[13]

c) Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg son parámetros clave para poder entender cómo se comporta el suelo según su contenido de agua. En este sentido, el suelo puede presentarse en cuatro estados físicos: sólido, semisólido, plástico y líquido. De esta forma, el suelo seco inicia en estado sólido y al aumentar la humedad, atraviesa las etapas de consistencia hasta volverse líquido, estos puntos de cambio se denominan límite de contracción, límite plástico y límite líquido, los cuales son esenciales para medir la plasticidad y estabilidad del suelo.[14]

- Límite Líquido

El límite líquido define el porcentaje de humedad en el cual un suelo cambia su estado de consistencia de plástico a líquido, lo cual es importante para entender su comportamiento. Este ensayo se realizó bajo la normativa ASTM D4318 y AASHTO T89, utilizando la muestra de suelo que pasa por el tamiz #40.

La muestra se mezcla con agua hasta formar una masa homogénea, la cual se coloca y enrasa dentro de la copa Casagrande. Después se realiza una ranura central en la muestra con el ranurador, se acciona el mecanismo para contar los golpes necesarios que permitan cerrar el surco. Este procedimiento se repite para obtener valores de humedad por encima y por debajo de los 25 golpes para así trazar la gráfica correspondiente.

Finalmente, para determinar con exactitud la humedad de cada punto, las muestras se someten a secado en horno siguiendo la norma AASHTO T265, permitiendo identificar el límite líquido correspondiente a los 25 golpes en la gráfica final.[15]



Fig. 11 Copa de Casagrande

- Límite Plástico

El límite plástico representa el contenido de humedad en que el suelo cambia de un estado plástico a uno semisólido, lo cual es necesario para conocer su estabilidad. Este ensayo se realizó siguiendo las normativas ASTM D4318 y AASHTO T90, utilizando de igual manera el material que paso por el tamiz #40. [16]

El proceso consistió en tomar pequeñas porciones de suelo para formar rollos cilíndricos sobre una placa de vidrio, esto hasta obtener 6 muestras uniformes de aproximadamente 3mm

de diámetro y 50mm de longitud. Esto con el objetivo de identificar cuando el material comienza a agrietarse sin romperse. Una vez que se obtuvieron las muestras, se colocaron en recipientes para ser secados al horno. Finalmente, el valor del límite plástico se determinó calculando el promedio de la humedad de las 6 muestras.[17][18]

- Índice de Plasticidad

El índice de plasticidad es el rango de humedad en el que el suelo se comporta de forma plástica y es la diferencia entre el límite líquido menos el límite plástico. El cálculo se realiza mediante la siguiente ecuación 6.

$$IP = LL - LP \tag{6}$$

Donde:

IP: Índice de plasticidad

LL: Límite líquido

LP: Límite plástico

d) Proctor Modificado

El ensayo de Proctor Modificado se realizó siguiendo la normativa AASHTO T180 con el objetivo de determinar la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca del suelo, lo cual permitirá establecer los parámetros ideales para su compactación. Este ensayo lo que busca es reducir el volumen de vacíos mediante energía mecánica para aumentar la densidad del material y mejorar propiedades críticas como la resistencia y la rigidez, siendo un paso importante para la preparación de muestras de los ensayos.[12]

Para el desarrollo del ensayo, se utilizó una muestra de 4500 gramos de suelo seco tamizado por la malla #4, la cual se compactó en un molde cilíndrico normalizado dividido en cinco capas. En cada una de estas capas se aplicaron 56 golpes utilizando el martillo de 4,54 kg (10lb) con una altura de caída de 18 pulgadas (457mm). Una vez finalizado el proceso de compactación, se retiró el collarín, se enrasó la superficie con una regla metálica y se determinó el peso total del suelo compactado.

Finalmente, se extrajeron las muestras para contenido de humedad una parte superior y otra de la parte inferior de la muestra, pesándolas y llevándolas al horno, repitiendo el ciclo con diferentes porcentajes de agua para así identificar mediante la curva de compactación el punto de la densidad seca máxima y el contenido de humedad óptimo del suelo.



Fig. 12 Ensayo Proctor Modificado

La energía de compactación específica se determinó a través de la ecuación 7, la cual permite calcular el esfuerzo aplicado para compactar el suelo.

$$Ec = \frac{N * n * W * h}{V} \tag{7}$$

Donde:

Ec: Energía de compactación ($kN * m/m^3$ o kJ/m^3)

N: Número de golpes por capa

n: Número de capas

W: Peso del martillo (N)

h: Altura de caída (m)

V: Volumen del molde (m^3)

La densidad húmeda se calculó a través de la ecuación 8

$$\gamma_h = \frac{W_h}{V} \tag{8}$$

Donde:

γ_h: Densidad húmeda (g/cm^3 o kg/m^3)

W_h: Peso húmedo compactado (g o kg)

V: Volumen del molde (cm^3 o m^3)

La densidad seca se calculó a través de la ecuación 9

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1 + \frac{w}{100}} \tag{9}$$

Donde:

γ_d: Densidad seca (g/cm^3 o kg/m^3)

γ_h: Densidad húmeda (g/cm^3 o kg/m^3)

w: Contenido de humedad (%)

Tras obtener los valores de densidad seca y contenido de humedad para cada punto ensayado, se elaboró la curva de compactación donde la densidad seca va en el eje de las ordenadas y el contenido de humedad en el eje de las abscisas.

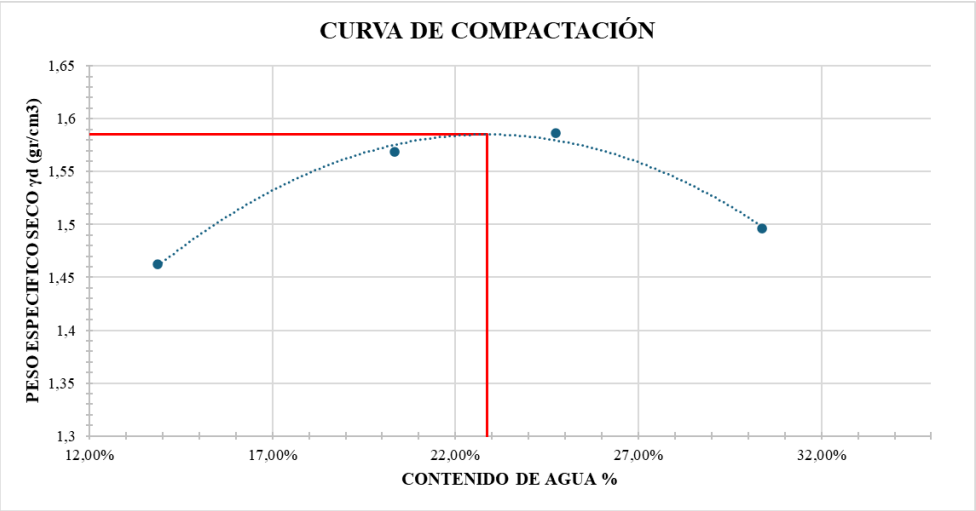


Fig. 13 Curva de Compactación

e) Ensayo California Bearing Ratio (CBR)

El ensayo de California Bearing Ratio (CBR), se realizó siguiendo las normativas AASHTO T193 y ASTM D 1883, esta es una prueba de laboratorio fundamental desarrollada en 1938 para evaluar la capacidad de soporte y resistencia de los suelos utilizados en subrasantes, subbases y bases.[19] Este índice representa la relación entre la presión necesaria para penetrar un pistón normalizado en una muestra de suelo y la presión requerida para lograr la misma penetración en una piedra triturada de referencia estandarizada. El valor obtenido es esencial para el diseño estructural de vías, ya que nos permite calcular los espesores necesarios de las capas del pavimento para distribuir adecuadamente las cargas de tráfico vehicular sobre un terreno natural.[20]



Fig. 14 Equipo utilizado para el ensayo de CBR

Para el desarrollo del ensayo, el suelo se compacta en moldes cilíndricos estándar utilizando un disco espaciador en la base para garantizar que la muestra mantenga el volumen y las dimensiones según la norma. El material se prepara en cinco capas, aplicando tres niveles de energía mediante 11, 27 y 56 golpes por capa, lo que permite evaluar el comportamiento del suelo bajo diferentes densidades. Una vez compactadas y pesadas las muestras se sumergen en un tanque de agua durante un tiempo de 96 horas para simular una condición de saturación más crítica que podría presentarse en el campo, utilizando pesas de sobrecargas que representa el peso real que ejercerá el pavimento sobre la subrasante.



Fig. 15 Inmersión de muestras de suelo en el tanque para el ensayo CBR

Después de la etapa de inmersión y tras un breve tiempo de drenaje de 20 minutos, se realiza el ensayo de penetración empleando un pistón metálico que avanza a una velocidad constante. Durante esta fase, se registran las fuerzas necesarias para alcanzar profundidades específicas de penetración, centrando el cálculo del valor CBR en los resultados obtenidos a 2,54mm (0,1″) y 5,08mm (0,2″) de profundidad. Los cálculos se basan en la ecuación 10.

$$CBR\ \% = \frac{carga\ unitaria\ del\ ensayo}{carga\ unitaria\ de\ la\ muestra\ patrón} * 100 \qquad (10)$$



Fig. 16 Máquina ensayo de CBR

Finalmente, el resultado del ensayo permite clasificar la calidad del suelo y su potencial para la construcción vial según criterios técnicos como los establecidos en el manual de Joseph Bowles. Un valor de CBR elevado, acompañado de una curva esfuerzo vs penetración con pendiente pronunciada, indica un suelo resistente con buena capacidad de soporte. Por otro lado, una baja densidad seca o un exceso de humedad puede reducir este índice, alertando sobre la necesidad de mejorar o estabilizar el material para garantizar la durabilidad de la infraestructura.

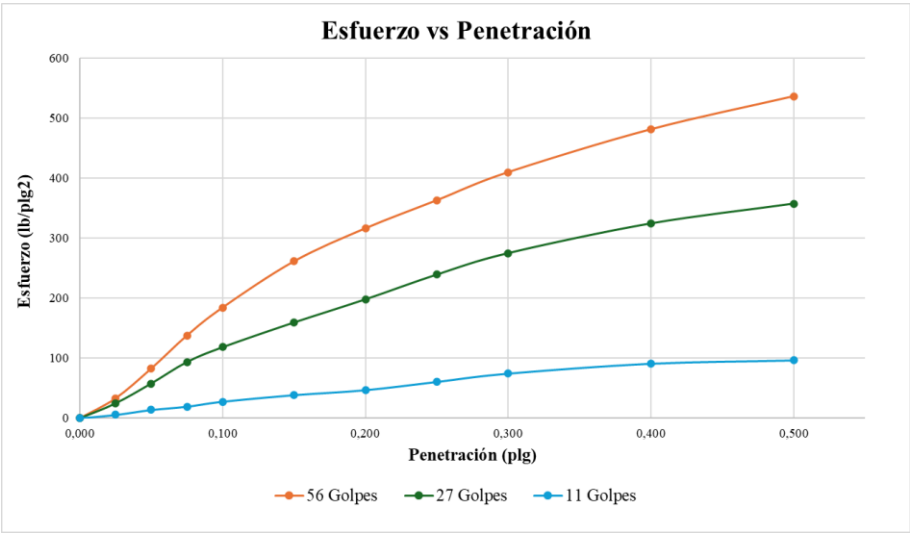


Fig. 17 Gráfica Esfuerzo vs Penetración

TABLA VII: CLASIFICACIÓN DEL SUELO DE ACUERDO CON EL VALOR DEL CBR[15]

No. CBR	Clasificación General	Usos	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
			SUCS	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	OH, CH, OL, MH	A5, A6, A7
3-7	Pobre a Regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, Sub-base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base, Sub-base	GW, GM	A1a, A2-4, A3

3) Clasificación del suelo

La clasificación de suelos es un proceso que organiza los materiales en grupos y subgrupos con el fin de reunir aquellos que comparten propiedades físicas y comportamientos mecánicos similares. En la práctica de la ingeniería, los sistemas más reconocidos son el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y el método AASHTO, los cuales permiten predecir el desempeño del suelo basado en dos criterios fundamentales: análisis granulométrico que analiza el tamaño de las partículas, y los límites de Atterberg, que evalúan la consistencia y plasticidad del material ante variaciones de humedad.

a) Sistema de clasificación AASHTO

Para la investigación se emplearon los sistemas de clasificación SUCS y AASHTO, los cuales son los modelos más utilizados a nivel internacional para categorizar los suelos. El sistema AASHTO es la herramienta estándar en la ingeniería vial, desarrollada para categorizar los materiales según su desempeño en la infraestructura vial. A diferencia de otros métodos, este sistema organiza los suelos en siete grupos principales (del A-1 al A-7) basándose en su granulometría y sus límites de consistencia. De acuerdo con este criterio, este sistema establece una identificación fundamental: los materiales granulares, en los cuales el 35% o menos del total de la muestra pasa por el tamiz No. 200 (Grupos A-1, A-2 y A-3), los materiales finos como limos y arcillas donde más del 35% del material atraviesa el tamiz No. 200 (Grupos A-4, A-5, A-6 y A-7). Su aporte más significativo es la incorporación del Índice de Grupo (IG), un parámetro numérico que nos ayuda a evaluar de forma cualitativa y cuantitativa la aptitud del suelo para ser utilizado como subrasante. Al integrar este índice, el sistema AASHTO facilita la identificación del suelo, permitiendo determinar si el suelo es adecuado para resistir las cargas del tráfico o si presenta deficiencias que necesiten un proceso de estabilización.

TABLA VIII: SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASHTO PARA MATERIALES GRANULARES[15]

Clasificación general	**Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por el núm. 200)**						
	A-1			A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
Núm. 10	50 máx.						
Núm. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
Núm. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción de paso núm. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

TABLA IX: CLASIFICACIÓN DE LA AASHTO PARA MATERIALES LIMO-ARCILLA[15]

Clasificación general	**Materiales limosos arcilloso (más del 35% pasa por el núm. 200)**			
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
Núm. 10				
Núm. 40				
Núm. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción de paso núm. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos Limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular o malo			

Asimismo, la carta de plasticidad representada en el gráfico expresa la relación entre el límite líquido y el índice de plasticidad para definir el comportamiento del suelo, permitiéndonos identificar la transición del material entre los estados sólido, plástico y líquido, facilitando la clasificación técnica del suelo según su consistencia y respuesta ante los cambios de humedad.

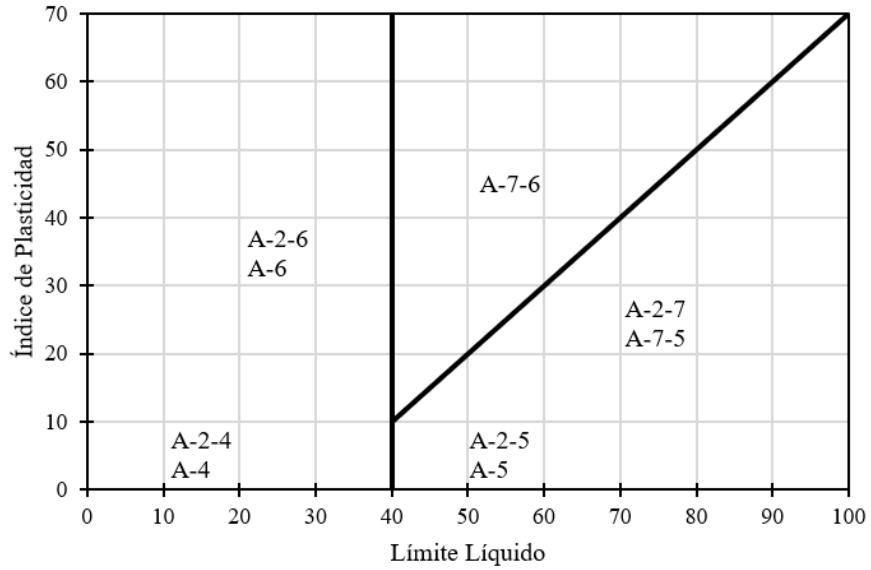


Fig. 18 Cartas de plasticidad según la AASHTO[15]

b) Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

El sistema SUCS organiza los suelos en dos grupos principales según su comportamiento granulométrico: los suelos gruesos, compuestos por gravas (G) y arenas (S) cuando menos del 50% del material pasa por el tamiz No. 200, y los suelos finos, conformados por limos (M), arcillas (C) u orgánicos (O) cuando más del 50% atraviesa dicho tamiz. Esta clasificación también se complementa con sufijos que detallan la calidad del suelo, empleando las letras W y P para describir si es bien o mal graduado, y los símbolos L y H para diferenciar materiales de baja o alta plasticidad en función de si el límite líquido es superior o inferior al 50%. Los criterios específicos para la asignación de estos símbolos de grupo se presentan de manera separada a continuación:

Los criterios empleados para la caracterización de suelos con mayor presencia de partículas de gran tamaño se detallan en la TABLA X, donde se especifican los símbolos de grupo correspondiente a las gravas (GW,GP,GM,GC) en función de sus coeficientes de uniformidad, curvatura y límites de Atterberg.

TABLA X: SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS PARA GRUPO DE SUELO TIPO GRAVA[15]

Símbolo de grupo	**Criterios**
GW	Menos de 5% para malla No. 200 Cu= D60/D10 mayor que o igual que 4 Cc= (D30)^2/(D10*D60) entre 1 y 3
GP	Menos de 5% pasa la malla No. 200 No cumple ambos criterios para GW
GM	Más del 12% para la malla No. 200 Los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (gráfica) o el índice de plasticidad menor que 4
GC	Más del 12% para la malla No. 200 Los límites de Atterberg se grafican sobre de la línea A (gráfica) o el índice de plasticidad mayor que 7
GC-GM	Más del 12% para la malla No. 200 Los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada CL-ML en la gráfica
GW-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GW y GM
GW-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GW y GC
GP-GM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GP y GM
GP-GC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para GP y GC

En lo que respecta a los suelos gruesos formados mayoritariamente por partículas finas de origen arenoso, la TABLA XI muestra los criterios del sistema SUCS para la asignación de los símbolos de grupo (SW,SP,SM,SC), analizando la graduación del material y el comportamiento a la fracción que pasa el tamiz No. 200.

TABLA XI: SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS PARA GRUPO DE SUELO TIPO ARENA[15]

Símbolo de grupo	Criterios
SW	Menos de 5% para malla No. 200 Cu= D60/D10 mayor que o igual que 6 Cc= (D30)^2/(D10*D60) entre 1 y 3
SP	Menos de 5% pasa la malla No. 200 No cumple ambos criterios para SW
SM	Más del 12% para la malla No. 200 Los límites de Atterberg se grafican debajo de la línea A (gráfica) o el índice de plasticidad menor que 4
SC	Más del 12% para la malla No. 200 Los límites de Atterberg se grafican sobre de la línea A (gráfica) o el índice de plasticidad mayor que 7
SC-SM	Más del 12% para la malla No. 200 Los límites de Atterberg caen en el área sombreada marcada SC-SM en la gráfica
SW-SM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para SW y SM
SW-SC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para SW y SC
SP-SM	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para SP y SM
SP-SC	El porcentaje que pasa la malla No. 200 está entre 5 y 12 Cumple los criterios para SP y SC

Para la evaluación de materiales con fracción fina , la TABLA XII describe los parámetros de clasificación para suelos tipo limo y arcilla (CL, ML, OL, CH, MH, OH, PT), considerando los rangos de plasticidad y el valor del límite líquido respecto al límite del 50%.

TABLA XII: SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS PARA GRUPO DE SUELO TIPO LIMO Y ARCILLA[15]

Símbolo de grupo	Criterios
CL	Inorgánico LL<50 PI>7 Se gráfica sobre o arriba de la línea A (véase zona CL en la gráfica)
ML	Inorgánico LL<50 PI>4 Se gráfica debajo de la línea A (véase zona ML en la gráfica)
OL	Orgánico (LL - seco en horno) / (LL - sin secar)<0,75 LL<50 (véase zona OL en la gráfica)
CH	Inorgánico LL ≥50 PI se gráfica sobre o arriba de la línea A (véase zona CH en la gráfica)
MH	Inorgánico LL ≥50 PI se gráfica debajo de la línea A (véase zona MH en la gráfica)
OH	Orgánico (LL - seco en horno) / (LL - sin secar)<0,75 LL≥50 (véase zona OH en la gráfica)
CL-ML	Inorgánico Se gráfica en la zona sombreada en la gráfica
PT	Turba, lodos y otros suelos altamente orgánicos

A continuación, se presenta la carta de plasticidad de Casagrande, una herramienta fundamental para la clasificación de suelos finos e inorgánicos. Esta gráfica permite identificar la naturaleza del material al poder relacionar el límite líquido con el índice de plasticidad, facilitando la identificación entre arcillas y limos de alta o baja plasticidad. La aplicación de este gráfico simplifica la aplicación del sistema SUCS, que define de forma clara el comportamiento del suelo según su consistencia.

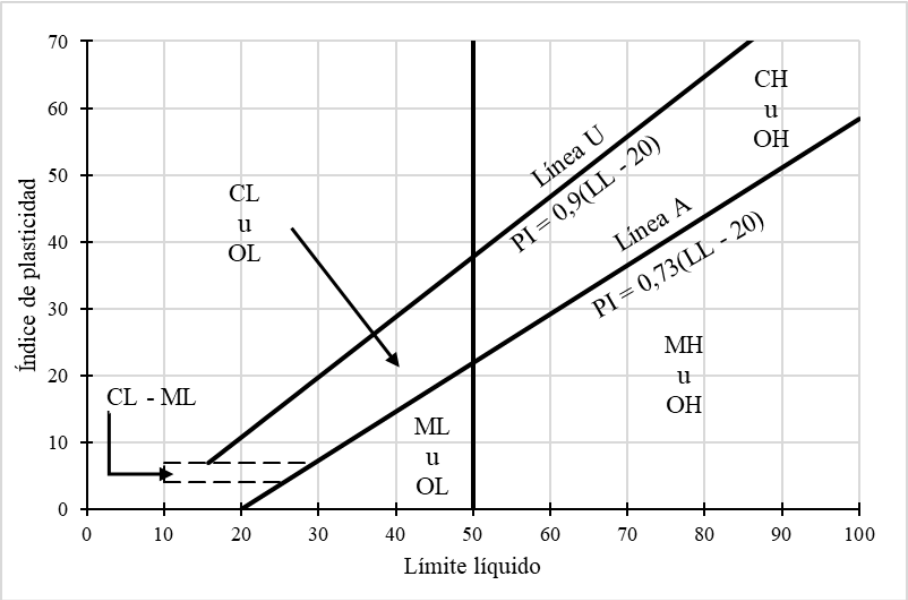


Fig. 19 Carta de plasticidad SUCS[15]

FASE 3

En esta fase se tuvo como propósito fundamental el análisis comparativo de las propiedades físico-mecánicas del suelo en estado natural frente al suelo estabilizado con ceniza de la vaina de haba. Para ello, se hizo la tabulación de los datos obtenidos en la fase 1 y 2 del presente proyecto, lo que permitió comparar el comportamiento de las muestras mediante la elaboración de tablas y gráficas. Esta comparación fue clave para validar la hipótesis de investigación, determinando el efecto de la adición de la ceniza en la mejora de parámetros, tales como la capacidad de soporte y la estabilidad del suelo.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

FASE 1

1) Localización de las muestras de suelo

El análisis técnico de campo permitió identificar dos zonas estratégicas para la obtención de las muestras de suelo. Estas áreas fueron seleccionadas por su presencia de suelos finos, los cuales suelen presentar problemas de estabilidad en la infraestructura vial. Las ubicaciones exactas, junto con sus coordenadas UTM, se resumen en la TABLA XIII.

TABLA XIII: COORDENADAS DE UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS DEL ESTUDIO

Muestra	ID Muestra	Provincia	Coordenadas		
			Este	Norte	Zona
Primera	M1	Tungurahua	752145,11	9859592,81	17
Segunda	M2	Pastaza	172715,00	9849483,00	18

3) Ceniza de vaina de haba

a) Secado de la vaina de haba

Durante el monitoreo del proceso de secado natural de las vainas de haba, estas experimentaron una pérdida de humedad promedio del 85,02% en los cuatro lotes analizados. Como se observa en la TABLA XIV, el peso inicial total disminuyó drásticamente en un periodo de ocho días, evidenciando el alto contenido hídrico de este residuo agroindustrial, un factor determinante para el cálculo del rendimiento final en la producción de la ceniza.

TABLA XIV: CONTROL DE SECADO DE VAINA DE HABA

Lote	Días de secado	Peso Inicial (kg)	Peso Final (kg)	Perdida de humedad (%)
1	8	13,00	2,00	84,62%
2	8	10,50	1,81	82,76%
3	8	17,00	1,81	89,35%
4	8	36,00	6,00	83,33%
			Total	**85,02%**

b) Incineración de la vaina de haba y producción de la ceniza

Los resultados del proceso de incineración controlada se detallan en la TABLA XV. Al mantener una temperatura constante de 550 °C durante un tiempo de 3 horas para los cuatro lotes analizados, se obtuvo un rendimiento promedio del 7,32%. En términos prácticos, esto significa que por cada kilogramo de vaina de haba seca procesada se generaron aproximadamente 73,2 gramos de ceniza. Esta metodología demostró ser eficaz debido a que la combinación controlada de tiempo y temperatura garantizo la descomposición térmica de la fracción orgánica, transformando de manera uniforme el residuo agroindustrial en un material libre de impurezas. Asimismo, la baja variabilidad en los rendimientos obtenidos entre los cuatro lotes evidencia la estabilidad, repetibilidad y eficiencia del proceso de incineración, asegurando que la ceniza conserve sus propiedades puzolánicas para los fines de estabilización.

TABLA XV: CONTROL DE INCINERACIÓN DE VAINA DE HABA

Lote	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Peso masa seca (kg)	Peso masa de ceniza (gr)	Rendimiento (%)
1	3	550	12,53	890,91	7,11%
2	3	550	26,00	2024,00	7,78%
3	3	550	23,63	1577,00	6,67%
4	3	550	30,00	2318,00	7,73%
				Total	**7,32%**

c) Características de ceniza de vaina de haba

En la TABLA XVI se muestran los elementos de la Ceniza de Vaina de Haba (CVH), una caracterización que permite determinar sus propiedades e influencia como estabilizante de suelos. De acuerdo con su composición, la ceniza de vaina de haba presenta un elevado contenido de Potasio (K), acompañado de Calcio (Ca) y Magnesio (Mg). Estos elementos convierten a la ceniza en un material con un gran potencial para mejorar las propiedades del suelo, siendo capaz de reaccionar con partículas finas del suelo para reducir su plasticidad y mejorar su estabilidad estructural.

El elemento más destacado es el Potasio (K), con un gran porcentaje del 40,27%. Al encontrarse comúnmente en forma de óxidos (K2O), el potasio actúa de manera rápida sobre los suelos finos y húmedos, liberando elementos que disminuyen el agua presente entre las partículas del suelo. Esto modifica de manera casi inmediata la consistencia del suelo. Otro

componente clave es el Calcio (Ca), con un 4,10%, el cual actúa principalmente como óxido de calcio (CaO). Este elemento es fundamental para unir y agrupar las partículas del suelo, iniciando las primeras reacciones cementantes que estabilizan el suelo a mediano plazo.

Asimismo, el Magnesio (Mg), con un 3,40% en forma de óxidos (MgO), trabaja de manera conjunta con el calcio, mejorando la resistencia interna del suelo compactado. Por su parte, elementos como el Cloro (Cl) con 3,42% y el Fósforo (P) con 2,63% completan la fracción de componentes secundarios de la ceniza. Finalmente, el Hierro (Fe) con 0,65% y el Silicio (Si) con un 0,63% por lo que su influencia directa a la estabilización del suelo es menor.

Finalmente, la alta concentración de potasio, calcio y magnesio en la ceniza de vaina de haba otorga excelentes propiedades para mejorar el comportamiento de suelos inestables o muy sensibles al agua, facilitando su proceso de compactación y aumentando su capacidad para soportar las cargas del tráfico vial.

TABLA XVI: PORCENTAJE DE ELEMENTOS DE LA CVH

ELEMENTO (Símbolo Químico)	**Muestra 1**
	Resultado Lectura FRX (%)
K	40,27%
Ca	4,10%
Cl	3,42%
Mg	3,40%
P	2,63%
Fe	0,65%
Si	0,63%
Na	0,37%
S	0,36%
Al	0,13%
Sr	0,06%
Mn	0,05%
Rb	0,03%
Zn	0,02%
Ti	0,02%
Cu	0,01%

4) Propiedades físicas y clasificación del suelo natural

a) Contenido de humedad natural

El contenido de humedad natural de las muestras analizadas presenta una relación directa con su ubicación geográfica. La Muestra 1 (M1), recolectada en la Parroquia de San Antonio de Pasa en la provincia de Tungurahua, presenta un color gris y un contenido de humedad natural del 35,85%, características típicas de los limos de la zona interandina. Por otro lado, la Muestra 2 (M2), extraída en la vía al Tena en la provincia de Pastaza, muestra un color tomate rojizo con un contenido de humedad significativamente mayor del 58,62%, lo cual es coherente con suelos arcillosos que pueden presentar minerales propios de la región amazónica. A continuación, se presentan los datos de las propiedades físicas de las muestras al momento de su extracción en la TABLA XVII.

TABLA XVII: CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS MUESTRAS DE SUELO EN ESTADO NATURAL

Muestra	**ID Muestra**	**Lugar de Extracción**	**Color**	**Contenido de humedad**
Primera	M1	Tungurahua	Gris	35,85%
Segunda	M2	Pastaza	Tomate rojizo	58,62%

b) Análisis Granulométrico

En la TABLA XVIII se detalla la distribución granulométrica de las muestras de suelos, resaltando los porcentajes que pasan los tamices #10, #40 y #200. Para la M1, el tamiz #10 (2mm) registra un porcentaje que pasa del 99,46%, lo que confirma una presencia mínima de gravas en el material. Asimismo, el 85,38% de la muestra atraviesa el tamiz #40 (0,43mm), permitiendo una fracción de suelo necesaria para la ejecución de los límites de Atterberg. En el tamiz #200 (0,075mm), se obtuvo un 36,23% de tipo limo-arcilloso bajo el sistema AASHTO al pasar más del 35% por el tamiz #200 (0,075mm).

Por otra parte, la M2 presenta un comportamiento similar en la porción gruesa con un 99,74% que pasa el tamiz #10 (2mm), indicando una escasa presencia de gravas en la muestra. En el tamiz #40 (0,43mm), el porcentaje que pasa aumenta al 92,36% en comparación con la primera muestra. Finalmente, en el tamiz #200 (0,075mm) se registró un porcentaje que pasa del 50,63% del material, lo cual define técnicamente a la M2 como un suelo principalmente

fino tanto para el sistema AASHTO como el SUCS, al pasar más del 50% de la muestra por el tamiz #200 (0,075mm).

TABLA XVIII: PORCENTAJE QUE PASA POR EL TAMIZ #10, #40 Y #200

ID Muestra	% Que pasa		
	Tamiz #10	Tamiz #40	Tamiz #200
M1	99,46%	85,38%	36,23%
M2	99,74%	92,36%	50,63%

En la TABLA XIX, se presentan los porcentajes de grava, arena, limos y arcillas de acuerdo con los sistemas de clasificación AASHTO y SUCS, junto con los coeficientes de uniformidad (Cu) y curvatura (Cc).

Para la Muestra 1 (M1), los resultados indican una mayor presencia de arena con un 63,77%, mientras que el contenido de finos (limos y arcillas) alcanza el 36,23%. En cuanto a sus parámetros de graduación, presenta un Cu de 3,95 y un Cc de 0,75. En relación con los coeficientes, un suelo arenoso se considera bien graduado únicamente cuando su Cu es mayor a 6 y su Cc se sitúa entre 1 y 3. Al no cumplir con estos rangos de manera simultánea, la muestra se define como un material mal graduado. Esta condición indica una distribución uniforme en el tamaño de partículas que genera un mayor índice de vacíos lo que se traduce en una menor estabilidad estructural, una sensibilidad a la deformación y una capacidad portante baja.

En el caso de la Muestra 2 (M2), se observa un incremento en el contenido de finos del 50,63%, superando el porcentaje de arena que es de 49,37%. Los coeficientes obtenidos en la muestra son un Cu de 9,41 y un Cc de 0,63. Aunque el valor de uniformidad es superior a 6, su coeficiente de curvatura se encuentra por debajo del rango de 1 a 3. Por lo tanto, la muestra M2 es un material mal graduado. Este parámetro demuestra que, a pesar de existir una variedad de tamaños de partículas, la falta de tamaños intermedios, las partículas no se acomodan entre sí de forma natural. En consecuencia, la muestra presenta una baja capacidad portante y tendencia a hundirse bajo cargas, lo que justifica la necesidad de usar la ceniza de vaina de haba como agente estabilizador.

TABLA XIX: PORCENTAJE DE GRAVA, ARENA, LIMO Y ARCILLA

ID Muestra	Clasificación	Grava %	Arena %	Limos y Arcillas %	Cu	Cc
M1	AASHTO	0,54%	63,23%	36,23%	-	-
	SUCS	0,04%	63,77%	36,23%	3,95	0,75
M2	AASHTO	0,26%	49,11%	50,63%	-	-
	SUCS	0,00%	49,37%	50,63%	9,41	0,63

c) Límites de Atterberg

En la TABLA XX se encuentran los datos obtenidos de los ensayos para los límites de Atterberg de ambos suelos, con el propósito de determinar el comportamiento plástico del suelo en su estado natural.

La Muestra 1 (M1) presenta un límite líquido del 28,10% y un índice de plasticidad del 6,92%. Estos valores indican que el material posee una baja plasticidad, lo que indica una baja capacidad de retención de agua en comparación con suelo más plásticos. Por otro lado, la Muestra 2 (M2) registró un límite del 56,20% y un índice de plasticidad de 10,72%. Al superar el valor del 50% en el límite líquido, esta muestra se puede categorizar como un suelo de alta plasticidad.

TABLA XX :LÍMITES DE ATTERBERG

ID Muestra	Límites de Atterberg		
	LL%	LP%	IP%
M1	28,10%	21,18%	6,92%
M2	56,20%	45,48%	10,72%

d) Clasificación de suelos SUCS y AASHTO

Una vez analizado los resultados de granulometría y límites de Atterberg, se procedió a la clasificación de las muestras bajo las normativas SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos) y AASHTO. Con el fin de guiar la investigación hacia el diseño y evaluación de infraestructuras viales, se tomará el sistema AASHTO como método principal de análisis, debido a que se evalúa el desempeño del material como subrasante vial, complementándose con los criterios de plasticidad del sistema SUCS. Los datos se presentan en la TABLA XXI.

Para la Muestra 1 (M1) recolectada en la provincia de Tungurahua, el sistema SUCS determina una clasificación de SC-SM (Arena arcillo-limosa), lo cual se puede visualizar gráficamente en la Fig 20. Esta identificación responde a que el material es mayormente grueso, con un 63,77% de arena, pero también posee un porcentaje importante de finos del 36,23% que brindan un comportamiento plástico moderado. Debido a un bajo límite líquido del 28,10%, es un suelo poco sensible a los cambios de humedad. Por su parte, el sistema AASHTO lo clasifica como un A-4 (ver Fig 21), determinándolo como un suelo limoso de calidad regular a malo.

La Muestra 2 obtenida en la provincia de Pastaza presenta características más desfavorables para la infraestructura vial. Bajo el sistema AASHTO, y priorizando el diseño de carreteras, la M2 se clasifica como A-7-5 tal como se muestra en la Fig 21, catalogándose como un suelo principalmente arcilloso de calidad regular a mala para subrasante. Esto porque su índice de plasticidad de 10,72% demuestra que el material es altamente inestable bajo cargas de tráfico. Por su parte, en el sistema SUCS se clasifica como MH (limo de alta plasticidad), debido a que tiene un alto porcentaje de finos de 50,63% y un elevado límite líquido del 56,20%, ubicándose debajo de la línea A en la carta de plasticidad en la Fig 20. Esto demuestra que, si bien el sistema SUCS indica que es un suelo limoso, para el diseño vial se prioriza la clasificación AASHTO. Esta norma lo define como un suelo arcilloso inestable y muy sensible al agua, propenso a deformarse bajo las cargas del tráfico.

TABLA XXI: CLASIFICACIÓN DE SUELOS

ID Muestra	Límites de Atterberg			Clasificación	Granulometría			Tipo de suelo
	LL %	LP %	IP %		Grava %	Arena %	Limos y Arcillas %	
M1	28,10%	21,18%	6,92%	AASHTO	0,54%	63,23%	36,23%	A-4
				SUCS	0,04%	63,77%	36,23%	SC-SM
M2	56,20%	45,48%	10,72%	AASHTO	0,26%	49,11%	50,63%	A-7-5
				SUCS	0,00%	49,37%	50,63%	MH

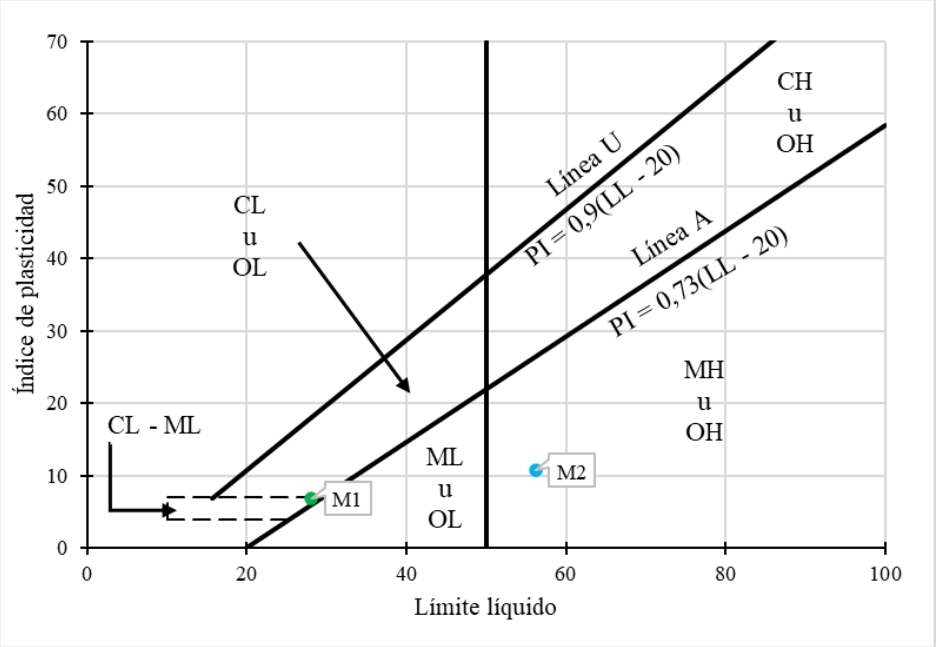


Fig. 20 Muestras de suelo en la carta de plasticidad SUCS

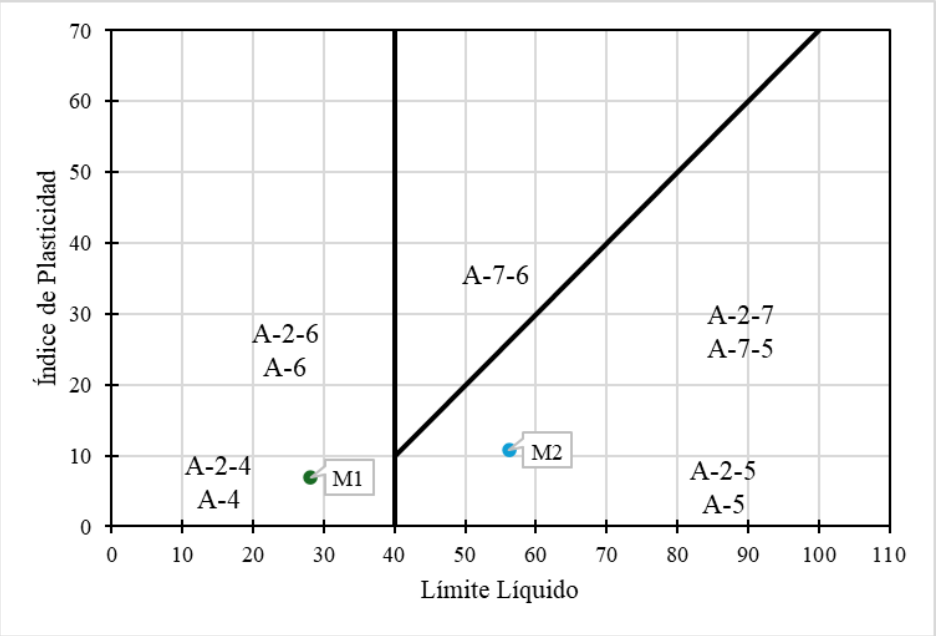


Fig. 21 Muestras de suelo en la carta de plasticidad AASHTO

FASE 2

1) Resultados de las Mezclas de Suelo con Adición de CVH

a) Límites de Atterberg

En la TABLA XXII se presentan de manera cuantitativa los límites de consistencia obtenidos para ambas muestras tras la adición del 2%, 3% y 5% de ceniza de vaina de haba (CVH), comparados con sus valores en estado natural.

En la Muestra 1 (M1) se revela un incremento en el límite líquido a medida que se añade la ceniza de vaina de haba (CVH), partiendo de un valor inicial en estado natural de 28,10% para luego incrementarse a 36,30% con el 2% de adición, a 37,50% con el 3%, y alcanzando un valor máximo de 37,85%, con el 5% de CVH. De manera similar, el límite plástico muestra una tendencia a aumentar al pasar de un 21,18% en su estado natural a un 30,69% con el 2% de ceniza, logrando un valor máximo de 33,48% con el 3% y finalmente un 33,39% con el 5% de ceniza. Como resultado de estas variaciones, el índice de plasticidad experimenta un descenso respecto a su estado natural de 6,92%, reduciéndose a un 5,61% con la adición del 2% de CVH, obteniendo un valor mínimo de 4,02% con el 3% de dosificación, y registrando un ligero incremento final de 4,46% al alcanzar la dosificación del 5%.

Por otro lado, la Muestra 2 (M2) experimenta una reducción general del límite líquido con respecto a su estado natural de 56,20% al ser mezclado con el CVH, registrando un valor de 51,90% con el 2% de CVH, para luego presentar un ligero incremento a 52,50% con el 3% y situarse en un 54,10% con el 5% de adición. Por otra parte, el límite plástico disminuye inicialmente de un 45,48% en su estado natural a un 42,04% con el 2% de dosificación, para después incrementarse de forma gradual a un 43,97% con el 3% y alcanzar su valor más alto de 46,43% con el 5% de CVH. Finalmente, el índice de plasticidad muestra una reducción constante en comparación con el valor del suelo original de 10,72%, descendiendo a un 9,86% con el 2% de CVH, bajando a un 8,53% con el 3% de ceniza y alcanzando su punto más bajo con un 7,67% al añadir el 5% de ceniza.

TABLA XXII: LÍMITES DE ATTERBERG CON ADICIÓN DE CVH

ID Muestra	Descripción	Límites de Atterberg		
		LL%	LP%	IP%
M1	Natural	28,10%	21,18%	6,92%
	2% CVH	36,30%	30,69%	5,61%
	3% CVH	37,50%	33,48%	4,02%
	5% CVH	37,85%	33,39%	4,46%
M2	Natural	56,20%	45,48%	10,72%
	2% CVH	51,90%	42,04%	9,86%
	3% CVH	52,50%	43,97%	8,53%
	5% CVH	54,10%	46,43%	7,67%

b) Ensayo Proctor Modificado

Los datos correspondientes al Contenido de Humedad Óptimo y la Densidad Seca Máxima obtenidos mediante el Proctor Modificado se presentan en la TABLA XXIII, comparando sus condiciones en estado natural con las mezclas de Ceniza de Vaina de Haba (CVH).

En la Muestra 1 los resultados de compactación muestran variaciones en sus propiedades al añadir el aditivo. El contenido de humedad óptimo, que en estado natural fue de 22,86%, experimenta un leve aumento inicial al situarse en 22,91% con la adición del 2% de CVH, posteriormente, desciende ligeramente a un 22,54% con el 3% de ceniza, para finalmente aumentar de forma significativa hasta un valor máximo de 25,65% al adicionar el 5% de ceniza. Por otro lado, en la densidad seca máxima, se observa una reducción respecto al suelo en estado natural, el cual partió de un valor de 1,585 g/cm3 para disminuir a 1,434 g/cm3 con el 2% de CVH. Con el 3% de ceniza se observa una recuperación menor de 1,437 g/cm3, para finalmente descender a un valor más bajo de 1,377 g/cm3 con el 5% de ceniza.

La Muestra 2 en cambio refleja un comportamiento diferente bajo el proceso de compactación. El contenido de humedad óptimo muestra una tendencia a incrementar a medida que aumenta el porcentaje de ceniza, partiendo de un 32,02% en estado natural, para luego subir a 34,18% con el 2% de CVH, a 36,06% con el 3% y alcanzando su punto más alto con un 37,56% bajo la dosificación del 5%. Por otro lado, la densidad seca máxima presenta un descenso al pasar de un valor de 1,450 g/cm3 a 1,387 g/cm3 con la adición del 2% de CVH. No obstante, a partir de este punto se aprecia un incremento gradual en los valores de densidad al

obtener 1,398 g/cm3 con el 3% de ceniza y 1,403 g/cm3 con la adición del 5% de CVH, manteniéndose en todos los casos por debajo de la densidad del suelo en estado natural.

TABLA XXIII: PROCTOR MODIFICADO CON LA ADICIÓN DE CVH

ID Muestra	Descripción	Contenido de Humedad Óptimo (W%)	Densidad Seca Máxima (gr/cm3)
M1	Natural	22,86%	1,585
	2% CVH	22,91%	1,434
	3% CVH	22,54%	1,437
	5% CVH	25,65%	1,377
M2	Natural	32,02%	1,450
	2% CVH	34,18%	1,387
	3% CVH	36,06%	1,398
	5% CVH	37,56%	1,403

c) Ensayo CBR (California Bearing Ratio)

En la TABLA XXIV, se demuestran los valores experimentales del ensayo CBR (California Bearing Ratio) medidos al 95% de la densidad seca máxima, comparando el comportamiento del suelo en estado natural frente a las dosificaciones con Ceniza de vaina de haba (CVH).

En la Muestra 1 los resultados demuestran que la adición de la ceniza genera un impacto positivo en la capacidad de soporte del suelo. En estado natural, el suelo registra un CBR de 17,30%. Al añadir el 2% de CVH, la resistencia experimenta un incremento alcanzando un valor de 19,30%. El aumento más significativo se registró con la adición del 3% de CVH, donde el CBR aumenta hasta un 25,60%, representando una mejora importante en la resistencia del suelo. Sin embargo, al elevar la cantidad de ceniza al 5% se registró una pérdida de resistencia que redujo el CBR a un 22,50%.

La Muestra 2 revela una tendencia a aumentar constantemente en la capacidad de soporte del suelo conforme aumenta el porcentaje de ceniza. En su condición natural, este suelo presenta una resistencia baja, con un valor de CBR de apenas 6,55%. Con la adición del 2% de CVH, se observa una mejora inicial que sitúa al CBR en un 7,60%. Al incrementar la dosificación al 3% de CVH, el suelo experimenta un aumento notable alcanzando un CBR de 10,70%. Finalmente, con la incorporación del 5% de ceniza, se registra el valor máximo de resistencia de CBR con un 11,20%, logrando duplicar la capacidad de soporte del suelo.

TABLA XXIV: CBR CON LA ADICIÓN DE CVH

ID Muestra	Descripción	Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	Densidad Seca 95% (gr/cm3)	CBR %
M1	Natural	1,585	1,506	17,30%
	2% CVH	1,434	1,362	19,30%
	3% CVH	1,437	1,365	25,60%
	5% CVH	1,377	1,308	22,50%
M2	Natural	1,450	1,378	6,55%
	2% CVH	1,387	1,318	7,60%
	3% CVH	1,398	1,328	10,70%
	5% CVH	1,403	1,333	11,20%

FASE 3

1) Análisis comparativo de resultados con la adición de CVH

a) Límites de Atterberg

Para entender cómo influye la Ceniza de Vaina de Haba (CVH) en la plasticidad, se analizó el comportamiento del Límite Líquido (LL), Límite Plástico (LP) y el Índice de Plasticidad (IP). Este análisis permite evaluar que tan sensible es el suelo al agua y como mejora con la adición de la CVH.

Muestra 1 (M1- San Antonio de Pasa)

La Muestra 1, representada en la Fig 22, se observa un incremento tanto en el límite líquido como en el límite plástico conforme la adición de CVH. El límite líquido subió de 28,10% en estado natural a un máximo de 37,85% con el 5% de CVH. Este comportamiento se relaciona con las propiedades físicas de la ceniza al ser un material poroso que absorbe una mayor cantidad de agua. Sin embargo, como el límite plástico se va incrementando, alcanzando un punto óptimo de 33,48% con el 3% de CVH. El Índice de Plasticidad (IP) desciende desde un 6,92% original hasta un valor mínimo de 4,02% al añadir el 3% de ceniza, lo que representa una disminución del 41,87% en la plasticidad del suelo. Este comportamiento reduce la capacidad del suelo de retener el agua, disminuyendo su sensibilidad a deformaciones bajo cargas. Al añadir el 5% de ceniza el IP volvió a subir ligeramente a 4,46% debido por la saturación de humedad en las partículas porosas de la ceniza.

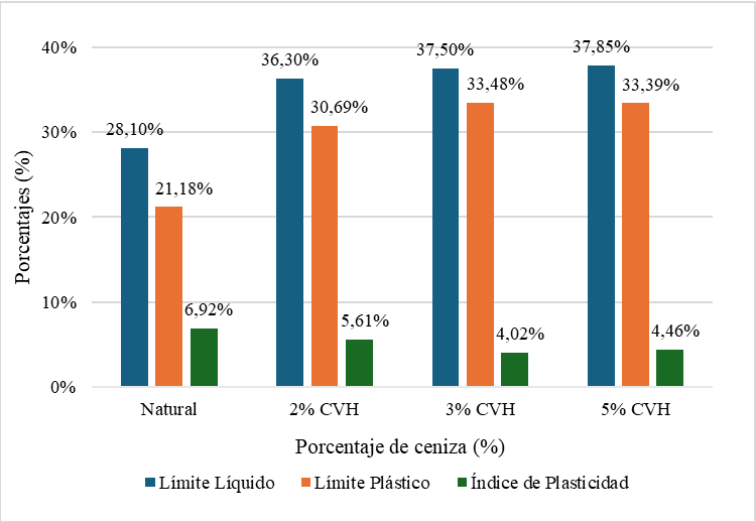


Fig. 22 Límites de Atterberg del suelo M1 con la adición de CVH

Muestra 2 (M2- Vía al Tena)

En este suelo arcilloso se mostró un comportamiento diferente debido a su alta cohesión, tal como se muestra en la Fig 23. En estado natural, el suelo presenta una alta plasticidad con un LL de 56,20% y un IP de 10,72%. Al agregar la Ceniza de Vaina de Haba (CVH) el límite líquido disminuyó en todos los porcentajes de ceniza en comparación con el suelo en estado natural. Por otra parte, el índice de plasticidad muestra una reducción constante con cada contenido de ceniza, descendiendo a 9,86% con el 2% de CVH, bajando a 8,53% con el 3% y alcanzando su punto más bajo con un 7,67% al llegar al 5% de CVH. Este valor representa una reducción del 28,46% de la plasticidad original del suelo.

Este cambio se puede deber a la composición química de la ceniza, rica en Potasio (40,27%), Calcio (4,10%) y Magnesio (3,40%). Que al mezclarse con el agua el suelo se comporta como un material más grueso, perdiendo su capacidad de retener agua mejorando así la trabajabilidad del suelo.

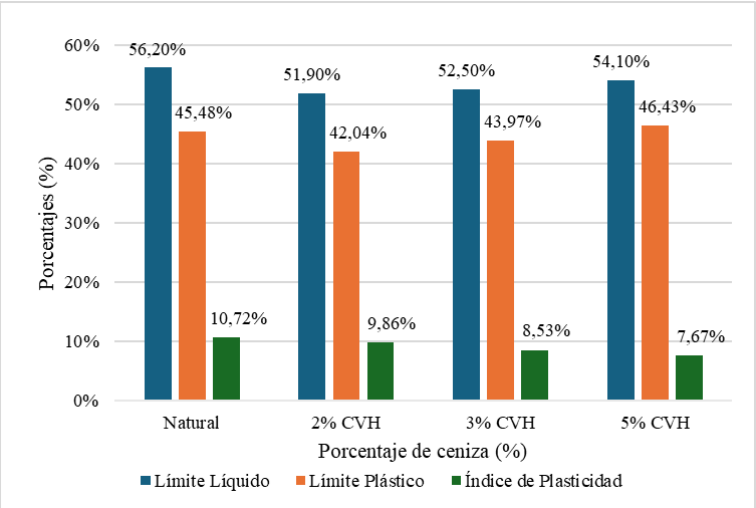


Fig. 23 Límites de Atterberg del suelo M2 con la adición de CVH

b) Proctor Modificado

Muestra 1 (M1- San Antonio de Pasa)

En la Fig 24. se muestra el comportamiento que tiene la densidad seca máxima y la humedad óptima del suelo al adicionarse diferentes porcentajes de CVH. La humedad óptima se mantiene casi igual con el 2% de ceniza teniendo un 22,91% de contenido de humedad y el 3% de ceniza con un 22,54%, pero este aumenta notablemente al llegar al 5% de CVH. Este aumento puede ocurrir por el exceso de ceniza ya que funciona como una esponja que absorbe y retiene agua, necesitando más humedad para poder compactar el suelo adecuadamente.

Por otra parte, la densidad seca máxima disminuye inicialmente con el 2% de ceniza, debido a que la CVH es un material orgánico mucho más ligero que el suelo natural. Sin embargo, al llegar al 3% de CVH, la densidad se va recuperando esto se puede deber a que la ceniza actúa como un material de relleno, donde las partículas finas de la ceniza ocupan espacios vacíos en el suelo. Del mismo modo con la presencia de elementos de Calcio y Magnesio pueden generar reacciones puzolánicas menores, estos compuestos en conjunto con el Potasio que reduce la plasticidad del suelo, uniendo las partículas haciéndolas más firmes y mejorando su compactación. Finalmente, al añadir el 5% de CVH, el exceso de este material tan liviano satura la mezcla reduciendo nuevamente la densidad.

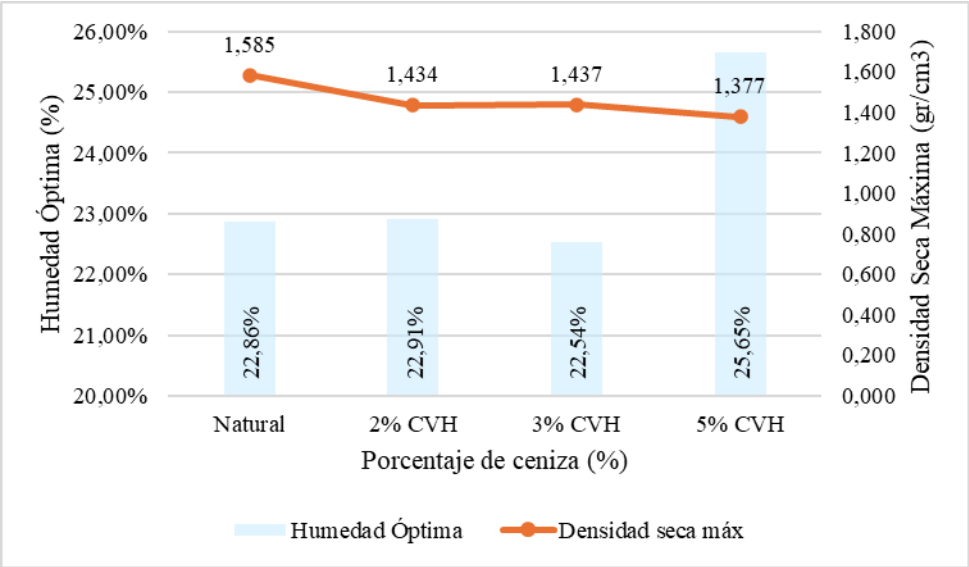


Fig. 24 Resultados del Proctor Modificado de la M1 con la adición de CVH

Muestra 2 (M2- Vía al Tena)

En la Fig 25 se muestran los resultados correspondientes del suelo M2. En este caso, el contenido de humedad óptimo muestra un incremento constante con cada adición de ceniza, subiendo de un 32,02% en estado natural hasta alcanzar un máximo de 37,56% con el 5% de CVH. Esto se debe a que el suelo es altamente cohesivo y al mezclarse con la estructura porosa de la ceniza, el suelo demanda más agua para llegar a su humedad óptima.

En cuanto a la densidad seca máxima, se registra una caída con el 2% de CVH, pasando de 1,450 g/cm3 a 1,387 g/cm3, debido a que la ceniza es un material más ligero que el suelo. Sin embargo, al subir al 3% con 1,398 g/cm3 y al 5% de CVH con 1,403 g/cm3, la densidad experimenta un aumento continuo. Este incremento se debe a la composición química de la ceniza, como el Potasio que reduce su plasticidad y obligando a que las partículas finas se unan en partículas más gruesas y firmes. Por otro lado, el contenido de Calcio y Magnesio, aunque en menores proporciones reaccionan puzolánicamente con el suelo, desarrollando compuestos cementantes que mantienen unidas estas partículas, logrando así una mejor compactación del suelo.

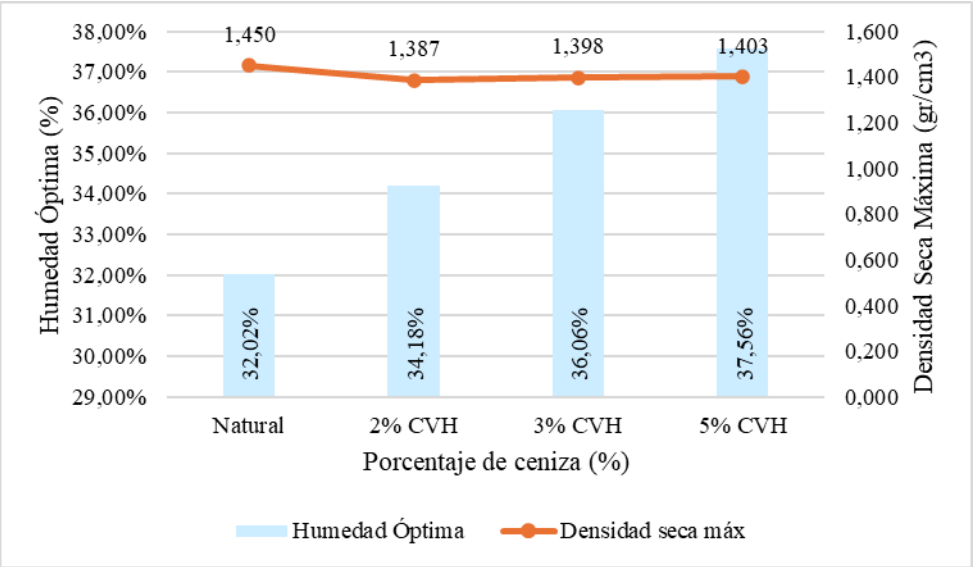


Fig. 25 Resultados del Proctor Modificado de la M2 con la adición de CVH

c) CBR (California Bearing Ratio)

Muestra 1 (M1- San Antonio de Pasa)

En la TABLA XXV se puede observar que el suelo natural inicia con un CBR de 17,30%, alcanzando una clasificación de Regular, por lo que puede usarse como una subbase. Al añadir el 2% de ceniza, la resistencia sube a 19,30%, y logra aumentar con el 3% de CVH, alcanzando un CBR de 25,60% lo que mejora su clasificación a Bueno y poder usarlo como una Base.

Este aumento de resistencia ocurre porque las partículas de la ceniza llenan espacios vacíos en el suelo mejorando su uniformidad y haciéndolo más estable ante cargas, haciendo que el suelo se vuelva más rígido y mejore su compactación ante cargas pesadas sin deformarse. Sin embargo, con el 5% de CVH, la resistencia baja a 22,50% debido a que el exceso de ceniza, al ser un material muy liviano, también puede quitarle firmeza al suelo.

Muestra 2 (M2- Vía al Tena)

En este suelo arcilloso, la resistencia aumenta de manera constante con cada porcentaje de ceniza. En estado natural, el suelo tiene un CBR bajo de 6,55% por lo que tiene una clasificación de Pobre a Regular sirviendo como una subrasante. Al añadir el 2% de CVH sube a 7,60% y al llegar al 3% y 5% da un gran aumento llegando a 10,70% y 11,20% logrando mejorar su clasificación a Regular y poder usarlo como una Subbase.

Esta mejora se debe a que los suelos arcillosos son muy sensibles al agua, por lo que tiende a deformarse y perder resistencia ante cargas. La adición de la ceniza de vaina de haba ayuda a disminuir la plasticidad y la textura pegajosa característica de la arcilla, formando una estructura más estable, esto por la presencia de elementos como el Potasio que ayuda a reducir la capacidad de absorber el agua de la arcilla, mientras que elementos como el calcio o el magnesio, pueden contribuir al desarrollo de reacciones puzolánicas y cementantes, generando una mayor capacidad de resistencia del suelo.

TABLA XXV: RESULTADOS DE CBR Y SU CLASIFICACIÓN

ID Muestra	Descripción	CBR %	Clasificación	Usos
M1	Natural	17,30%	Regular	Sub base
	2% CVH	19,30%	Regular	Sub base
	3% CVH	25,60%	Bueno	Base Sub base
	5% CVH	22,50%	Bueno	Base Sub base
M2	Natural	6,55%	Pobre a regular	Subrasante
	2% CVH	7,60%	Pobre a regular	Subrasante
	3% CVH	10,70%	Regular	Sub base
	5% CVH	11,20%	Regular	Sub base

2) Determinación del porcentaje óptimo

La determinación del porcentaje óptimo de ceniza se va a obtener mediante su comportamiento en el Índice de Plasticidad, humedad y su capacidad portante (CBR) del suelo. Con base en los resultados presentados anteriormente, se evidencia que el principal potencial de la ceniza está en su comportamiento sobre el Índice de Plasticidad, al añadir la ceniza esta disminuye la sensibilidad del material ante el agua y modifica su estructura interna, sirviendo como aspecto fundamental para definir cuál es el porcentaje óptimo que equilibre una mejora del suelo con su resistencia ante cargas.

Muestra 1 (M1- San Antonio de Pasa)

Para la primera muestra de suelo M1 los resultados en la Fig 26 demuestran el 3% de CVH como la dosificación óptima del suelo. Con este porcentaje, el Índice de Plasticidad alcanza su valor más bajo de 4,02%, otorgando al suelo limoso una mejor estabilidad y reduciendo su sensibilidad al agua. Esta mejora física permite una organización mejor de partículas de suelo

durante la compactación, lo que influye en una mejora en su resistencia portante, teniendo un valor máximo de 25,60% y con una humedad de 22,54%, mejorando así mismo su clasificación a un material bueno como Base o Subbase. Por otro lado, con la adición del 5% de ceniza, el exceso de este material satura la mezcla lo que reduce la estabilidad del suelo y disminuye la resistencia a 22,50% y eleva el IP a 4,46%, lo que confirma el 3% como la dosificación más eficiente.

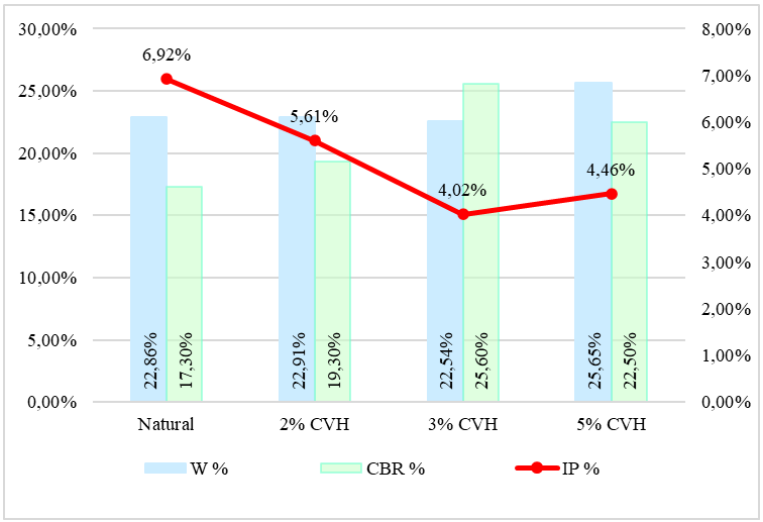


Fig. 26 Relación óptima de la muestra M1 con la adición de CVH

Muestra 2 (M2- Vía al Tena)

Para la Muestra 2, el suelo arcilloso muestra al 5% de CVH como el porcentaje óptimo de estabilización. Esto porque con esta dosificación se registran los mejores resultados mostrados en la Fig 27, ya que el Índice de Plasticidad se reduce a su punto más bajo es decir 7,67%, logrando una disminución del 28,46% de plasticidad, mientras que su capacidad portante alcanza su valor máximo con un CBR de 11,20%. Este comportamiento permite que el material funcione de forma eficiente y menos deformable cumpliendo como una subbase regular.

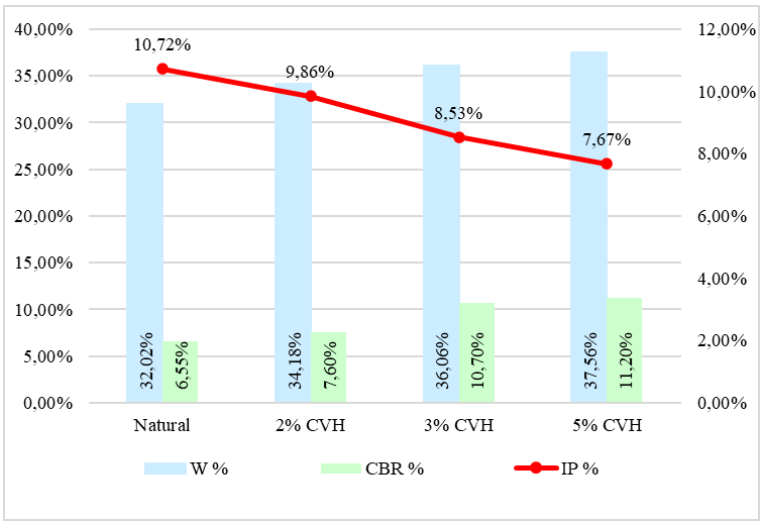


Fig. 27 Relación óptima de la muestra M2 con la adición de CVH

II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS

La adición de la Ceniza de Vaina de Haba (CVH) como material estabilizador mejora las propiedades físico-mecánicas de los suelos, incrementando la capacidad portante (CBR) y reduciendo el Índice de Plasticidad (IP) en comparación con el suelo natural, alcanzando un desempeño óptimo con la adición del 2%,3% y 5%.

Los resultados obtenidos corroboran la hipótesis, confirmando que la adición de la ceniza de vaina de haba produce una mejora técnica en el comportamiento de los suelos ensayados, incrementando la resistencia y demostrando la existencia de un porcentaje óptimo que demuestra su potencial como un material de estabilización alternativo.

B. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Con el fin de comprobar la significancia de los resultados obtenidos y validar la metodología experimental empleada, la verificación de la hipótesis se realizó midiendo la eficiencia de la ceniza de vaina de haba tanto en la reducción de la plasticidad como en el incremento de la capacidad de soporte del suelo. Para este propósito, se aplicó el método de variación porcentual, describiendo gráfica y matemáticamente la magnitud del impacto de este aditivo.

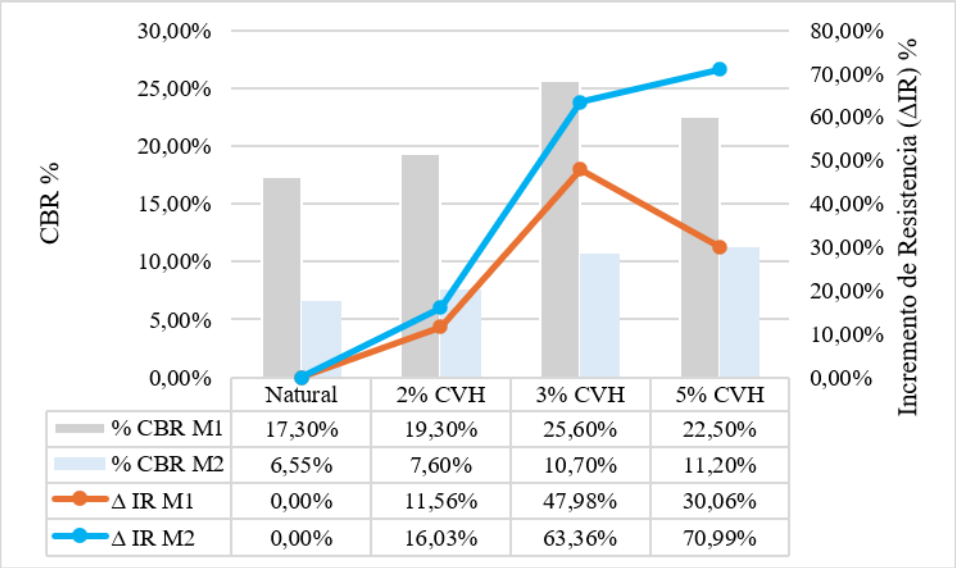
1) Evaluación del comportamiento de la Capacidad Portante (CBR)

La hipótesis se verifica de manera clara al registrarse los incrementos significativos de la capacidad portante del suelo compactado. Para validar matemáticamente la magnitud de esta mejora con respecto al suelo natural, se aplicó la siguiente ecuación del Incremento de Resistencia (ΔIR):

$$\Delta IR = \left(\frac{CBR_{\%\,CVH} - CBR_{natural}}{CBR_{natural}}\right) * 100 \qquad (11)$$

Por un lado, la Muestra 1 cumple la hipótesis al alcanzar su desempeño óptimo con el 3% de CVH, elevando su CBR un 17,30% en estado natural hasta un valor máximo de 25,60%, lo que representa un Incremento de Resistencia (ΔIR) del 47,98%, mientras que en la Muestra 2 la hipótesis se verifica con la dosificación del 5% de CVH, logrando que la resistencia base de

6,55% se incremente notablemente hasta un 11,20%, lo que confirma un ΔIR del 70,99% y demuestra de manera cuantitativa la efectividad del residuo agroindustrial en la estabilización de suelos.



	Natural	2% CVH	3% CVH	5% CVH
% CBR M1	17,30%	19,30%	25,60%	22,50%
% CBR M2	6,55%	7,60%	10,70%	11,20%
Δ IR M1	0,00%	11,56%	47,98%	30,06%
Δ IR M2	0,00%	16,03%	63,36%	70,99%

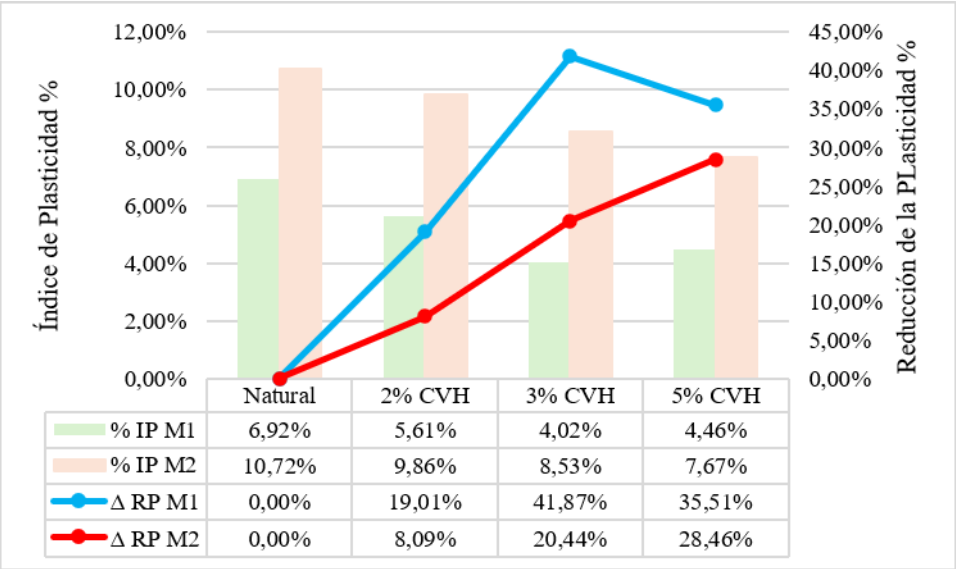
Fig. 28 Análisis estadístico del Incremento de Resistencia (ΔIR) con la adición de CVH.

2) Evaluación del comportamiento de la Plasticidad (IP)

Este comportamiento se evidencia mediante la reducción del IP reflejada en los ensayos de laboratorio. Para cuantificar la magnitud de este cambio con respecto a su estado natural, se aplicó la siguiente ecuación de la Reducción de Plasticidad (ΔRP):

$$\Delta RP = \left(\frac{IP_{natural} - IP_{\%CVH}}{IP_{natural}}\right) * 100 \quad (12)$$

La muestra M1 cumple con la hipótesis al alcanzar su máxima estabilidad con la adición del 3% de CVH, logrando reducir su IP desde un 6,92% inicial hasta un valor mínimo de 4,02%, lo que representa una Reducción de Plasticidad (ΔRP) del 41,87%, por otra parte, en la Muestra 2 la hipótesis se cumple con la dosificación del 5% de CVH, donde el IP disminuye desde un valor critico de 10,72% hasta un valor de 7,67% resultando en un ΔRP del 28,46% que demuestra la eficiencia del residuo agroindustrial para reducir la sensibilidad del agua en subrasantes viales.



	Natural	2% CVH	3% CVH	5% CVH
% IP M1	6,92%	5,61%	4,02%	4,46%
% IP M2	10,72%	9,86%	8,53%	7,67%
Δ RP M1	0,00%	19,01%	41,87%	35,51%
Δ RP M2	0,00%	8,09%	20,44%	28,46%

Fig. 29 Análisis estadístico de la Reducción de la Plasticidad (ΔRP) con la adición de CVH.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. CONCLUSIONES

- Se seleccionaron y prepararon las muestras de los distintos tipos de suelos y la ceniza de vaina de haba para la elaboración de las probetas de ensayo. En la preparación de la ceniza obtuvimos resultados que demostraron que la vaina de haba está constituida por el 85,02% de agua, evidenciándose una pérdida de masa tras el secado natural; además, mediante el proceso de incineración controlada a 550°C, se alcanzó un rendimiento de 7,32% de material orgánico en la elaboración de la ceniza. En cuanto a los resultados obtenidos en el FRX, el análisis químico determinó al potasio como el componente mayoritario con un 40,27%, complementado por otros elementos como el Calcio con un 4,10% y Magnesio con 3,40%. De modo general resultando que con facilidad se puede aumentar las propiedades de la subrasante con esta aplicación.
- Se analizaron las propiedades físico-mecánicas del suelo natural, lo que permitió establecer el diferente comportamiento entre los dos suelos estudiados. La Muestra 1 (M1) proviene de la parroquia San Antonio de Pasa, que presentó un contenido de humedad natural del 35,85%. Desde el punto de vista de la plasticidad, se obtuvo un límite líquido de 28,10% y un Índice de plasticidad de 6,92%, clasificándose como un suelo de baja plasticidad. Con base en estos datos se identificó como una arena limo-arcillosa (SC-SM) según la SUCS y como un suelo limoso (A-4) según la AASHTO. En el ensayo Proctor Modificado se determinó una humedad óptima de 22,86% y una densidad seca máxima de 1,585 g/cm³, por lo que se obtuvo una capacidad portante inicial con un CBR de 17,30% clasificada como una subrasante de calidad regular. Por otro lado, la Muestra 2 (M2), extraída en la vía al Tena en la parroquia Teniente Hugo Ortiz, presentó un elevado contenido de humedad natural del 58,62%. Con un Límite Líquido de 56,20% y un Índice de plasticidad de 10,72%, se clasificó como limo de alta plasticidad (MH) según la SUCS y como un suelo arcilloso (A-7-5) inestable según AASHTO. Su ensayo de Proctor Modificado mostró una humedad óptima de 32,02% y una densidad seca máxima de 1,450 g/cm³, explicando su baja capacidad portante con un CBR de apenas 6,55% (calidad pobre a regular).

- Se incorporaron en las probetas de ensayo los porcentajes de 2%, 3% y 5% de ceniza de vaina de haba, evidenciando cambios en las curvas del Proctor Modificado y mejoras en la capacidad de soporte de ambos suelos. En la Muestra 1 (M1), la densidad seca máxima disminuyó a 1,434 g/cm³ con 2% de CVH, alcanzando una recuperación a 1,437 g/cm³ con el 3% debido a que las partículas finas funcionaron como material de relleno, para finalmente caer a 1,377 g/cm³ con el 5%. El CBR de M1 demostró un incremento pasando de 17,30% a 19,30% con el 2%, alcanzando su punto más alto de 25,60% con el 3%, y sufriendo una pérdida de resistencia a 22,50% con el 5% por saturación de material liviano. En la Muestra 2 (M2), la densidad seca máxima sufrió un descenso inicial a 1,387 g/cm³ con el 2% de CVH, pero mostró un incremento continuo con el 3% (1,398 g/cm³) y el 5% (1,403 g/cm³), mientras que su humedad óptima aumentó hasta un 37,56% con el 5% debido a la porosidad de la ceniza. Este cambio duplicó la capacidad portante de M2, cuyo CBR ascendió constantemente desde 6,55% a 7,60% con el 2%, 10,70% con el 3% y un óptimo de 11,20% con la dosificación del 5%.
- Al determinar el porcentaje óptimo que mejore las propiedades físico-mecánicas del suelo, se demostró que la efectividad de la CVH está ligada de forma directa a la reducción del índice de Plasticidad, validando con ello la hipótesis de investigación. Para la Muestra 1 (M1) limosa, se estableció que el 3% de CVH es la dosificación óptima, reduciendo su índice de plasticidad a 4,02% (una reducción del 41,87%) y alcanzando un CBR máximo de 25,60%, mejorando la calidad de la subrasante a un material apto para base o subbase vial. Por otro lado, en la Muestra 2 (M2) arcillosa, el contenido óptimo se estableció en el 5% de CVH, descendiendo su índice de plasticidad a 7,67% (reducción del 28,46%) y obteniendo un CBR máximo de 11,20%, permitiendo que este material altamente cohesivo se comporte de forma más estable y menos deformable. Estos comportamientos confirman que el uso de este residuo agroindustrial es válido como material alternativo para la optimización de subrasantes viales.

II. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar combinaciones de ceniza de vaina de haba con cal o cemento en futuras investigaciones. Como la ceniza sola funciona más como un mejorador del suelo y tiene muy poca sílice (0.63%), mezclarla con cal o cemento ayudará a conseguir una mayor resistencia utilizando menos cantidad de material en proyectos viales.
- Se aconseja investigar los gases que se liberan al aire durante la quema de la vaina de haba, tanto de forma artesanal como industrial. Esto permitirá desarrollar guías de mejores prácticas para asegurar que el proceso no contamine el medio ambiente y sea seguro para la salud de las personas.
- Debido a que esta investigación se concentró en un suelo limoso y en uno arcilloso, se sugiere ensayar el comportamiento de la ceniza en arenas limpias o suelos con niveles intermedios de plasticidad para investigar los resultados obtenidos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] H. C. Torres y L. V. R. Carbajal, "Reutilización de Cenizas y Subproductos Agrícolas Para la Mejora de la Subrasante en Caminos de Afirmado", *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 9, nº 6, pp. 4998–5010, 2025, doi: 10.37811/CL_RCM.V9I6.21609.

[2] A. Murillo I. *et al.*, "INIAP 442 Sultana Variedad Mejorada de Haba (Vicia faba l.) de Grano Grande para Consumo en Tierno", 2023, *Quito, EC: INIAP-EESC, 2023*. Accedido: 31 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/6048

[3] E. De, L. C. De, L. A. Ceniza, D. E. La, y C. De, "Evaluación de la capacidad de la ceniza de la cáscara de coco como estabilizador de suelos", 2025, *Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera Ingeniería Civil*. Accedido: 31 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/45135

[4] A. Del, U. De, C. De, L. H. De, y A. Americana, "Análisis del uso de ceniza de la hoja de Agave Americana (Cabuya) para la estabilización de suelo", 2025, *Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil.* Accedido: 31 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/44174

[5] A. Y. Adama y Y. A. Jimoh, "Effect of Locust Bean Pod Ash on Strength Properties of Weak Soils", *AU J.T*, vol. 16, nº 1, pp. 27–34, 2012.

[6] "(PDF) Stabilization Of Lateritic Soil Using Powdered Locust Bean Pod 'Makuba'". Accedido: 31 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/331963530_STABILIZATION_OF_LATERITIC_SOIL_USING_POWDERED_LOCUST_BEAN_POD_'MAKUBA'

[7] A. Y. Adama, Y. A. Jimoh, y S. S. Kolo, "Effect of Locust Bean Pod Ash on Compaction Characteristics of Weak Sub Grade Soils", vol. 2, nº 1, pp. 25–30, 2013, Accedido: 31 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: www.ijesi.orgwww.ijesi.org

[8] S. Zaffar, A. Kumar, N. A. Memon, R. Kumar, y A. Saand, “Investigating Optimum Conditions for Developing Pozzolanic Ashes from Organic Wastes as Cement Replacing Materials”, *Materials 2022, Vol. 15, Page 2320*, vol. 15, nº 6, p. 2320, mar. 2022, doi: 10.3390/MA15062320.

[9] E. Marguí, I. Queralt, y E. de Almeida, “X-ray fluorescence spectrometry for environmental analysis: Basic principles, instrumentation, applications and recent trends”, *Chemosphere*, vol. 303, p. 135006, sep. 2022, doi: 10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.135006.

[10] M. Laboratory, “WSDOT Errata to FOP for AASHTO T 265 Laboratory Determination of Moisture Content of Soils”, 2026.

[11] C. Alberto Charles Cruz, “Fundamentos De Suelos”.

[12] W. Á. G. Rodríguez, “Ensayo granulométrico de los suelos mediante el método del tamizado”, *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 7, nº 2, pp. 6908–6927, may 2023, doi: 10.37811/CL_RCM.V7I2.5834.

[13] C. Y. Liu, C. Y. Ku, T. Y. Wu, y Y. C. Ku, “An Advanced Soil Classification Method Employing the Random Forest Technique in Machine Learning”, *Applied Sciences 2024, Vol. 14, Page 7202*, vol. 14, nº 16, p. 7202, ago. 2024, doi: 10.3390/APP14167202.

[14] V. M. C. Vera, J. P. O. Zambrano, y E. O. Hernández, “Determinación de los Límites de Atterberg con uso del penetrómetro cónico para la ciudad de Portoviejo”, *Revista Ingeniería*, vol. 9, nº 25, pp. 121–135, sep. 2025, doi: 10.33996/REVISTAINGENIERIA.V9I25.136.

[15] Joseph E. Bowles, “Manual de Laboratorio De Suelos en Ingeniería Civil”, pp. 6–96, 1978, Accedido: 31 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://stehven.files.wordpress.com/2015/08/josephe-e-bowles-manual-de-laboratorio-de-suelos.pdf

[16] “Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils”, jun. 2017, doi: 10.1520/D4318-17E01.

[17] P. M. Llerena Bonilla, “Análisis para la obtención de límite líquido y límite plástico según la Norma ASTM D4318 en comparación con la norma BS 1377:1990 en suelos de diferente plasticidad.”, 2022, Accedido: 31 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22849

[18] V. A. Aguirre Mejía y S. E. Yépez Andino, “Manual de laboratorio para los ensayos de propiedades físicas y mecánicas de los suelos”, 2019, Accedido: 31 de mayo de 2026. [En línea]. Disponible en: https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17839

[19] W. P. M. Black, “The Calculation of Laboratory and In-situ Values of California Bearing Ratio from Bearing Capacity Data”, *Géotechnique*, vol. 11, nº 1, pp. 14–21, mar. 1961, doi: 10.1680/GEOT.1961.11.1.14.

[20] G. H. Gregory y S. A. Cross, “Correlation of california bearing ratio with shear strength parameters”, *Transp. Res. Rec.*, vol. 1, nº 1989, pp. 148–153, 2007, doi: 10.3141/1989-17;WGROUP:STRING:PUBLICATION.

ANEXOS

Anexo 1: Bitácora de proceso de secado lote 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
PROYECTO:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR			
ELABORADO POR:	Christopher Daniel Carrasco Carrasco		**Lote**	1
REVISADO POR:	Ing. Vanessa López			
DATOS				
Peso Inicial:	13,00kg		**Hora de secado:**	14:00
Peso Final:	2,00kg		**Perdida de agua por secado:**	84,62%
BITACORA PROCESO DE SECADO				
Día	**Fecha:**	**Temperatura promedio (ºC)**	**Humedad Relativa (%)**	**Fotografía**
1	21/2/2026	21,50 °C	19,50%	
2	22/2/2026	24,20 °C	53,00%	
3	23/2/2026	25,20 °C	45,00%	
4	24/2/2026	24,50 °C	44,00%	
5	25/2/2026	18,30 °C	73,00%	
6	26/2/2026	20,80 °C	51,00%	
7	27/2/2026	25,80 °C	70,00%	
8	28/2/2026	19,60 °C	74,00%	

Anexo 2: Bitácora de proceso de secado lote 2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
ELABORADO POR:	Christopher Daniel Carrasco Carrasco	**Lote**	2
REVISADO POR:	Ing. Vanessa López		
DATOS			
Peso Inicial:	10,50kg	**Hora de secado:**	14:00
Peso Final:	1,81kg	**Perdida de agua por secado:**	82,76%

BITACORA PROCESO DE SECADO

Día	Fecha:	Temperatura promedio (ºC)	Humedad Relativa (%)	Fotografía
1	21/2/2026	21,50 °C	19,50%	
2	22/2/2026	24,20 °C	53,00%	
3	23/2/2026	25,20 °C	45,00%	
4	24/2/2026	24,50 °C	44,00%	
5	25/2/2026	18,30 °C	73,00%	
6	26/2/2026	20,80 °C	51,00%	
7	27/2/2026	25,80 °C	70,00%	
8	28/2/2026	19,60 °C	74,00%	

Anexo 3:Bitácora de proceso de secado lote 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVILL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
ELABORADO POR:	Christopher Daniel Carrasco Carrasco	**Lote**	3
REVISADO POR:	Ing. Vanessa López		
DATOS			
Peso Inicial:	17,00kg	**Hora de secado:**	14:00
Peso Final:	1,81kg	**Perdida de agua por secado:**	89,35%

BITACORA PROCESO DE SECADO

Día	Fecha:	Temperatura promedio (ºC)	Humedad Relativa (%)	Fotografía
1	21/2/2026	21,50 °C	19,50%	
2	22/2/2026	24,20 °C	53,00%	
3	23/2/2026	25,20 °C	45,00%	
4	24/2/2026	24,50 °C	44,00%	
5	25/2/2026	18,30 °C	73,00%	
6	26/2/2026	20,80 °C	51,00%	
7	27/2/2026	25,80 °C	70,00%	
8	28/2/2026	19,60 °C	74,00%	

Anexo 4:Bitácora de proceso de secado lote 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVILL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
ELABORADO POR:	Christopher Daniel Carrasco Carrasco	**Lote**	4
REVISADO POR:	Ing. Vanessa López		
DATOS			
Peso Inicial:	36,00kg	**Hora de secado:**	14:00
Peso Final:	6,00kg	**Perdida de agua por secado:**	83,33%

BITACORA PROCESO DE SECADO

Día	Fecha:	Temperatura promedio (ºC)	Humedad Relativa (%)	Fotografía
1	21/2/2026	21,50 °C	19,50%	
2	22/2/2026	24,20 °C	53,00%	
3	23/2/2026	25,20 °C	45,00%	
4	24/2/2026	24,50 °C	44,00%	
5	25/2/2026	18,30 °C	73,00%	
6	26/2/2026	20,80 °C	51,00%	
7	27/2/2026	25,80 °C	70,00%	
8	28/2/2026	19,60 °C	74,00%	

Anexo 5:Bitácora proceso de ceniza lote 1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVILL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
ELABORADO POR:	Christopher Daniel Carrasco Carrasco	**Lote**	1
REVISADO POR:	Ing. Vanessa López		
DATOS			
Fecha:	2/3/2026	**Hora inicial de incineración:**	16:00
Temperatura:	550 °C	**Hora final de incineración:**	19:00

CONTROL DE MUESTRAS PREVIO A LA INCINERACIÓN

Monto	Cantidad	Fotografía
1	2,00 kg	
2	1,81 kg	
3	2,72 kg	
4	6,00 kg	

RESULTADOS DE POST-INCINERACIÓN

Monto	Cantidad	Fotografía
1	890,91 gr	

RESULTADOS			
Peso total que se incinero:	12,53 kg	**Total de ceniza:**	890,91 gr
Rendimiento		7,11%	

Anexo 6:Bitácora proceso de ceniza lote 2

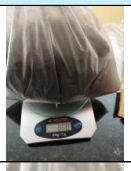
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVILL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
ELABORADO POR:	Christopher Daniel Carrasco Carrasco	**Lote**	2
REVISADO POR:	Ing. Vanessa López		
DATOS			
Fecha:	10/3/2026	**Hora inicial de incineración:**	15:30
Temperatura:	550 °C	**Hora final de incineración:**	18:30

CONTROL DE MUESTRAS PREVIO A LA INCINERACIÓN

Monto	Cantidad	Fotografía
1	6,00 kg	
2	8,00 kg	
3	6,00 kg	
4	6,00 kg	

RESULTADOS DE POST-INCINERACIÓN

Monto	Cantidad	Fotografía
1	808,00 gr	
2	1216,00 gr	

RESULTADOS

Peso total que se incinero:	26,00 kg	**Total de ceniza:**	2024,00 gr
Rendimiento		7,78%	

Anexo 7:Bitácora proceso de ceniza lote 3

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVILL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
ELABORADO POR:	Christopher Daniel Carrasco Carrasco	**Lote**	3
REVISADO POR:	Ing. Vanessa López		
DATOS			
Fecha:	17/3/2026	**Hora inicial de incineración:**	15:30
Temperatura:	550 °C	**Hora final de incineración:**	18:30

CONTROL DE MUESTRAS PREVIO A LA INCINERACIÓN

Monto	Cantidad	Fotografía
1	3,63 kg	
2	6,36 kg	
3	4,55 kg	
4	3,64 kg	
5	5,45 kg	

RESULTADOS DE POST-INCINERACIÓN

Monto	Cantidad	Fotografía
1	513,00 gr	
2	1064,00 gr	

RESULTADOS

Peso total que se incinero:	23,63 kg	**Total de ceniza:**	1577,00 gr
Rendimiento		6,67%	

Anexo 8:Bitácora proceso de ceniza lote 4

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVILL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
ELABORADO POR:	Christopher Daniel Carrasco Carrasco	**Lote**	4
REVISADO POR:	Ing. Vanessa López		
DATOS			
Fecha:	3/4/2026	**Hora inicial de incineración:**	13:10
Temperatura:	550 °C	**Hora final de incineración:**	16:10

CONTROL DE MUESTRAS PREVIO A LA INCINERACIÓN

Monto	Cantidad	Fotografía
1	30,00 kg	

RESULTADOS DE POST-INCINERACIÓN

Monto	Cantidad	Fotografía
1	875,00 gr	
2	1443,00 gr	

RESULTADOS

Peso total que se incinero:	30,00 kg	**Total de ceniza:**	2318,00 gr
Rendimiento		7,73%	

Anexo 9:Ensayo de contenido de humedad natural M1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D2216, AASHTO T265

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 17; 752145,11 m E; 9859592,81 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1	**Provincia:**	Tungurahua

Contenido de Humedad

Descripción	**Unidad**	**Valor**			
Nº de Recipiente	-	P1	P2	P3	P4
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	gr	35,70	35,50	35,30	35,80
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	gr	28,40	28,20	28,00	28,30
Peso del recipiente (Wr)	gr	7,70	7,80	7,60	7,80
Peso del agua (Ww)	gr	7,30	7,30	7,30	7,50
Peso de la muestra seca (Ws)	gr	20,70	20,40	20,40	20,50
Contenido de humedad (W%)	%	35,27%	35,78%	35,78%	36,59%
Promedio (W%)	**%**	**35,85%**			

Anexo 10:Ensayo granulométrico M1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D6913, AASHTO T27

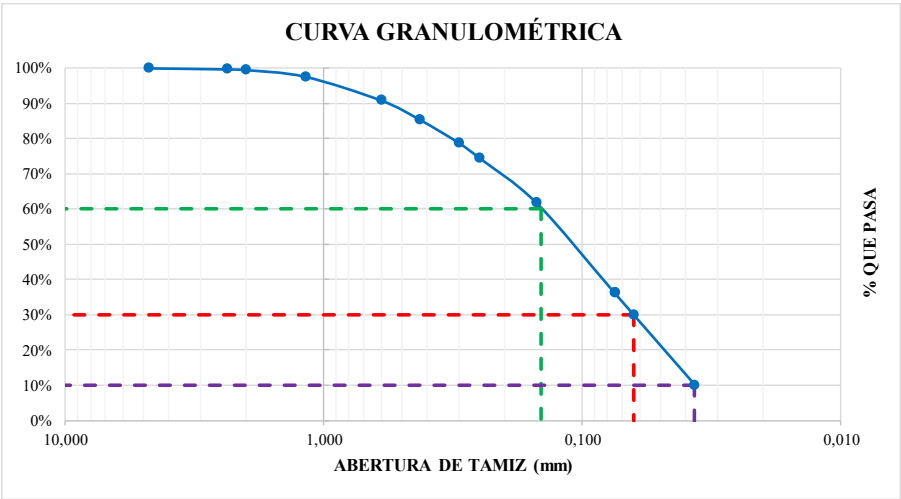
Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR			
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 17; 752145,11 m E; 9859592,81 m S	
Revisado por:	Ing. Vanessa López			
ID Muestra:	Muestra de suelo M1	**Provincia:**	Tungurahua	
		Peso muestra seca:	500	gr

Ensayo Granulométrico

1. Determinación de la granulométria del suelo

# Tamiz	Abertura (mm)	Peso Parcial Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
Nº 4	4,760	0,20	0,20	0,04%	99,96%
Nº 8	2,360	1,50	1,70	0,34%	99,66%
Nº 10	2,000	1,00	2,70	0,54%	99,46%
Nº 16	1,180	9,40	12,10	2,42%	97,58%
Nº 30	0,600	33,70	45,80	9,16%	90,84%
Nº 40	0,425	27,30	73,10	14,62%	85,38%
Nº 50	0,300	33,00	106,10	21,22%	78,78%
Nº 60	0,250	21,30	127,40	25,49%	74,51%
Nº 100	0,150	64,10	191,50	38,31%	61,69%
Nº 200	0,075	127,30	318,80	63,77%	36,23%
Fuente	-	181,10	181,10	36,23%	-
Total		499,90			

2. Gráfico de Distribución Granulométrica



3. Parámetros Granulométricos

Tamaño Nominal Máximo (TNM) =	1,18	**Cu =**	3,95	**Error Permitido =**	1,00%
Diámetro Dimencional (D60) =	0,145				
Diámetro Equiparable (D30) =	0,063	**Cc =**	0,75	**Error Calculado =**	0,02%
Diámetro Efectivo (D10) =	0,037				

4. Porcentaje del materal

	Grava (%)	Arena (%)	Limo y Arcillas (%)
SUCS	0,04%	63,77%	36,23%
AASHTO	0,54%	63,23%	36,23%

5. Clasificación

Por el método SUCS el suelo se clasifica como una Arena limo-arcillosa SC-SM. Mediante el método AASHTO se determinó que se trata de un suelo tipo A-4 lo que corresponde e a un suelo limoso de calidad regular a malo.

Anexo 11:Ensayo Límites de Atterberg M1

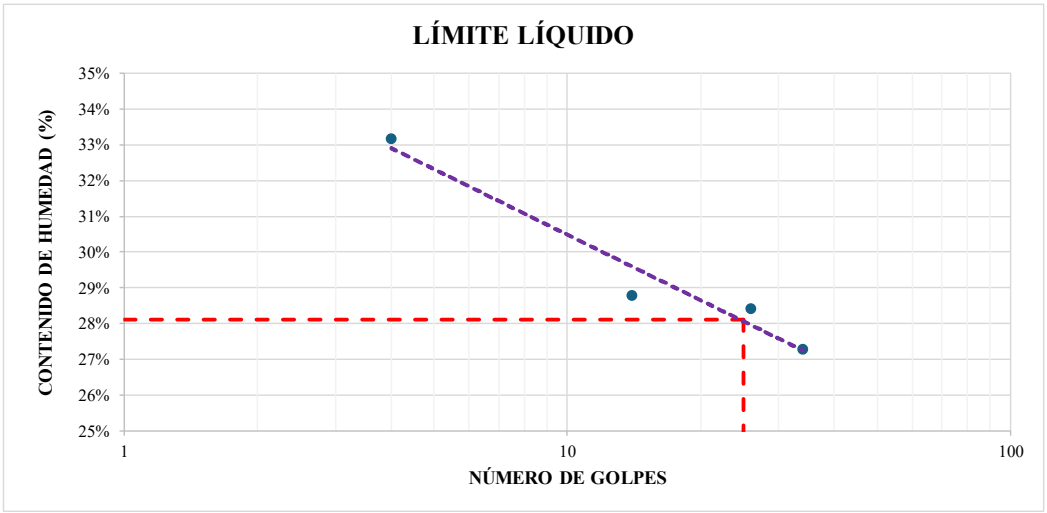
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D4318, AASHTO T89-90

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 17; 752145,11 m E; 9859592,81 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1	**Provincia:**	Tungurahua

Límite Líquido

Intervalo	**0 - 10**		**10- 20.**		**20-30**		**30-40**	
Número de golpes	4		14		26		34	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	18,20	15,50	22,60	21,70	22,50	25,30	20,90	19,80
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	16,50	14,40	20,00	19,40	20,00	22,20	18,80	18,00
Peso del recipiente (Wr)	11,50	11,00	11,10	11,30	11,20	11,30	11,00	11,50
Peso del agua (Ww)	1,70	1,10	2,60	2,30	2,50	3,10	2,10	1,80
Peso de la muestra seca (Ws)	5,00	3,40	8,90	8,10	8,80	10,90	7,80	6,50
Contenido de humedad (W%)	34,00%	32,35%	29,21%	28,40%	28,41%	28,44%	26,92%	27,69%
Promedio (W%)	33,18%		28,80%		28,42%		27,31%	
Límite Líquido (LL%)	28,10%							

Grafica Límite líquido



Límite Plástico

Número de muestra	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	5,50	5,20	5,40	5,40	5,60	5,10
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	5,30	5,00	5,20	5,20	5,40	5,00
Peso del recipiente (Wr)	4,20	4,00	4,40	4,40	4,50	4,40
Peso del agua (Ww)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,10
Peso de la muestra seca (Ws)	1,10	1,00	0,80	0,80	0,90	0,60
Contenido de humedad (W%)	18,18%	20,00%	25,00%	25,00%	22,22%	16,67%
Promedio (W%)	**21,18%**					

Resultados

Límite Líquido (%)	**Límite Plástico (%)**	**Índice de Plasticidad (%)**
28,10%	**21,18%**	**6,92%**

Anexo 12:Ensayo Límites de Atterberg M1 + 2% CVH

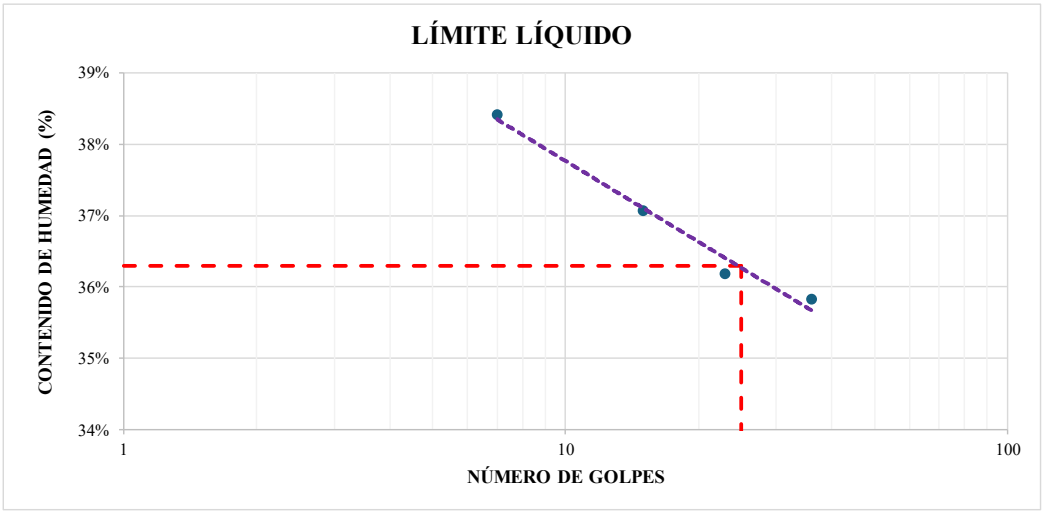
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D4318, AASHTO T89-90

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 17; 752145,11 m E; 9859592,81 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1 + 2% de CVH	**Provincia:**	Tungurahua

Límite Líquido

Intervalo	**0 - 10**		**10- 20.**		**20-30**		**30-40**	
Número de golpes	7		15		23		36	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	16,70	18,70	19,70	22,50	20,70	22,30	20,70	22,20
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	15,30	16,50	17,40	19,50	18,20	19,40	18,20	19,40
Peso del recipiente (Wr)	11,50	11,00	11,20	11,40	11,10	11,60	11,30	11,50
Peso del agua (Ww)	1,40	2,20	2,30	3,00	2,50	2,90	2,50	2,80
Peso de la muestra seca (Ws)	3,80	5,50	6,20	8,10	7,10	7,80	6,90	7,90
Contenido de humedad (W%)	36,84%	40,00%	37,10%	37,04%	35,21%	37,18%	36,23%	35,44%
Promedio (W%)	38,42%		37,07%		36,20%		35,84%	
Límite Líquido (LL%)	36,30%							

Grafica Límite líquido



Límite Plástico

Número de muestra	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	5,30	4,90	5,60	5,50	5,60	5,30
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	5,00	4,70	5,30	5,20	5,30	5,20
Peso del recipiente (Wr)	4,20	4,10	4,30	4,40	4,40	4,40
Peso del agua (Ww)	0,30	0,20	0,30	0,30	0,30	0,10
Peso de la muestra seca (Ws)	0,80	0,60	1,00	0,80	0,90	0,80
Contenido de humedad (W%)	37,50%	33,33%	30,00%	37,50%	33,33%	12,50%
Promedio (W%)	**30,69%**					

Resultados

Límite Líquido (%)	**Límite Plástico (%)**	**Índice de Plasticidad (%)**
36,30%	**30,69%**	**5,61%**

Anexo 13:Ensayo Límites de Atterberg M1 + 3% CVH

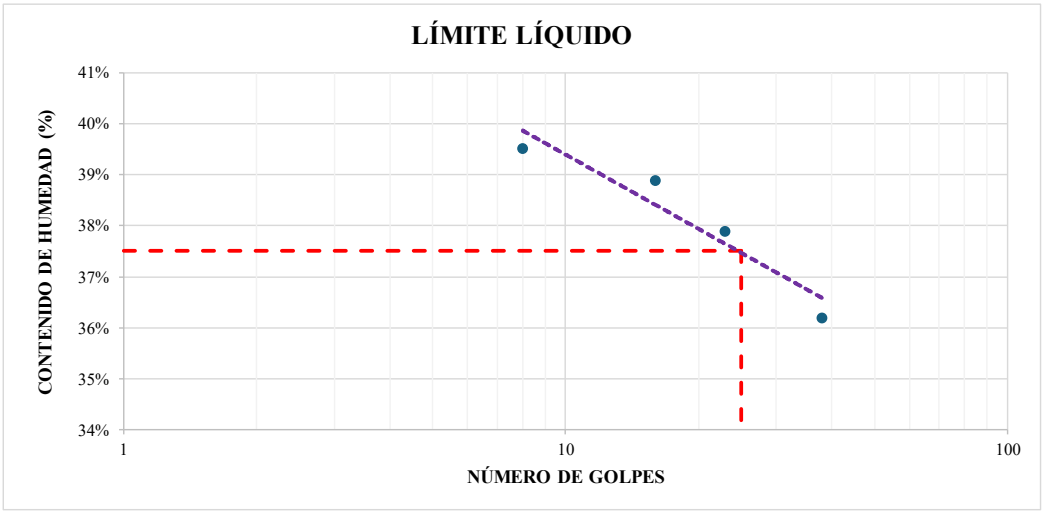
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D4318, AASHTO T89-90

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 17; 752145,11 m E; 9859592,81 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1 + 3% de CVH	**Provincia:**	Tungurahua

Límite Líquido

Intervalo	**0 - 10**		**10- 20.**		**20-30**		**30-40**	
Número de golpes	8		16		23		38	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	16,80	19,50	20,60	19,60	21,30	22,20	20,70	20,10
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	15,20	17,10	18,00	17,30	18,60	19,60	18,30	17,80
Peso del recipiente (Wr)	11,10	11,10	11,30	11,40	11,30	12,90	11,50	11,60
Peso del agua (Ww)	1,60	2,40	2,60	2,30	2,70	2,60	2,40	2,30
Peso de la muestra seca (Ws)	4,10	6,00	6,70	5,90	7,30	6,70	6,80	6,20
Contenido de humedad (W%)	39,02%	40,00%	38,81%	38,98%	36,99%	38,81%	35,29%	37,10%
Promedio (W%)	39,51%		38,89%		37,90%		36,20%	
Límite Líquido (LL%)	37,50%							

Grafica Límite líquido



Límite Plástico

Número de muestra	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	11,80	11,70	12,10	11,80	11,90	12,40
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	11,50	11,50	11,80	11,60	11,60	12,00
Peso del recipiente (Wr)	10,70	11,00	10,70	10,70	10,80	10,90
Peso del agua (Ww)	0,30	0,20	0,30	0,20	0,30	0,40
Peso de la muestra seca (Ws)	0,80	0,50	1,10	0,90	0,80	1,10
Contenido de humedad (W%)	37,50%	40,00%	27,27%	22,22%	37,50%	36,36%
Promedio (W%)	**33,48%**					

Resultados

Límite Líquido (%)	**Límite Plástico (%)**	**Índice de Plasticidad (%)**
37,50%	**33,48%**	**4,02%**

Anexo 14: Ensayo Límites de Atterberg M1 + 5% CVH

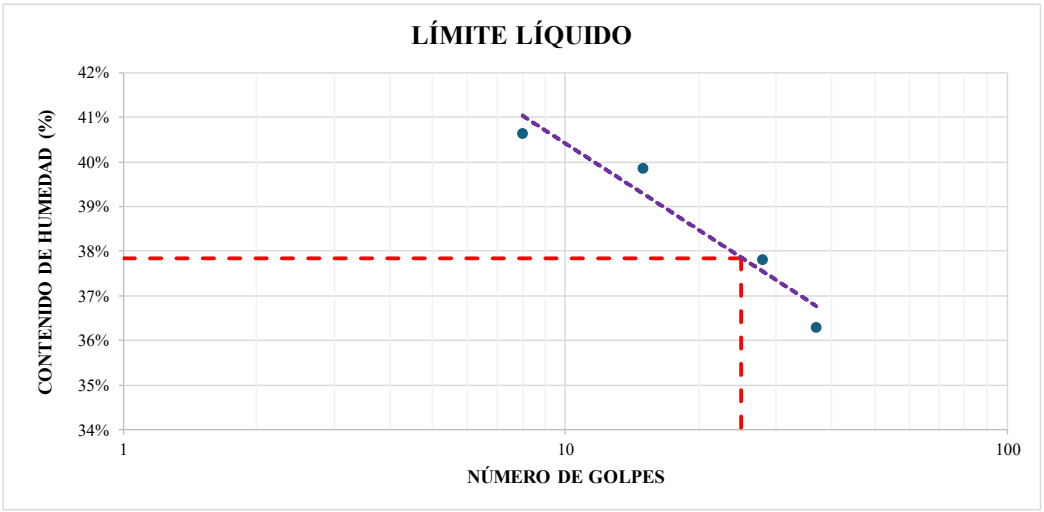
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D4318, AASHTO T89-90

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 17; 752145,11 m E; 9859592,81 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1 + 5% de CVH	**Provincia:**	Tungurahua

Límite Líquido

Intervalo	**0 - 10**		**10- 20.**		**20-30**		**30-40**	
Número de golpes	8		15		28		37	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	23,40	20,90	22,20	24,20	23,40	22,20	24,00	23,40
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	19,90	18,10	19,10	20,60	20,50	19,20	20,60	20,30
Peso del recipiente (Wr)	11,30	11,20	11,30	11,60	12,90	11,20	11,40	11,60
Peso del agua (Ww)	3,50	2,80	3,10	3,60	2,90	3,00	3,40	3,10
Peso de la muestra seca (Ws)	8,60	6,90	7,80	9,00	7,60	8,00	9,20	8,70
Contenido de humedad (W%)	40,70%	40,58%	39,74%	40,00%	38,16%	37,50%	36,96%	35,63%
Promedio (W%)	40,64%		39,87%		37,83%		36,29%	
Límite Líquido (LL%)	37,85%							

Grafica Límite líquido



Límite Plástico

Número de muestra	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	5,40	4,90	5,20	5,20	5,30	5,10
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	5,20	4,70	5,00	5,00	5,00	4,90
Peso del recipiente (Wr)	4,30	4,10	4,30	4,40	4,30	4,40
Peso del agua (Ww)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,20
Peso de la muestra seca (Ws)	0,90	0,60	0,70	0,60	0,70	0,50
Contenido de humedad (W%)	22,22%	33,33%	28,57%	33,33%	42,86%	40,00%
Promedio (W%)	**33,39%**					

Resultados

Límite Líquido (%)	**Límite Plástico (%)**	**Índice de Plasticidad (%)**
37,85%	**33,39%**	**4,46%**

Anexo 15:Ensayo Proctor Modificado M1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1557, AASHTO T180

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 17; 752145,11 m E; 9859592,81 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1	**Provincia:**	Tungurahua

Proctor Modificado Método B

Especificaciones del ensayo

Nº de Golpes:	56	**Altura de caída:**	18,00	plg	**Diámetro:**	15,20	cm
Nº de Capas:	5	**Peso del martillo:**	10,00	lb	**Altura:**	11,60	cm
Energía de compactación:	56501,39 lb·ft/ft3	**Peso del molde:**	16750	gr	**Volumen del molde:**	2104,92	cm3

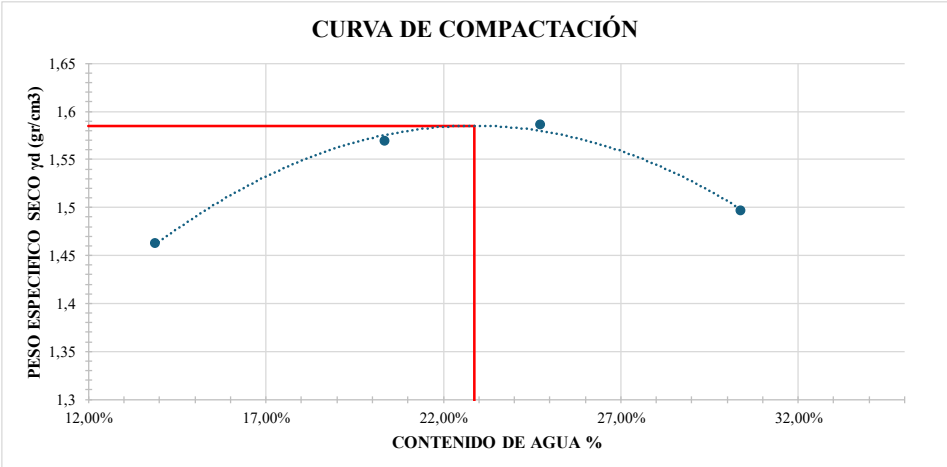
1. Proceso de Compactación

Número de ensayo	1	2	3	4
Humedad inicial añadida (%)	10	15	20	25
Humedad inicial añadida (ml)	450	675	900	1125
Peso inicial (gr)	4500	4500	4500	4500
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	20255,00	20724,00	20915,50	20856,50
Peso del suelo húmedo (gr)	3505,00	3974,00	4165,50	4106,50
Peso Unitario húmedo (gr/cm3)	1,665	1,888	1,979	1,951

2. Contenido de Humedad

Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo húmedo + recipiente	41,50	41,50	41,70	41,50	41,60	41,40	42,30	42,70
Peso del suelo seco + recipiente	37,50	37,40	36,20	35,60	35,10	34,50	34,30	34,60
Peso del recipiente	8,30	8,20	7,90	7,80	7,70	7,70	8,10	7,80
Peso del agua (Ww)	4,00	4,10	5,50	5,90	6,50	6,90	8,00	8,10
Peso del suelo seco	29,20	29,20	28,30	27,80	27,40	26,80	26,20	26,80
Contenido de agua	13,70%	14,04%	19,43%	21,22%	23,72%	25,75%	30,53%	30,22%
W promedio (%)	13,87%		20,33%		24,73%		30,38%	
Peso Unitario seco	1,462		1,569		1,587		1,496	

3. Determinación Gráfica de la densidad máxima y humedad óptima



4. Resultados

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,585
Humedad Óptima	22,86%

Anexo 16: Ensayo Proctor Modificado M1 + 2% CVH

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1557, AASHTO T180

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 17; 752145,11 m E; 9859592,81 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1 + 2% CVH	**Provincia:**	Tungurahua

Proctor Modificado Método B

Especificaciones del ensayo

Nº de Golpes:	56		**Altura de caída:**	18,00	plg	**Diámetro:**	15,20	cm
Nº de Capas:	5		**Peso del martillo:**	10,00	lb	**Altura:**	11,50	cm
Energía de compactación:	56992,71	lb·ft/ft3	**Peso del molde:**	18409,5	gr	**Volumen del molde:**	2086,77	cm3

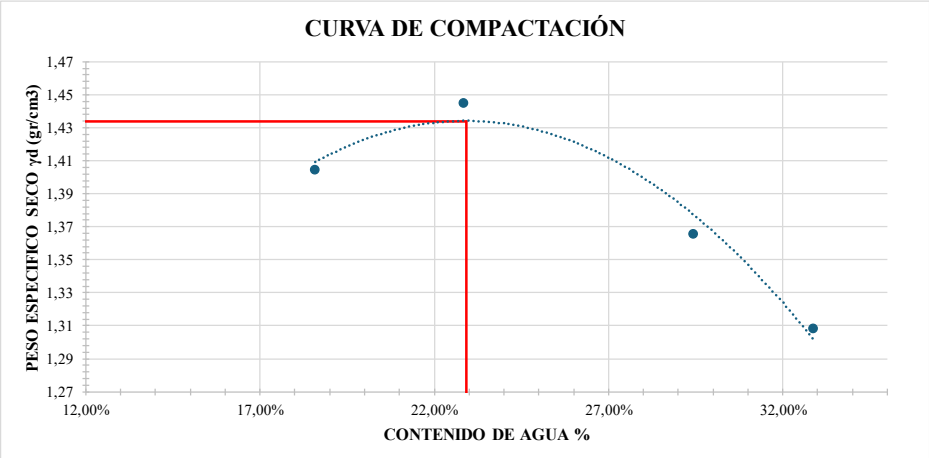
1. Proceso de Compactación

Número de ensayo	1	2	3	4
Humedad inicial añadida (%)	15	20	25	30
Humedad inicial añadida (ml)	675	900	1125	1350
Peso inicial (gr)	4500	4500	4500	4500
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	21885,00	22113,00	22097,00	22037,00
Peso del suelo húmedo (gr)	3475,50	3703,50	3687,50	3627,50
Peso Unitario húmedo (gr/cm3)	1,665	1,775	1,767	1,738

2. Contenido de Humedad

Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo húmedo + recipiente	43,90	44,00	51,40	49,00	49,20	48,00	54,20	54,10
Peso del suelo seco + recipiente	38,50	38,20	43,30	41,30	39,40	39,30	42,80	42,60
Peso del recipiente	8,20	8,20	7,60	7,80	8,20	7,60	7,90	7,80
Peso del agua (Ww)	5,40	5,80	8,10	7,70	9,80	8,70	11,40	11,50
Peso del suelo seco	30,30	30,00	35,70	33,50	31,20	31,70	34,90	34,80
Contenido de agua	17,82%	19,33%	22,69%	22,99%	31,41%	27,44%	32,66%	33,05%
W promedio (%)	18,58%		22,84%		29,43%		32,86%	
Peso Unitario seco	1,405		1,445		1,365		1,308	

3. Determinación Gráfica de la densidad máxima y humedad óptima



4. Resultados

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,434
Humedad Óptima	22,91%

Anexo 17:Ensayo Proctor Modificado M1 + 3% CVH

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1557, AASHTO T180

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 17; 752145,11 m E; 9859592,81 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1 + 3% CVH	**Provincia:**	Tungurahua

Proctor Modificado Método B

Especificaciones del ensayo

Nº de Golpes:	56		**Altura de caída:**	18,00	plg	**Diámetro:**	15,20	cm
Nº de Capas:	5		**Peso del martillo:**	10,00	lb	**Altura:**	11,50	cm
Energía de compactación:	56992,71	lb·ft/ft3	**Peso del molde:**	18410,5	gr	**Volumen del molde:**	2086,77	cm3

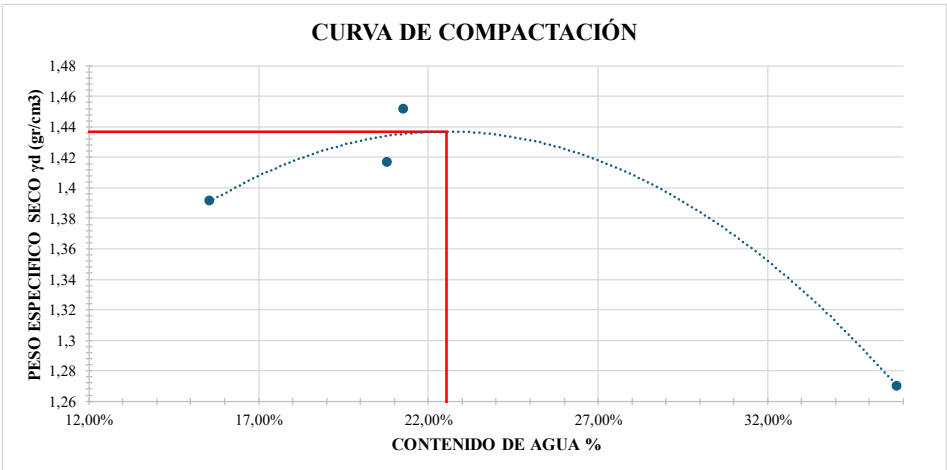
1. Proceso de Compactación

Número de ensayo	1	2	3	4
Humedad inicial añadida (%)	15	20	25	30
Humedad inicial añadida (ml)	675	900	1125	1350
Peso inicial (gr)	4500	4500	4500	4500
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	21765,50	21981,50	22084,00	22009,00
Peso del suelo húmedo (gr)	3355,00	3571,00	3673,50	3598,50
Peso Unitario húmedo (gr/cm3)	1,608	1,711	1,760	1,724

2. Contenido de Humedad

Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo húmedo + recipiente	39,50	38,80	41,80	41,70	41,50	44,90	53,60	54,10
Peso del suelo seco + recipiente	35,00	34,90	35,80	36,00	37,30	36,80	41,50	42,00
Peso del recipiente	8,20	7,60	7,70	7,80	8,30	7,90	8,20	7,70
Peso del agua (Ww)	4,50	3,90	6,00	5,70	4,20	8,10	12,10	12,10
Peso del suelo seco	26,80	27,30	28,10	28,20	29,00	28,90	33,30	34,30
Contenido de agua	16,79%	14,29%	21,35%	20,21%	14,48%	28,03%	36,34%	35,28%
W promedio (%)	15,54%		20,78%		21,26%		35,81%	
Peso Unitario seco	1,392		1,417		1,452		1,270	

3. Determinación Gráfica de la densidad máxima y humedad óptima



4. Resultados

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,437
Humedad Óptima	22,54%

Anexo 18:Ensayo Proctor Modificado M1 + 5% CVH

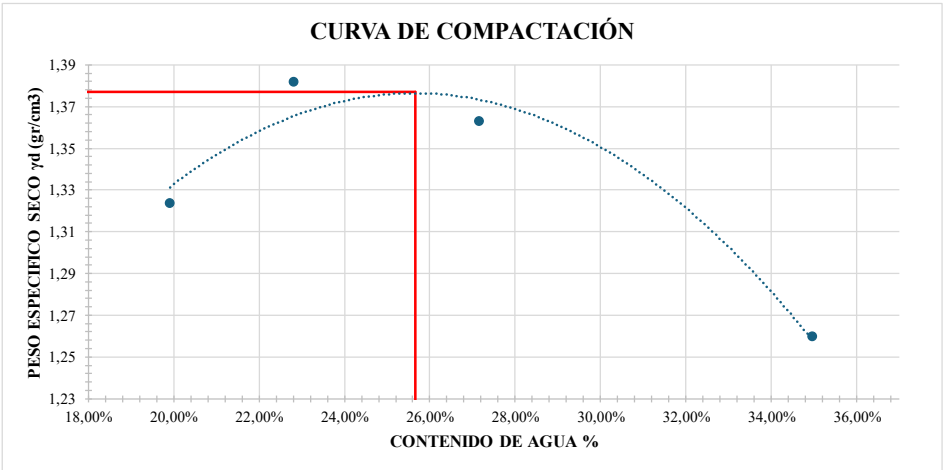
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1557, AASHTO T180

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR						
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco		**Coordenadas:**	Zona 17; 752145,11 m E; 9859592,81 m S			
Revisado por:	Ing. Vanessa López						
ID Muestra:	Muestra de suelo M1 + 5% CVH		**Provincia:**	Tungurahua			
Proctor Modificado Método B							
Especificaciones del ensayo							
Nº de Golpes:	56		**Altura de caída:**	18,00	plg	**Diámetro:**	15,20 cm
Nº de Capas:	5		**Peso del martillo:**	10,00	lb	**Altura:**	11,50 cm
Energía de compactación:	56992,71	lb·ft/ft3	**Peso del molde:**	18412	gr	**Volumen del molde:**	2086,77 cm3

1. Proceso de Compactación				
Número de ensayo	1	2	3	4
Humedad inicial añadida (%)	15	20	25	30
Humedad inicial añadida (ml)	675	900	1125	1350
Peso inicial (gr)	4500	4500	4500	4500
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	21723,50	21953,00	22029,00	21960,00
Peso del suelo húmedo (gr)	3311,50	3541,00	3617,00	3548,00
Peso Unitario húmedo (gr/cm3)	1,587	1,697	1,733	1,700

2. Contenido de Humedad								
Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo húmedo + recipiente	46,10	45,90	38,70	37,50	50,90	51,10	69,50	68,00
Peso del suelo seco + recipiente	39,80	39,50	32,80	32,20	42,40	41,20	53,40	52,70
Peso del recipiente	7,70	7,80	8,20	7,70	8,20	7,60	8,30	8,00
Peso del agua (Ww)	6,30	6,40	5,90	5,30	8,50	9,90	16,10	15,30
Peso del suelo seco	32,10	31,70	24,60	24,50	34,20	33,60	45,10	44,70
Contenido de agua	19,63%	20,19%	23,98%	21,63%	24,85%	29,46%	35,70%	34,23%
W promedio (%)	19,91%		22,81%		27,16%		34,96%	
Peso Unitario seco	1,323		1,382		1,363		1,260	

3. Determinación Gráfica de la densidad máxima y humedad óptima



4. Resultados	
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,377
Humedad Óptima	25,65%

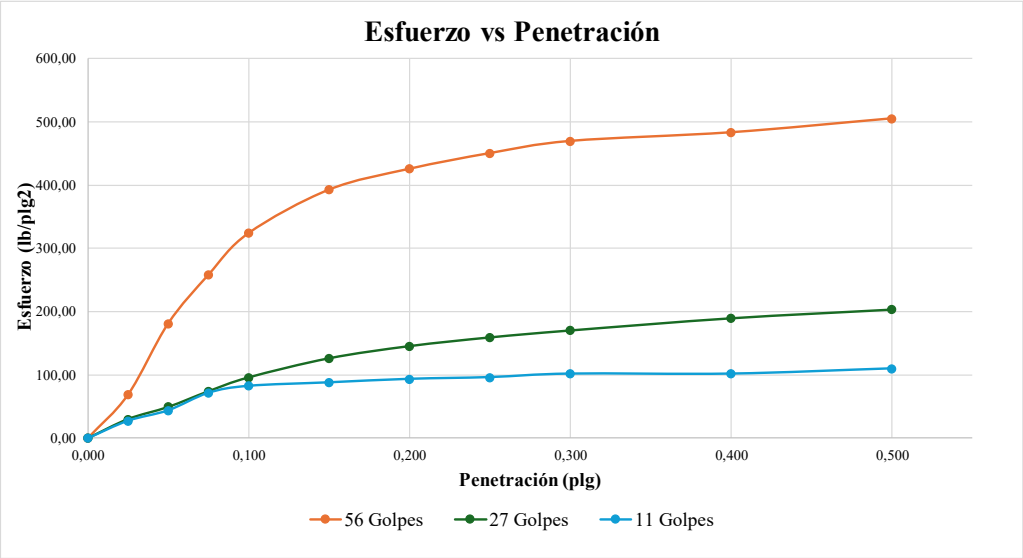
Anexo 19:Ensayo CBR M1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1883, AASHTO T193

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR										
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco		**Coordenadas:**	Zona 17; 752145,11 m E; 9859592,81 m S							
Revisado por:	Ing. Vanessa López										
ID Muestra:	Muestra de suelo M1		**Provincia:**	Tungurahua							
Ensayo California Bearning Ratio (CBR)											
Especificaciones del ensayo											
Peso Muestra:	5000	gr	**Densidad seca máxima:**	1,585			gr/cm3				
Peso Martillo:	10	lb	**W% Óptimo:**	22,86%			%				
Altura de Caída:	18	in									
Proceso de Compactación											
Molde	1			2			3				
Dimensiones	Diámetro	15		Diámetro	15		Diámetro	15			
	Altura	11,7		Altura	11,7		Altura	11,7			
Nº de Capas	5			5			5				
Nº de Golpes	56			27			11				
Peso del suelo húmedo + molde	10611,00			10573,10			10268,00				
Peso del molde	6751,70			6775,90			6731,50				
Peso de muestra húmeda	3859,30			3797,20			3536,50				
Volumen de la muestra	2067,56			2067,56			2067,56				
Peso Unitario húmedo	1,867			1,837			1,710				
Contenido de humedad											
Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6					
Peso del suelo húmedo + recipiente	104,80	106,90	109,10	116,60	113,40	118,70					
Peso del suelo seco + recipiente	91,70	93,50	95,00	101,25	98,00	102,50					
Peso del recipiente	32,80	33,40	33,10	34,40	29,90	31,30					
Peso del agua (Ww)	13,10	13,40	14,10	15,35	15,40	16,20					
Peso del suelo seco	58,90	60,10	61,90	66,85	68,10	71,20					
Contenido de humedad (W%)	22,24%	22,30%	22,78%	22,96%	22,61%	22,75%					
Promedio (W%)	22,27%		22,87%		22,68%						
Peso Unitario seco	1,527		1,495		1,394						
Después de la Saturación											
Peso del suelo húmedo + molde	12122,10		12187,90		11935,80						
Peso del molde	6751,70		6775,90		6731,50						
Peso de muestra húmeda	5370,40		5412,00		5204,30						
Volumen de la muestra	2067,56		2067,56		2067,56						
Peso Unitario húmedo	2,597		2,618		2,517						
Contenido de humedad											
Nº de Recipiente	7	8	9	10	11	12					
Peso del suelo húmedo + recipiente	91,10	72,60	73,10	81,40	81,30	81,70					
Peso del suelo seco + recipiente	79,90	64,60	64,70	70,70	69,70	70,20					
Peso del recipiente	32,10	29,90	32,80	30,30	32,20	33,00					
Peso del agua (Ww)	11,20	8,00	8,40	10,70	11,60	11,50					
Peso del suelo seco	47,80	34,70	31,90	40,40	37,50	37,20					
Contenido de humedad (W%)	23,43%	23,05%	26,33%	26,49%	30,93%	30,91%					
Promedio (W%)	23,24%		26,41%		30,92%						

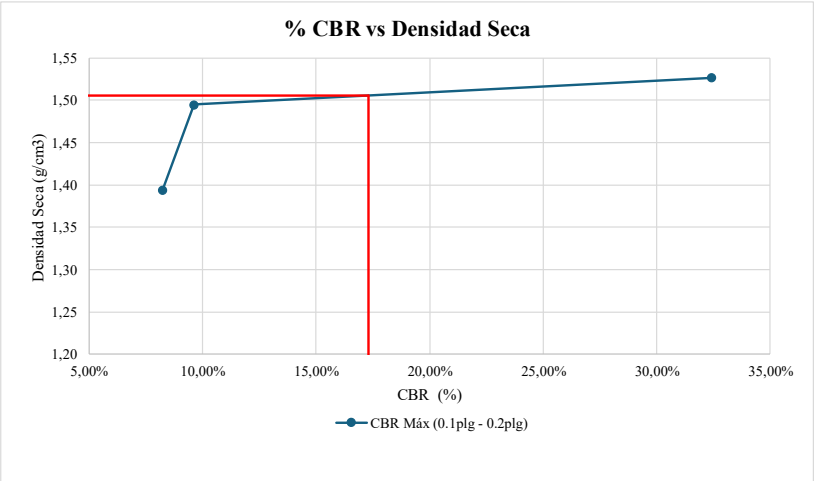
Ensayo de carga de penetración												
Molde	1				2				3			
Nº de Golpes	56				27				11			
Penetración pl	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %
		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
		pl/plg2				pl/plg2				pl/plg2		
0,000	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00		
0,025	206,04	68,68			90,66	30,22			82,42	27,47		
0,050	543,96	181,32			148,35	49,45			131,87	43,96		
0,075	774,73	258,24			222,53	74,18			214,29	71,43		
0,100	972,53	324,18	324,18	32,42%	288,46	96,15	96,15	9,62%	247,25	82,42	82,42	8,24%
0,150	1178,57	392,86			379,12	126,37			263,74	87,91		
0,200	1277,47	425,82	425,82	28,39%	436,81	145,60	145,60	9,71%	280,22	93,41	93,41	6,23%
0,250	1351,65	450,55			478,02	159,34			288,46	96,15		
0,300	1409,34	469,78			510,99	170,33			304,95	101,65		
0,400	1450,55	483,52			568,68	189,56			304,95	101,65		
0,500	1516,48	505,49			609,89	203,30			329,67	109,89		

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Nº de molde	Presión	CBR 0.1 plg	Dencidad Seca	Presión	CBR 0.2 plg	Dencidad Seca
56	324,18	32,42%	1,527	425,82	28,39%	1,527
27	96,15	9,62%	1,495	145,60	9,71%	1,495
11	82,42	8,24%	1,394	93,41	6,23%	1,394

Gráfica de % CBR vs Densidad seca



4. Resultados	
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,585
95% de Densidad Máx	1,506
%CBR	17,30%

Anexo 20:Ensayo CBR M1 + 2% CVH

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1883, AASHTO T193

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 17; 752145,11 m E; 9859592,81 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1+2%CVH	**Provincia:**	Tungurahua

Ensayo California Bearning Ratio (CBR)						
Especificaciones del ensayo						
Peso Muestra:	5000	gr	**Densidad seca máxima:**	1,434	gr/cm3	
Peso Martillo:	10	lb	**W% Óptimo:**	22,91%	%	
Altura de Caída:	18	in				

Proceso de Compactación						
Molde	1		2		3	
Dimensiones	Diámetro	15,1	Diámetro	15,1	Diámetro	15,1
	Altura	11,7	Altura	11,7	Altura	11,7
Nº de Capas	5		5		5	
Nº de Golpes	56		27		11	
Peso del suelo húmedo + molde	12230,50		11799,90		11479,30	
Peso del molde	8467,80		8400,90		8319,10	
Peso de muestra húmeda	3762,70		3399,00		3160,20	
Volumen de la muestra	2095,22		2095,22		2095,22	
Peso Unitario húmedo	1,796		1,622		1,508	

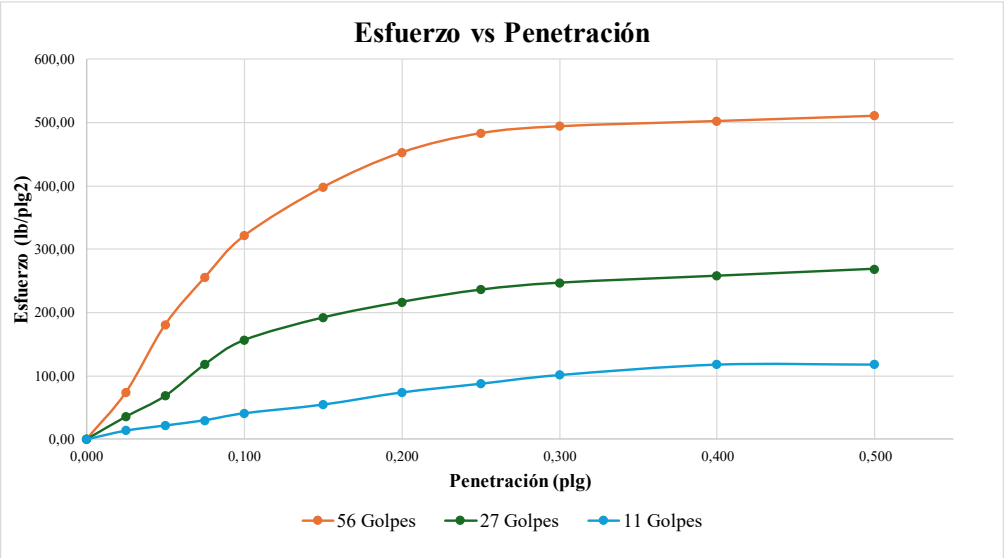
Contenido de humedad						
Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6
Peso del suelo húmedo + recipiente	90,82	93,67	84,22	81,36	97,02	95,84
Peso del suelo seco + recipiente	79,80	81,90	74,50	72,40	85,50	84,00
Peso del recipiente	29,90	28,60	30,30	31,40	29,00	29,50
Peso del agua (Ww)	11,02	11,77	9,72	8,96	11,52	11,84
Peso del suelo seco	49,90	53,30	44,20	41,00	56,50	54,50
Contenido de humedad (W%)	22,08%	22,09%	21,99%	21,86%	20,39%	21,73%
Promedio (W%)	22,08%		21,92%		21,06%	
Peso Unitario seco	1,471		1,331		1,246	

Después de la Saturación						
Peso del suelo húmedo + molde	12396,80		12017,20		11964,50	
Peso del molde	8467,80		8400,90		8319,10	
Peso de muestra húmeda	3929,00		3616,30		3645,40	
Volumen de la muestra	2095,22		2095,22		2095,22	
Peso Unitario húmedo	1,875		1,726		1,740	

Contenido de humedad						
Nº de Recipiente	7	8	9	10	11	12
Peso del suelo húmedo + recipiente	36,70	45,90	39,30	39,60	46,40	46,20
Peso del suelo seco + recipiente	30,60	38,40	32,10	33,00	36,40	37,20
Peso del recipiente	7,80	8,20	7,70	8,20	7,70	7,70
Peso del agua (Ww)	6,10	7,50	7,20	6,60	10,00	9,00
Peso del suelo seco	22,80	30,20	24,40	24,80	28,70	29,50
Contenido de humedad (W%)	26,75%	24,83%	29,51%	26,61%	34,84%	30,51%
Promedio (W%)	25,79%		28,06%		32,68%	

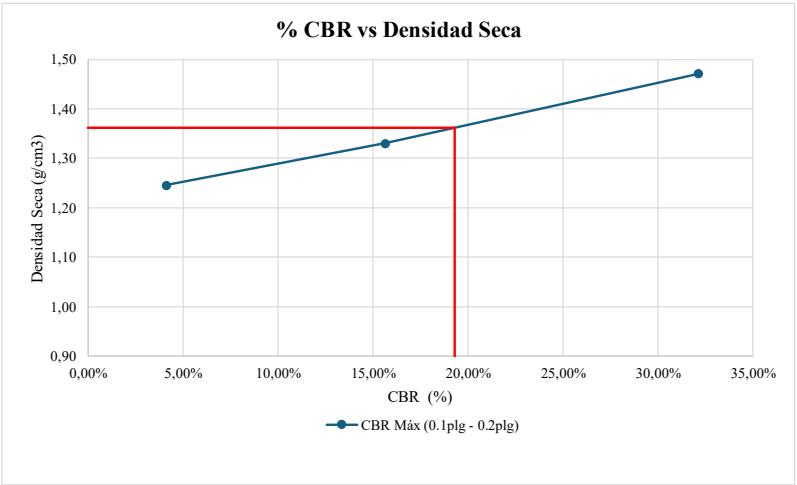
Ensayo de carga de penetración												
Molde	1				2				3			
Nº de Golpes	56				27				11			
Penetración pl	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %
		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
		pl/plg2				pl/plg2				pl/plg2		
0,000	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00		
0,025	222,53	74,18			107,14	35,71			41,21	13,74		
0,050	543,96	181,32			206,04	68,68			65,93	21,98		
0,075	766,48	255,49			354,40	118,13			90,66	30,22		
0,100	964,29	321,43	321,43	32,14%	469,78	156,59	156,59	15,66%	123,63	41,21	41,21	4,12%
0,150	1195,05	398,35			576,92	192,31			164,84	54,95		
0,200	1359,89	453,30	453,30	30,22%	651,10	217,03	217,03	14,47%	222,53	74,18	74,18	4,95%
0,250	1450,55	483,52			708,79	236,26			263,74	87,91		
0,300	1483,52	494,51			741,76	247,25			304,95	101,65		
0,400	1508,24	502,75			774,73	258,24			354,40	118,13		
0,500	1532,97	510,99			807,69	269,23			354,40	118,13		

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Nº de molde	Presión	CBR 0.1 plg	Dencidad Seca	Presión	CBR 0.2 plg	Dencidad Seca
56	321,43	32,14%	1,471	453,30	30,22%	1,471
27	156,59	15,66%	1,331	217,03	14,47%	1,331
11	41,21	4,12%	1,246	74,18	4,95%	1,246

Gráfica de % CBR vs Densidad seca



4. Resultados	
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,434
95% de Densidad Máx	1,362
%CBR	19,30%

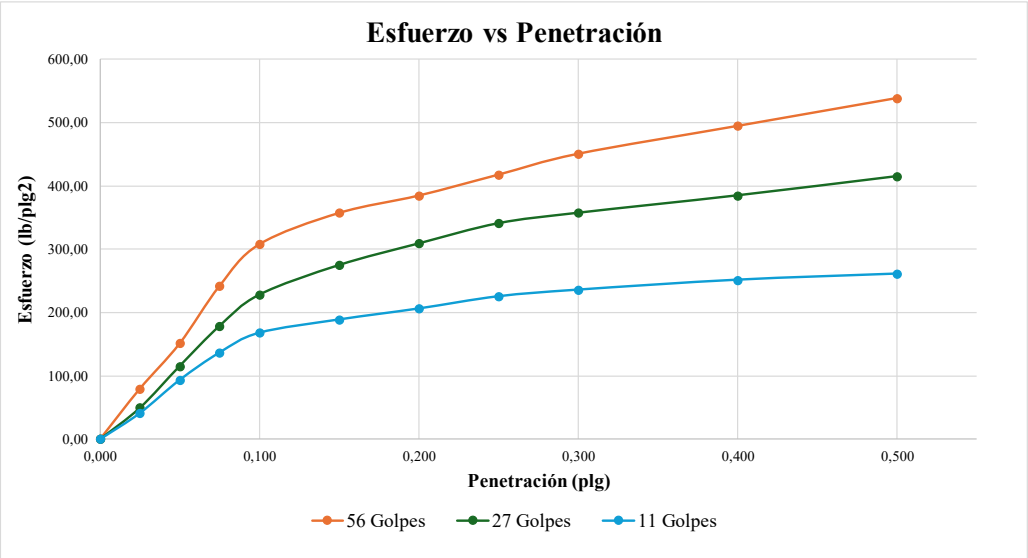
Anexo 21:Ensayo CBR M1 + 3% CVH

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1883, AASHTO T193

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR										
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco		**Coordenadas:**	Zona 17; 752145,11 m E; 9859592,81 m S							
Revisado por:	Ing. Vanessa López										
ID Muestra:	Muestra de suelo M1+3%CVH		**Provincia:**	Tungurahua							
Ensayo California Bearning Ratio (CBR)											
Especificaciones del ensayo											
Peso Muestra:	5000	gr	**Densidad seca máxima:**	1,437			gr/cm3				
Peso Martillo:	10	lb	**W% Óptimo:**	22,54%			%				
Altura de Caída:	18	in									
Proceso de Compactación											
Molde			1			2			3		
Dimensiones			Diámetro	15		Diámetro	15		Diámetro	15	
			Altura	11,7		Altura	11,7		Altura	11,7	
Nº de Capas			5			5			5		
Nº de Golpes			56			27			11		
Peso del suelo húmedo + molde			10405,00			10045,32			9716,39		
Peso del molde			6751,70			6775,90			6731,50		
Peso de muestra húmeda			3653,30			3269,42			2984,89		
Volumen de la muestra			2067,56			2067,56			2067,56		
Peso Unitario húmedo			1,767			1,581			1,444		
Contenido de humedad											
Nº de Recipiente			1	2	3		4	5		6	
Peso del suelo húmedo + recipiente			50,20	54,30	47,80		49,20	54,00		52,50	
Peso del suelo seco + recipiente			43,30	45,80	40,60		42,60	45,40		45,20	
Peso del recipiente			7,50	7,70	8,20		7,80	7,70		8,00	
Peso del agua (Ww)			6,90	8,50	7,20		6,60	8,60		7,30	
Peso del suelo seco			35,80	38,10	32,40		34,80	37,70		37,20	
Contenido de humedad (W%)			19,27%	22,31%	22,22%		18,97%	22,81%		19,62%	
Promedio (W%)			20,79%		20,59%			21,22%			
Peso Unitario seco			1,463		1,311			1,191			
Después de la Saturación											
Peso del suelo húmedo + molde			10602,10		10226,32			10060,36			
Peso del molde			6751,70		6775,90			6731,50			
Peso de muestra húmeda			3850,40		3450,42			3328,86			
Volumen de la muestra			2067,56		2067,56			2067,56			
Peso Unitario húmedo			1,862		1,669			1,610			
Contenido de humedad											
Nº de Recipiente			7	8	9		10	11		12	
Peso del suelo húmedo + recipiente			44,90	44,40	39,00		37,80	50,50		49,30	
Peso del suelo seco + recipiente			37,40	37,00	32,50		31,60	40,60		39,40	
Peso del recipiente			8,00	8,10	8,00		7,80	8,10		8,20	
Peso del agua (Ww)			7,50	7,40	6,50		6,20	9,90		9,90	
Peso del suelo seco			29,40	28,90	24,50		23,80	32,50		31,20	
Contenido de humedad (W%)			25,51%	25,61%	26,53%		26,05%	30,46%		31,73%	
Promedio (W%)			25,56%		26,29%			31,10%			

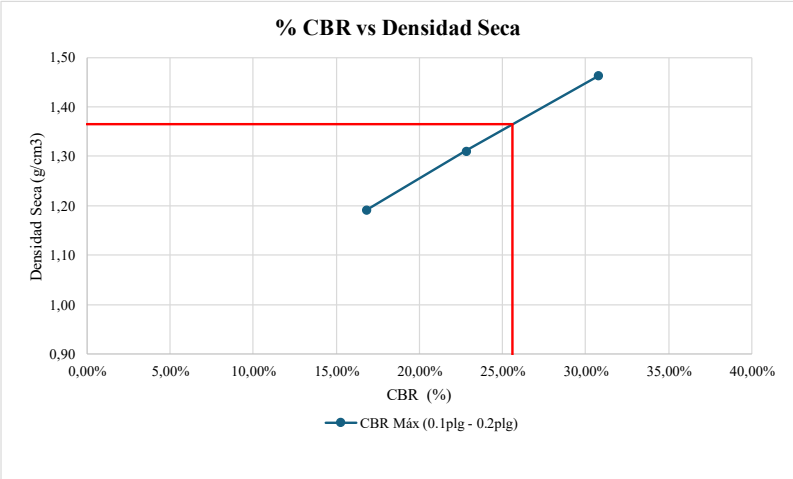
Ensayo de carga de penetración												
Molde	1				2				3			
Nº de Golpes	56				27				11			
Penetración pl	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %
		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
		pl/plg2				pl/plg2				pl/plg2		
0,000	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00		
0,025	239,01	79,67			148,35	49,45			123,63	41,21		
0,050	453,30	151,10			346,15	115,38			280,22	93,41		
0,075	725,27	241,76			535,71	178,57			409,62	136,54		
0,100	923,08	307,69	307,69	30,77%	684,07	228,02	228,02	22,80%	503,57	167,86	167,86	16,79%
0,150	1071,43	357,14			824,18	274,73			566,21	188,74		
0,200	1153,85	384,62	384,62	25,64%	926,37	308,79	308,79	20,59%	618,13	206,04	206,04	13,74%
0,250	1252,75	417,58			1021,98	340,66			675,82	225,27		
0,300	1351,65	450,55			1071,43	357,14			707,14	235,71		
0,400	1483,52	494,51			1153,85	384,62			754,12	251,37		
0,500	1615,38	538,46			1244,51	414,84			782,97	260,99		

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Nº de molde	Presión	CBR 0.1 plg	Dencidad Seca	Presión	CBR 0.2 plg	Dencidad Seca
56	307,69	30,77%	1,463	384,62	25,64%	1,463
27	228,02	22,80%	1,311	308,79	20,59%	1,311
11	167,86	16,79%	1,191	206,04	13,74%	1,191

Gráfica de % CBR vs Densidad seca



4. Resultados	
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,437
95% de Densidad Máx	1,365
%CBR	25,60%

Anexo 22: Ensayo CBR M1 + 5% CVH

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1883, AASHTO T193

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 17; 752145,11 m E; 9859592,81 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M1+5%CVH	**Provincia:**	Tungurahua

Ensayo California Bearning Ratio (CBR)						
Especificaciones del ensayo						
Peso Muestra:	5000	gr	**Densidad seca máxima:**	1,377	gr/cm3	
Peso Martillo:	10	lb	**W% Óptimo:**	25,65%	%	
Altura de Caída:	18	in				

Proceso de Compactación						
Molde	1		2		3	
Dimensiones	Diámetro	15,1	Diámetro	15,1	Diámetro	15,1
	Altura	11,7	Altura	11,7	Altura	11,7
Nº de Capas	5		5		5	
Nº de Golpes	56		27		11	
Peso del suelo húmedo + molde	12029,94		11732,05		11601,69	
Peso del molde	8467,80		8400,90		9319,10	
Peso de muestra húmeda	3562,14		3331,15		2282,59	
Volumen de la muestra	2095,22		2095,22		2095,22	
Peso Unitario húmedo	1,700		1,590		1,089	

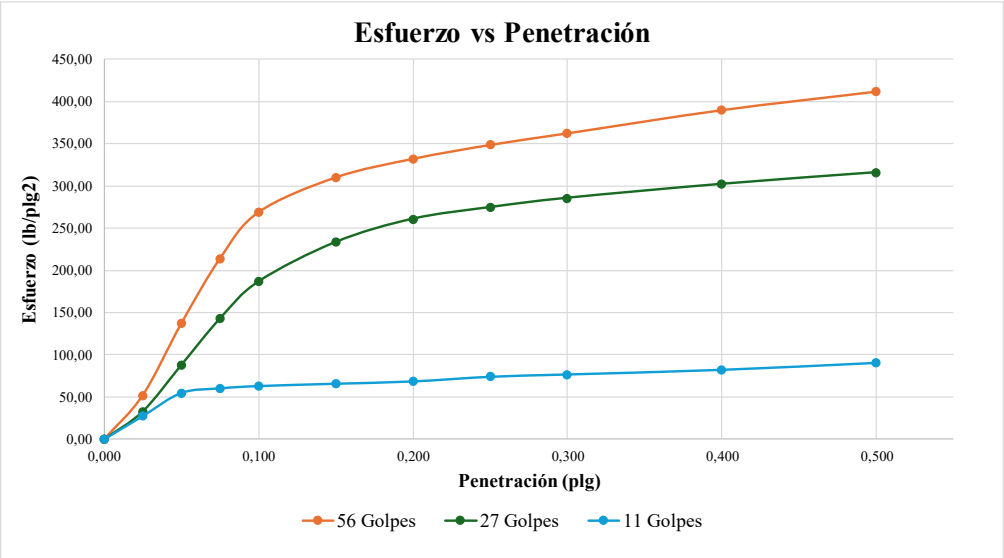
Contenido de humedad						
Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6
Peso del suelo húmedo + recipiente	45,30	45,20	52,10	52,20	49,70	49,60
Peso del suelo seco + recipiente	37,70	37,60	43,10	43,30	41,30	41,20
Peso del recipiente	8,00	8,10	7,90	8,00	7,90	8,00
Peso del agua (Ww)	7,60	7,60	9,00	8,90	8,40	8,40
Peso del suelo seco	29,70	29,50	35,20	35,30	33,40	33,20
Contenido de humedad (W%)	25,59%	25,76%	25,57%	25,21%	25,15%	25,30%
Promedio (W%)	25,68%		25,39%		25,23%	
Peso Unitario seco	1,353		1,268		0,870	

Después de la Saturación						
Peso del suelo húmedo + molde	12154,10		11949,92		11723,61	
Peso del molde	8467,80		8400,90		9319,10	
Peso de muestra húmeda	3686,30		3549,02		2404,51	
Volumen de la muestra	2095,22		2095,22		2095,22	
Peso Unitario húmedo	1,759		1,694		1,148	

Contenido de humedad						
Nº de Recipiente	7	8	9	10	11	12
Peso del suelo húmedo + recipiente	47,50	46,50	41,70	41,50	45,50	43,00
Peso del suelo seco + recipiente	39,40	37,70	34,20	34,20	37,20	35,20
Peso del recipiente	7,70	7,70	7,80	7,70	8,10	8,00
Peso del agua (Ww)	8,10	8,80	7,50	7,30	8,30	7,80
Peso del suelo seco	31,70	30,00	26,40	26,50	29,10	27,20
Contenido de humedad (W%)	25,55%	29,33%	28,41%	27,55%	28,52%	28,68%
Promedio (W%)	27,44%		27,98%		28,60%	

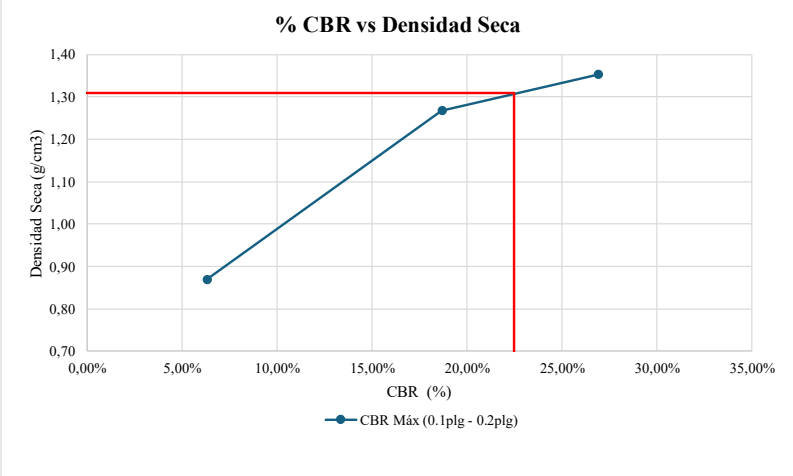
Ensayo de carga de penetración												
Molde	1				2				3			
Nº de Golpes	56				27				11			
Penetración pl	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %
		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
		pl/plg2				pl/plg2				pl/plg2		
0,000	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00		
0,025	156,59	52,20			98,90	32,97			82,42	27,47		
0,050	412,09	137,36			263,74	87,91			164,84	54,95		
0,075	642,86	214,29			428,57	142,86			181,32	60,44		
0,100	807,69	269,23	269,23	26,92%	560,44	186,81	186,81	18,68%	189,56	63,19	63,19	6,32%
0,150	931,32	310,44			700,55	233,52			197,80	65,93		
0,200	997,25	332,42	332,42	22,16%	782,97	260,99	260,99	17,40%	206,04	68,68	68,68	4,58%
0,250	1046,70	348,90			824,18	274,73			222,53	74,18		
0,300	1087,91	362,64			857,14	285,71			230,77	76,92		
0,400	1170,33	390,11			906,59	302,20			247,25	82,42		
0,500	1236,26	412,09			947,80	315,93			271,98	90,66		

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Nº de molde	Presión	CBR 0.1 plg	Dencidad Seca	Presión	CBR 0.2 plg	Dencidad Seca
56	269,23	26,92%	1,353	332,42	22,16%	1,353
27	186,81	18,68%	1,268	260,99	17,40%	1,268
11	63,19	6,32%	0,870	68,68	4,58%	0,870

Gráfica de % CBR vs Densidad seca



4. Resultados	
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,377
95% de Densidad Máx	1,308
%CBR	22,50%

Anexo 23:Ensayo de contenido de humedad natural M2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D2216, AASHTO T265

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR				
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco		**Coordenadas:**	Zona 18; 172715,00 m E; 9849483,00 m S	
Revisado por:	Ing. Vanessa López				
ID Muestra:	Muestra de suelo M2		**Provincia:**	Pastaza	
Contenido de Humedad					
Descripción	**Unidad**	**Valor**			
Nº de Recipiente	-	P1	P2	P3	P4
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	gr	37,30	37,10	36,50	36,30
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	gr	26,40	26,40	26,00	25,90
Peso del recipiente (Wr)	gr	7,80	8,20	7,90	8,30
Peso del agua (Ww)	gr	10,90	10,70	10,50	10,40
Peso de la muestra seca (Ws)	gr	18,60	18,20	18,10	17,60
Contenido de humedad (W%)	%	58,60%	58,79%	58,01%	59,09%
Promedio (W%)	**%**	**58,62%**			

Anexo 24:Ensayo granulométrico M2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D6913, AASHTO T27

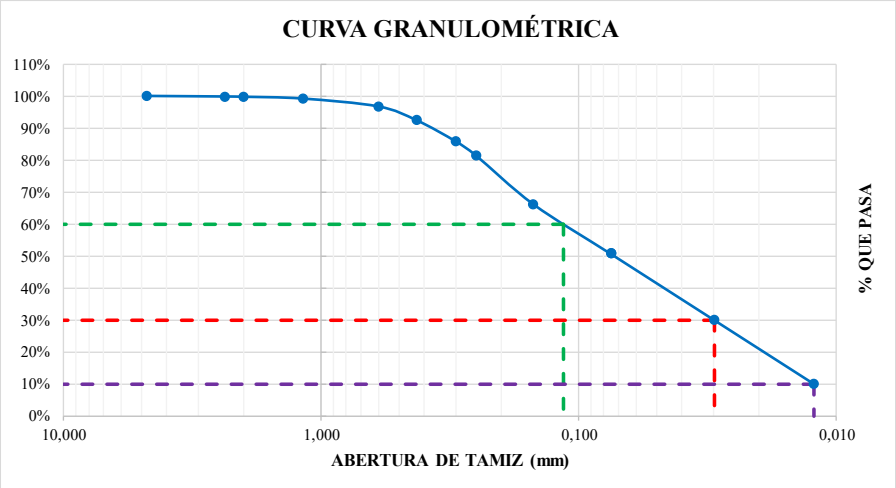
Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR			
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 18; 172715,00 m E; 9849483,00 m S	
Revisado por:	Ing. Vanessa López			
ID Muestra:	Muestra de suelo M2	**Provincia:**	Pastaza	
		Peso muestra seca:	500	gr

Ensayo Granulométrico

1. Determinación de la granulométria del suelo

# Tamiz	Abertura (mm)	Peso Parcial Retenido (gr)	Peso Retenido Acumulado (gr)	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
Nº 4	4,760	-	-	0,00%	100,00%
Nº 8	2,360	0,90	0,90	0,18%	99,82%
Nº 10	2,000	0,40	1,30	0,26%	99,74%
Nº 16	1,180	2,80	4,10	0,82%	99,18%
Nº 30	0,600	12,30	16,40	3,28%	96,72%
Nº 40	0,425	21,80	38,20	7,64%	92,36%
Nº 50	0,300	32,90	71,10	14,22%	85,78%
Nº 60	0,250	22,30	93,40	18,68%	81,32%
Nº 100	0,150	75,80	169,20	33,85%	66,15%
Nº 200	0,075	77,60	246,80	49,37%	50,63%
Fuente	-	253,10	253,10	50,63%	-
Total		499,90			

2. Gráfico de Distribución Granulométrica



3. Parámetros Granulométricos

Tamaño Nominal Máximo (TNM) =	0,60	**Cu =**	9,41	**Error Permitido =**	1,00%
Diámetro Dimencional (D60) =	0,115				
Diámetro Equiparable (D30) =	0,030	**Cc =**	0,63	**Error Calculado =**	0,02%
Diámetro Efectivo (D10) =	0,012				

4. Porcentaje del materal

	Grava (%)	Arena (%)	Limo y Arcillas (%)
SUCS	0,00%	49,37%	50,63%
AASHTO	0,26%	49,11%	50,63%

4. Clasificación

Por el método SUCS, el suelo se clasifica como un limo de alta plasticidad (MH). Mediante el método AASHTO, se determinó que se trata de un suelo arcilloso tipo A-7-5, lo que corresponde a un suelo altamente plástico de calidad pobre.

Anexo 25:Ensayo Límites de Atterberg M2

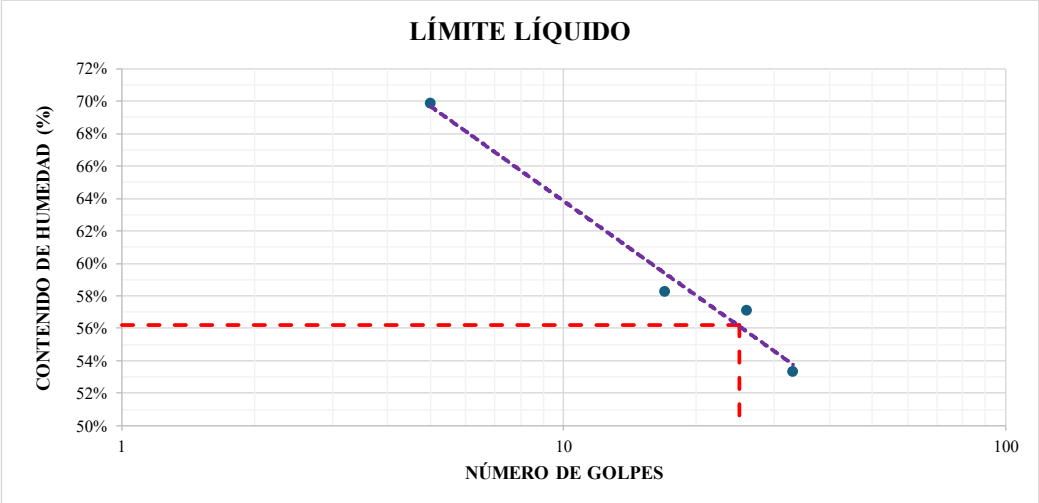
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D4318, AASHTO T89-90

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 18; 172715,00 m E; 9849483,00 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M2	**Provincia:**	Pastaza

Límite Líquido

Intervalo	**0 - 10**		**10- 20.**		**20-30**		**30-40**	
Número de golpes	5		17		26		33	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	19,50	18,40	17,60	18,50	18,80	17,00	18,30	19,80
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	16,10	15,50	15,60	15,90	16,10	14,90	16,00	16,80
Peso del recipiente (Wr)	11,40	11,20	12,20	11,40	11,40	11,20	11,50	11,40
Peso del agua (Ww)	3,40	2,90	2,00	2,60	2,70	2,10	2,30	3,00
Peso de la muestra seca (Ws)	4,70	4,30	3,40	4,50	4,70	3,70	4,50	5,40
Contenido de humedad (W%)	72,34%	67,44%	58,82%	57,78%	57,45%	56,76%	51,11%	55,56%
Promedio (W%)	69,89%		58,30%		57,10%		53,33%	
Límite Líquido (LL%)	56,20%							

Grafica Límite líquido



Límite Plástico

Número de muestra	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	8,50	8,30	8,30	8,20	8,40	8,30
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	8,20	8,10	8,10	8,00	8,10	8,00
Peso del recipiente (Wr)	7,50	7,60	7,60	7,50	7,50	7,50
Peso del agua (Ww)	0,30	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30
Peso de la muestra seca (Ws)	0,70	0,50	0,50	0,50	0,60	0,50
Contenido de humedad (W%)	42,86%	40,00%	40,00%	40,00%	50,00%	60,00%
Promedio (W%)	**45,48%**					

Resultados

Límite Líquido (%)	**Límite Plástico (%)**	**Índice de Plasticidad (%)**
56,20%	**45,48%**	**10,72%**

Anexo 26:Ensayo Límites de Atterberg M2 + 2% CVH

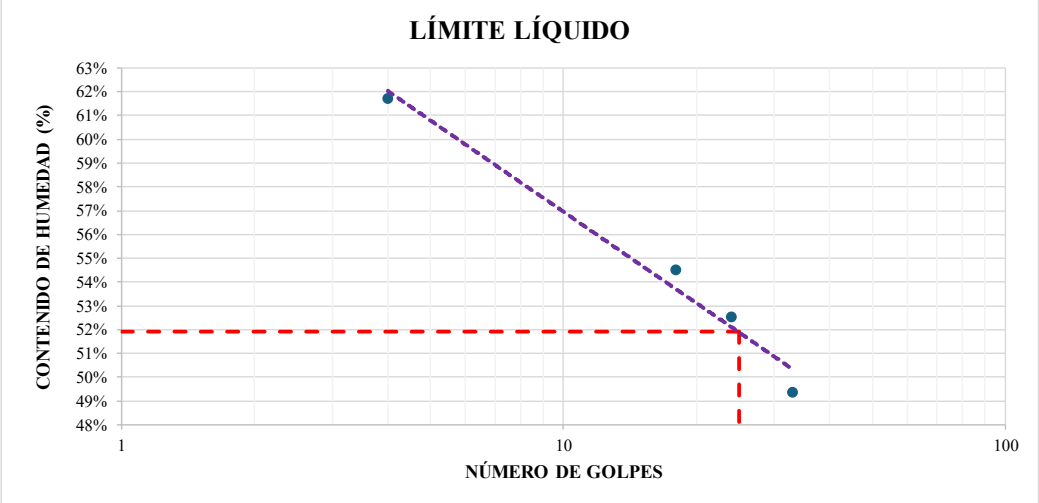
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D4318, AASHTO T89-90

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 18; 172715,00 m E; 9849483,00 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M2 + 2% CVH	**Provincia:**	Pastaza

Límite Líquido

Intervalo	**0 - 10**		**10- 20.**		**20-30**		**30-40**	
Número de golpes	4		18		24		33	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	12,70	10,30	11,00	10,00	10,50	10,40	11,40	10,40
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	10,80	8,00	8,70	8,00	8,40	8,30	9,10	8,40
Peso del recipiente (Wr)	7,70	4,30	4,40	4,40	4,30	4,40	4,50	4,30
Peso del agua (Ww)	1,90	2,30	2,30	2,00	2,10	2,10	2,30	2,00
Peso de la muestra seca (Ws)	3,10	3,70	4,30	3,60	4,10	3,90	4,60	4,10
Contenido de humedad (W%)	61,29%	62,16%	53,49%	55,56%	51,22%	53,85%	50,00%	48,78%
Promedio (W%)	61,73%		54,52%		52,53%		49,39%	
Límite Líquido (LL%)	51,90%							

Grafica Límite líquido



Límite Plástico

Número de muestra	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	8,30	8,40	8,50	8,50	8,40	8,30
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	8,10	8,10	8,20	8,20	8,20	8,00
Peso del recipiente (Wr)	7,50	7,50	7,50	7,40	7,50	7,50
Peso del agua (Ww)	0,20	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30
Peso de la muestra seca (Ws)	0,60	0,60	0,70	0,80	0,70	0,50
Contenido de humedad (W%)	33,33%	50,00%	42,86%	37,50%	28,57%	60,00%
Promedio (W%)	**42,04%**					

Resultados

Límite Líquido (%)	**Límite Plástico (%)**	**Índice de Plasticidad (%)**
51,90%	**42,04%**	**9,86%**

Anexo 27:Ensayo Límites de Atterberg M2 + 3% CVH

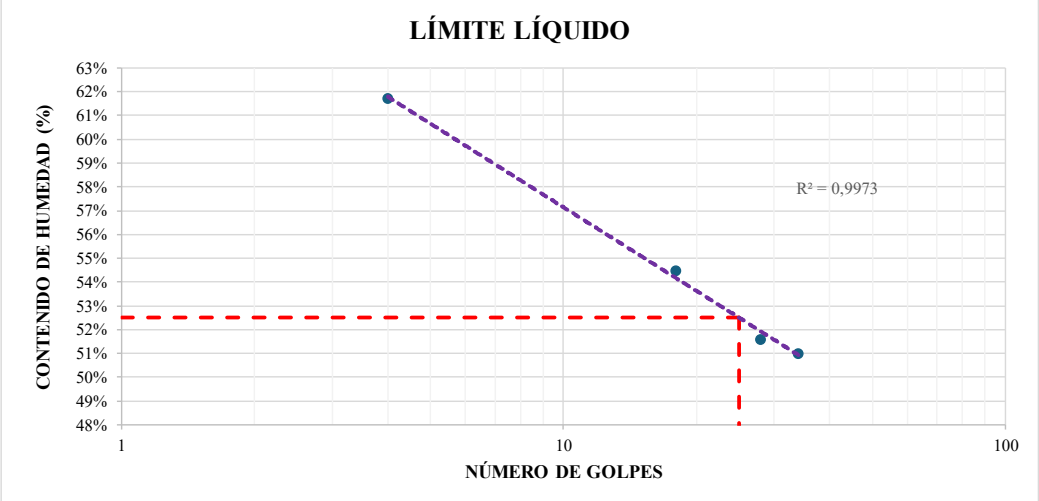
UNIVESIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D4318, AASHTO T89-90

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 18; 172715,00 m E; 9849483,00 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M2 + 3% CVH	**Provincia:**	Pastaza

Límite Líquido

Intervalo	**0 - 10**		**10- 20.**		**20-30**		**30-40**	
Número de golpes	4		18		28		34	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	19,60	19,00	20,00	19,30	18,50	18,40	19,10	17,40
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	16,50	16,00	17,30	16,50	16,10	16,00	16,50	15,40
Peso del recipiente (Wr)	11,30	11,30	12,20	11,50	11,50	11,30	11,50	11,40
Peso del agua (Ww)	3,10	3,00	2,70	2,80	2,40	2,40	2,60	2,00
Peso de la muestra seca (Ws)	5,20	4,70	5,10	5,00	4,60	4,70	5,00	4,00
Contenido de humedad (W%)	59,62%	63,83%	52,94%	56,00%	52,17%	51,06%	52,00%	50,00%
Promedio (W%)	61,72%		54,47%		51,62%		51,00%	
Límite Líquido (LL%)	52,50%							

Grafica Límite líquido



Límite Plástico

Número de muestra	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	8,50	8,40	8,50	8,80	8,60	8,30
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	8,30	8,20	8,20	8,40	8,20	8,10
Peso del recipiente (Wr)	7,60	7,50	7,60	7,60	7,60	7,60
Peso del agua (Ww)	0,20	0,20	0,30	0,40	0,40	0,20
Peso de la muestra seca (Ws)	0,70	0,70	0,60	0,80	0,60	0,50
Contenido de humedad (W%)	28,57%	28,57%	50,00%	50,00%	66,67%	40,00%
Promedio (W%)	**43,97%**					

Resultados

Límite Líquido (%)	**Límite Plástico (%)**	**Índice de Plasticidad (%)**
52,50%	**43,97%**	**8,53%**

Anexo 28:Ensayo Límites de Atterberg M2 + 5% CVH

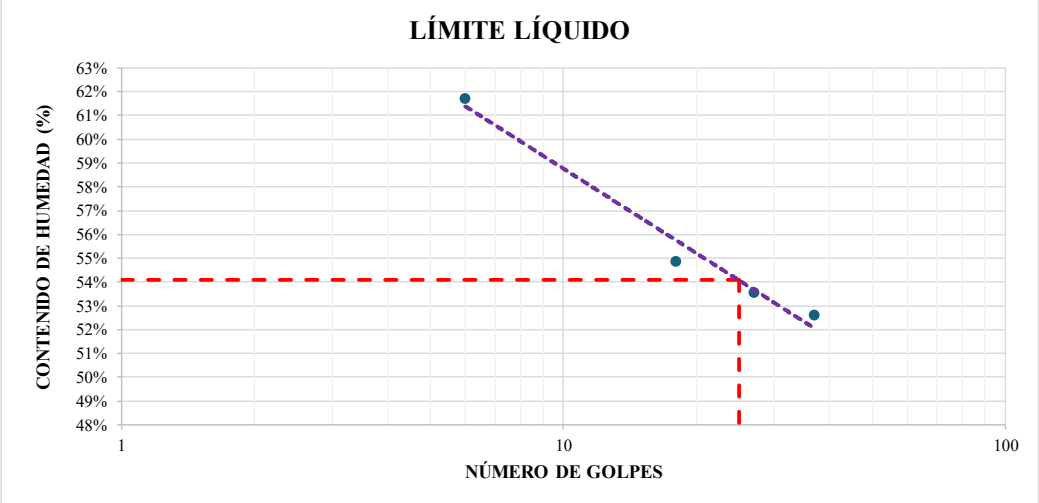
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D4318, AASHTO T89-90

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 18; 172715,00 m E; 9849483,00 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M2 + 5% CVH	**Provincia:**	Pastaza

Límite Líquido

Intervalo	**0 - 10**		**10- 20.**		**20-30**		**30-40**	
Número de golpes	6		18		27		37	
Número de muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	15,40	9,90	12,20	12,20	10,50	11,20	10,40	9,80
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	12,50	7,80	9,40	9,40	8,40	8,80	8,30	8,00
Peso del recipiente (Wr)	7,80	4,40	4,30	4,30	4,50	4,30	4,40	4,50
Peso del agua (Ww)	2,90	2,10	2,80	2,80	2,10	2,40	2,10	1,80
Peso de la muestra seca (Ws)	4,70	3,40	5,10	5,10	3,90	4,50	3,90	3,50
Contenido de humedad (W%)	61,70%	61,76%	54,90%	54,90%	53,85%	53,33%	53,85%	51,43%
Promedio (W%)	61,73%		54,90%		53,59%		52,64%	
Límite Líquido (LL%)	54,10%							

Grafica Límite líquido



Límite Plástico

Número de muestra	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr)	8,60	8,50	8,70	8,50	8,50	8,70
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr)	8,30	8,20	8,30	8,20	8,20	8,30
Peso del recipiente (Wr)	7,60	7,50	7,50	7,50	7,50	7,60
Peso del agua (Ww)	0,30	0,30	0,40	0,30	0,30	0,40
Peso de la muestra seca (Ws)	0,70	0,70	0,80	0,70	0,70	0,70
Contenido de humedad (W%)	42,86%	42,86%	50,00%	42,86%	42,86%	57,14%
Promedio (W%)	**46,43%**					

Resultados

Límite Líquido (%)	**Límite Plástico (%)**	**Índice de Plasticidad (%)**
54,10%	**46,43%**	**7,67%**

Anexo 29:Ensayo Proctor Modificado M2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1557, AASHTO T180

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 18; 172715,00 m E; 9849483,00 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M2	**Provincia:**	Pastaza

Proctor Modificado Método B

Especificaciones del ensayo

Nº de Golpes:	56	**Altura de caída:**	18,00	plg	**Diámetro:**	15,20	cm
Nº de Capas:	5	**Peso del martillo:**	10,00	lb	**Altura:**	11,70	cm
Energía de compactación:	56018,47 lb·ft/ft3	**Peso del molde:**	16402,5	gr	**Volumen del molde:**	2123,06	cm3

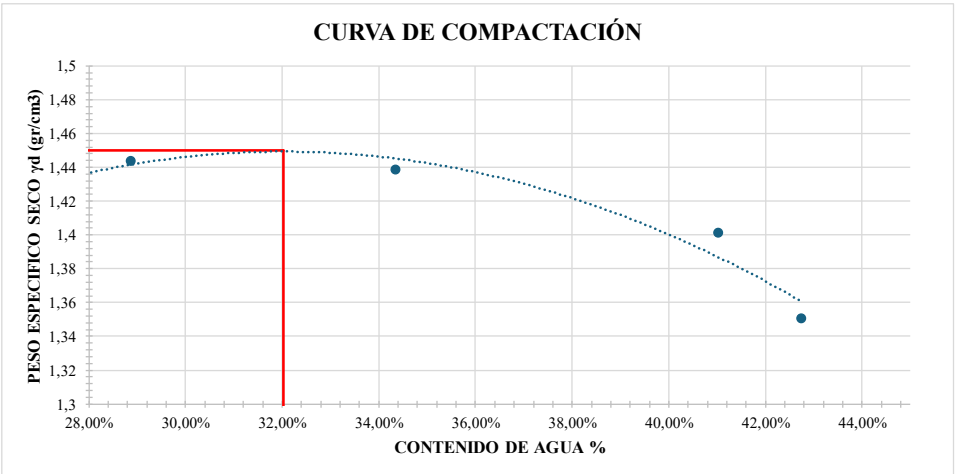
1. Proceso de Compactación

Número de ensayo	1	2	3	4
Humedad inicial añadida (%)	10	15	20	25
Humedad inicial añadida (ml)	450	675	900	1125
Peso inicial (gr)	4500	4500	4500	4500
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	20352,50	20505,50	20598,50	20495,50
Peso del suelo húmedo (gr)	3950,00	4103,00	4196,00	4093,00
Peso Unitario húmedo (gr/cm3)	1,861	1,933	1,976	1,928

2. Contenido de Humedad

Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo húmedo + recipiente	40,30	36,30	43,70	43,90	51,10	50,70	44,90	47,70
Peso del suelo seco + recipiente	32,90	30,00	34,70	34,70	38,80	37,90	33,60	35,90
Peso del recipiente	7,90	7,60	8,20	8,20	7,80	7,70	7,70	7,70
Peso del agua (Ww)	7,40	6,30	9,00	9,20	12,30	12,80	11,30	11,80
Peso del suelo seco	25,00	22,40	26,50	26,50	31,00	30,20	25,90	28,20
Contenido de agua	29,60%	28,13%	33,96%	34,72%	39,68%	42,38%	43,63%	41,84%
W promedio (%)	28,86%		34,34%		41,03%		42,74%	
Peso Unitario seco	1,444		1,439		1,401		1,351	

3. Determinación Gráfica de la densidad máxima y humedad óptima



4. Resultados

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,450
Humedad Óptima	32,02%

Anexo 30:Ensayo Proctor Modificado M2 + 2% CVH

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1557, AASHTO T180

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 18; 172715,00 m E; 9849483,00 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M2 + 2% CVH	**Provincia:**	Pastaza

Proctor Modificado Método B

Especificaciones del ensayo

Nº de Golpes:	56		**Altura de caída:**	18,00	plg	**Diámetro:**	15,20	cm
Nº de Capas:	5		**Peso del martillo:**	10,00	lb	**Altura:**	11,70	cm
Energía de compactación:	56018,47	lb·ft/ft3	**Peso del molde:**	16402,5	gr	**Volumen del molde:**	2123,06	cm3

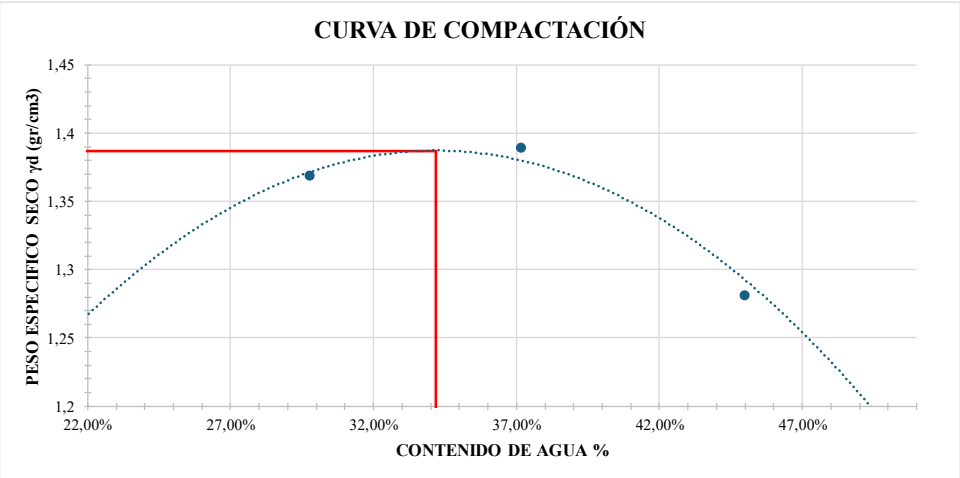
1. Proceso de Compactación

Número de ensayo	1	2	3	4
Humedad inicial añadida (%)	15	20	25	30
Humedad inicial añadida (ml)	675	900	1125	1350
Peso inicial (gr)	4500	4500	4500	4500
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	20172,10	20448,30	20345,30	20210,40
Peso del suelo húmedo (gr)	3769,60	4045,80	3942,80	3807,90
Peso Unitario húmedo (gr/cm3)	1,776	1,906	1,857	1,794

2. Contenido de Humedad

Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo húmedo + recipiente	38,20	41,00	47,00	46,90	50,90	51,30	54,70	54,20
Peso del suelo seco + recipiente	31,30	33,50	36,90	37,00	37,60	37,80	39,20	39,00
Peso del recipiente	8,20	8,20	9,90	10,20	8,00	7,80	8,30	8,10
Peso del agua (Ww)	6,90	7,50	10,10	9,90	13,30	13,50	15,50	15,20
Peso del suelo seco	23,10	25,30	27,00	26,80	29,60	30,00	30,90	30,90
Contenido de agua	29,87%	29,64%	37,41%	36,94%	44,93%	45,00%	50,16%	49,19%
W promedio (%)	29,76%		37,17%		44,97%		49,68%	
Peso Unitario seco	1,368		1,389		1,281		1,198	

3. Determinación Gráfica de la densidad máxima y humedad óptima



4. Resultados

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,387
Humedad Óptima	34,18%

Anexo 31:Ensayo Proctor Modificado M2 + 3% CVH

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1557, AASHTO T180

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 18; 172715,00 m E; 9849483,00 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M2 + 3% CVH	**Provincia:**	Pastaza

Proctor Modificado Método B

Especificaciones del ensayo

Nº de Golpes:	56		**Altura de caída:**	18,00	plg	**Diámetro:**	15,20	cm
Nº de Capas:	5		**Peso del martillo:**	10,00	lb	**Altura:**	11,50	cm
Energía de compactación:	56992,71	lb·ft/ft3	**Peso del molde:**	16649,5	gr	**Volumen del molde:**	2086,77	cm3

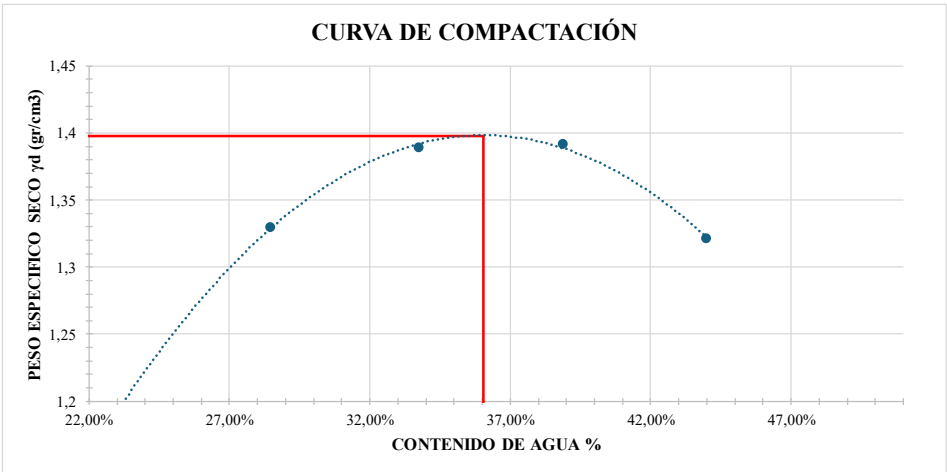
1. Proceso de Compactación

Número de ensayo	1	2	3	4
Humedad inicial añadida (%)	10	15	20	25
Humedad inicial añadida (ml)	450	675	900	1125
Peso inicial (gr)	4500	4500	4500	4500
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	20213,50	20527,00	20681,50	20620,00
Peso del suelo húmedo (gr)	3564,00	3877,50	4032,00	3970,50
Peso Unitario húmedo (gr/cm3)	1,708	1,858	1,932	1,903

2. Contenido de Humedad

Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo húmedo + recipiente	40,10	36,30	35,70	35,90	42,00	42,50	42,30	44,50
Peso del suelo seco + recipiente	32,90	30,00	28,60	28,90	32,50	33,00	31,80	33,40
Peso del recipiente	7,90	7,60	8,00	7,70	8,40	8,20	7,80	8,30
Peso del agua (Ww)	7,20	6,30	7,10	7,00	9,50	9,50	10,50	11,10
Peso del suelo seco	25,00	22,40	20,60	21,20	24,10	24,80	24,00	25,10
Contenido de agua	28,80%	28,13%	34,47%	33,02%	39,42%	38,31%	43,75%	44,22%
W promedio (%)	28,46%		33,74%		38,86%		43,99%	
Peso Unitario seco	1,329		1,389		1,391		1,321	

3. Determinación Gráfica de la densidad máxima y humedad óptima



4. Resultados

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,398
Humedad Óptima	36,06%

Anexo 32:Ensayo Proctor Modificado M2 + 5% CVH

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1557, AASHTO T180

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR						
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco		**Coordenadas:**	Zona 18; 172715,00 m E; 9849483,00 m S			
Revisado por:	Ing. Vanessa López						
ID Muestra:	Muestra de suelo M2 + 5% CVH		**Provincia:**	Pastaza			
Proctor Modificado Método B							
Especificaciones del ensayo							
Nº de Golpes:	56		**Altura de caída:**	18,00	plg	**Diámetro:**	15,20 cm
Nº de Capas:	5		**Peso del martillo:**	10,00	lb	**Altura:**	11,50 cm
Energía de compactación:	56992,71	lb·ft/ft3	**Peso del molde:**	16649,5	gr	**Volumen del molde:**	2086,77 cm3

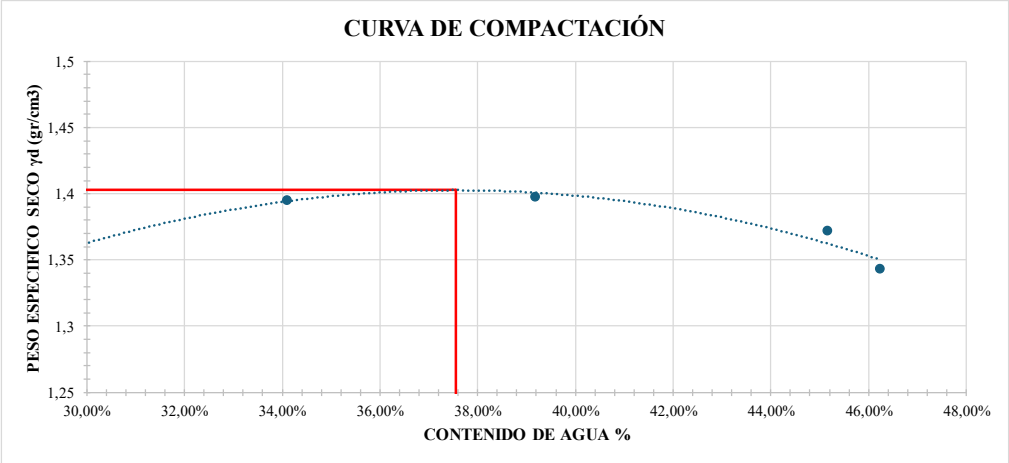
1. Proceso de Compactación

Número de ensayo	1	2	3	4
Humedad inicial añadida (%)	15	20	25	30
Humedad inicial añadida (ml)	675	900	1125	1350
Peso inicial (gr)	4500	4500	4500	4500
Peso del suelo húmedo + molde (gr)	20554,10	20708,90	20805,10	20747,70
Peso del suelo húmedo (gr)	3904,60	4059,40	4155,60	4098,20
Peso Unitario húmedo (gr/cm3)	1,871	1,945	1,991	1,964

2. Contenido de Humedad

Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6	7	8
Peso del suelo húmedo + recipiente	49,50	51,20	45,50	47,90	47,00	46,80	57,00	60,20
Peso del suelo seco + recipiente	39,70	40,60	34,90	36,60	35,00	34,60	42,10	44,40
Peso del recipiente	10,20	10,30	7,80	7,80	7,80	8,20	9,90	10,20
Peso del agua (Ww)	9,80	10,60	10,60	11,30	12,00	12,20	14,90	15,80
Peso del suelo seco	29,50	30,30	27,10	28,80	27,20	26,40	32,20	34,20
Contenido de agua	33,22%	34,98%	39,11%	39,24%	44,12%	46,21%	46,27%	46,20%
W promedio (%)	34,10%		39,18%		45,16%		46,24%	
Peso Unitario seco	1,395		1,398		1,372		1,343	

3. Determinación Gráfica de la densidad máxima y humedad óptima



4. Resultados

Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,403
Humedad Óptima	37,56%

Anexo 33:Ensayo CBR M2

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1883, AASHTO T193

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 18; 172715,00 m E; 9849483,00 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M2	**Provincia:**	Pastaza

Ensayo California Bearning Ratio (CBR)						
Especificaciones del ensayo						
Peso Muestra:	5000	gr	**Densidad seca máxima:**	1,450	gr/cm3	
Peso Martillo:	10	lb	**W% Óptimo:**	32,02%	%	
Altura de Caída:	18	in				

Proceso de Compactación						
Molde	1		2		3	
Dimensiones	Diámetro	15	Diámetro	15	Diámetro	15
	Altura	11,7	Altura	11,7	Altura	11,7
Nº de Capas	5		5		5	
Nº de Golpes	56		27		11	
Peso del suelo húmedo + molde	10808,00		10753,30		10315,40	
Peso del molde	6754,80		6779,00		6734,50	
Peso de muestra húmeda	4053,20		3974,30		3580,90	
Volumen de la muestra	2067,56		2067,56		2067,56	
Peso Unitario húmedo	1,960		1,922		1,732	

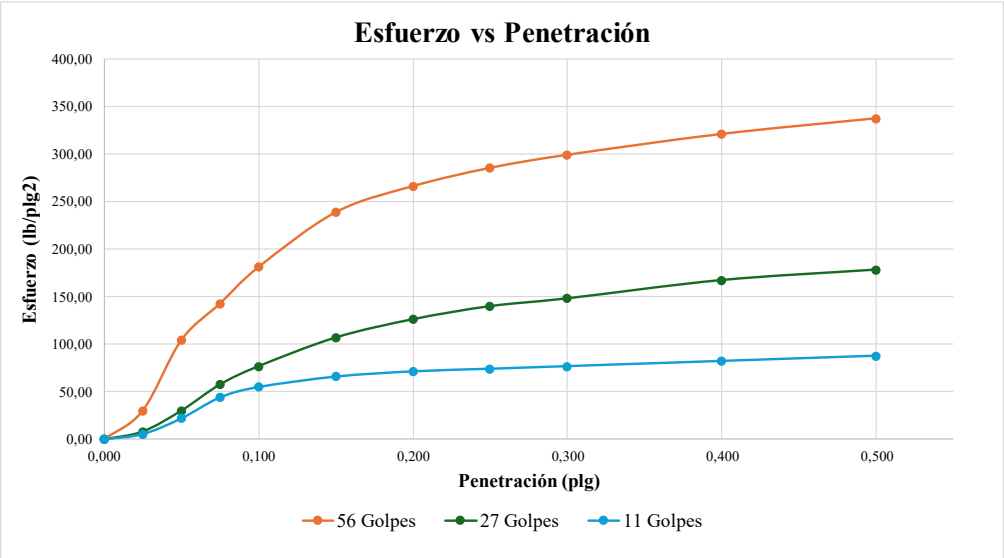
Contenido de humedad						
Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6
Peso del suelo húmedo + recipiente	45,90	46,80	49,60	49,80	41,40	41,00
Peso del suelo seco + recipiente	36,60	37,10	39,30	39,60	33,20	32,90
Peso del recipiente	8,10	8,10	7,90	7,90	7,30	8,00
Peso del agua (Ww)	9,30	9,70	10,30	10,20	8,20	8,10
Peso del suelo seco	28,50	29,00	31,40	31,70	25,90	24,90
Contenido de humedad (W%)	32,63%	33,45%	32,80%	32,18%	31,66%	32,53%
Promedio (W%)	33,04%		32,49%		32,10%	
Peso Unitario seco	1,474		1,451		1,311	

Después de la Saturación						
Peso del suelo húmedo + molde	10970,10		10914,60		10470,10	
Peso del molde	6754,80		6779,00		6734,50	
Peso de muestra húmeda	4215,30		4135,60		3735,60	
Volumen de la muestra	2067,56		2067,56		2067,56	
Peso Unitario húmedo	2,039		2,000		1,807	

Contenido de humedad						
Nº de Recipiente	7	8	9	10	11	12
Peso del suelo húmedo + recipiente	40,20	39,00	46,60	45,30	46,60	41,70
Peso del suelo seco + recipiente	31,80	31,50	36,90	35,70	36,30	32,70
Peso del recipiente	8,00	8,00	8,10	8,10	8,00	8,10
Peso del agua (Ww)	8,40	7,50	9,70	9,60	10,30	9,00
Peso del suelo seco	23,80	23,50	28,80	27,60	28,30	24,60
Contenido de humedad (W%)	35,29%	31,91%	33,68%	34,78%	36,40%	36,59%
Promedio (W%)	33,60%		34,23%		36,49%	

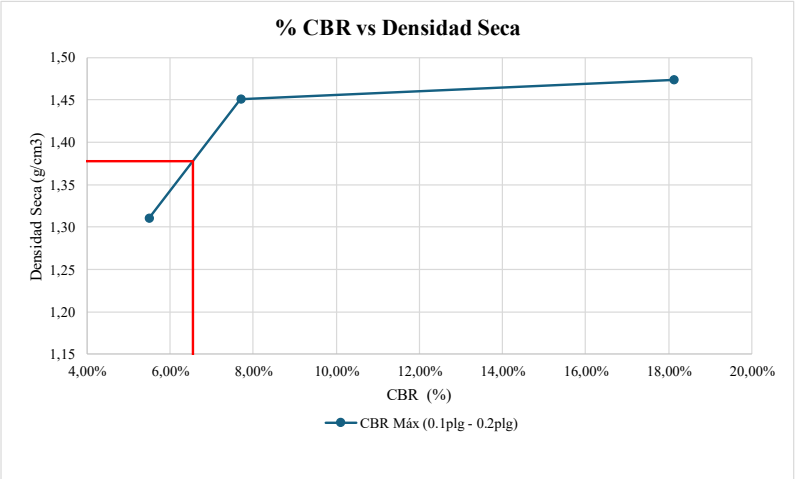
Ensayo de carga de penetración												
Molde	1				2				3			
Nº de Golpes	56				27				11			
Penetración pl	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %
		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
		pl/plg2				pl/plg2				pl/plg2		
0,000	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00		
0,025	90,66	30,22			24,73	8,24			16,48	5,49		
0,050	313,19	104,40			90,66	30,22			65,93	21,98		
0,075	428,57	142,86			173,08	57,69			131,87	43,96		
0,100	543,96	181,32	181,32	18,13%	230,77	76,92	76,92	7,69%	164,84	54,95	54,95	5,49%
0,150	717,03	239,01			321,43	107,14			197,80	65,93		
0,200	799,45	266,48	266,48	17,77%	379,12	126,37	126,37	8,42%	214,29	71,43	71,43	4,76%
0,250	857,14	285,71			420,33	140,11			222,53	74,18		
0,300	898,35	299,45			445,05	148,35			230,77	76,92		
0,400	964,29	321,43			502,75	167,58			247,25	82,42		
0,500	1013,74	337,91			535,71	178,57			263,74	87,91		

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Nº de molde	Presión	CBR 0.1 plg	Dencidad Seca	Presión	CBR 0.2 plg	Dencidad Seca
56	181,32	18,13%	1,474	266,48	17,77%	1,474
27	76,92	7,69%	1,451	126,37	8,42%	1,451
11	54,95	5,49%	1,311	71,43	4,76%	1,311

Gráfica de % CBR vs Densidad seca



4. Resultados	
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,45
95% de Densidad Máx	1,378
%CBR	6,55%

Anexo 34:Ensayo CBR M2 + 2% CVH

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1883, AASHTO T193

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 18; 172715,00 m E; 9849483,00 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M2+2%CVH	**Provincia:**	Pastaza

Ensayo California Bearning Ratio (CBR)

Especificaciones del ensayo

Peso Muestra:	5000	gr	**Densidad seca máxima:**	1,387	gr/cm3
Peso Martillo:	10	lb	**W% Óptimo:**	34,18%	%
Altura de Caída:	18	in			

Proceso de Compactación

Molde	1		2		3	
Dimensiones	Diámetro	15	Diámetro	15	Diámetro	15
	Altura	11,6	Altura	11,6	Altura	11,6
Nº de Capas	5		5		5	
Nº de Golpes	56		27		11	
Peso del suelo húmedo + molde	12147,50		12042,60		11869,90	
Peso del molde	8472,40		8400,20		8323,60	
Peso de muestra húmeda	3675,10		3642,40		3546,30	
Volumen de la muestra	2049,89		2049,89		2049,89	
Peso Unitario húmedo	1,793		1,777		1,730	

Contenido de humedad

Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6
Peso del suelo húmedo + recipiente	52,20	52,00	47,50	48,00	43,80	44,00
Peso del suelo seco + recipiente	40,70	40,80	37,40	37,80	35,00	35,20
Peso del recipiente	7,70	8,00	8,00	7,80	7,70	7,80
Peso del agua (Ww)	11,50	11,20	10,10	10,20	8,80	8,80
Peso del suelo seco	33,00	32,80	29,40	30,00	27,30	27,40
Contenido de humedad (W%)	34,85%	34,15%	34,35%	34,00%	32,23%	32,12%
Promedio (W%)	34,50%		34,18%		32,18%	
Peso Unitario seco	1,333		1,324		1,309	

Después de la Saturación

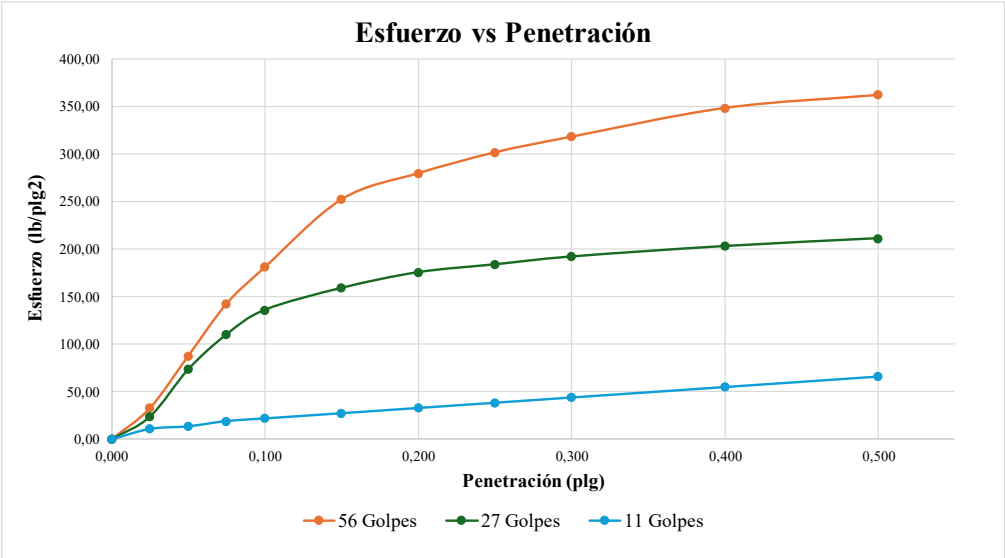
Peso del suelo húmedo + molde	12225,20	12119,70	11945,90
Peso del molde	8472,40	8400,20	8323,60
Peso de muestra húmeda	3752,80	3719,50	3622,30
Volumen de la muestra	2049,89	2049,89	2049,89
Peso Unitario húmedo	1,831	1,814	1,767

Contenido de humedad

Nº de Recipiente	7	8	9	10	11	12
Peso del suelo húmedo + recipiente	39,20	40,50	50,40	51,10	58,60	57,70
Peso del suelo seco + recipiente	30,80	31,80	39,00	39,60	44,90	44,30
Peso del recipiente	8,00	8,10	8,10	8,00	8,10	8,10
Peso del agua (Ww)	8,40	8,70	11,40	11,50	13,70	13,40
Peso del suelo seco	22,80	23,70	30,90	31,60	36,80	36,20
Contenido de humedad (W%)	36,84%	36,71%	36,89%	36,39%	37,23%	37,02%
Promedio (W%)	36,78%		36,64%		37,12%	

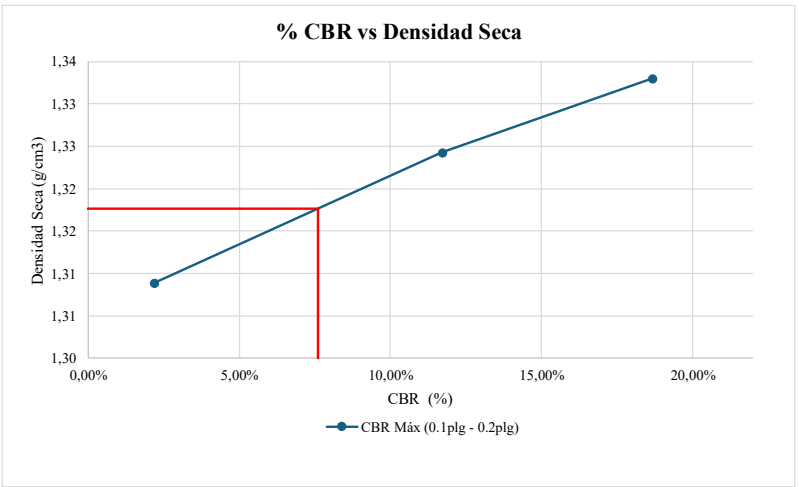
Ensayo de carga de penetración												
Molde	1				2				3			
Nº de Golpes	56				27				11			
Penetración pl	**Q Lectura Dial lb**	**Presiones**		**CBR %**	**Q Lectura Dial lb**	**Presiones**		**CBR %**	**Q Lectura Dial lb**	**Presiones**		**CBR %**
		Leida	**Corregida**			**Leida**	**Corregida**			**Leida**	**Corregida**	
		pl/plg2				**pl/plg2**				**pl/plg2**		
0,000	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00		
0,025	98,90	32,97			71,71	23,90			32,97	10,99		
0,050	263,74	87,91			221,11	73,70			41,21	13,74		
0,075	428,57	142,86			331,39	110,46			57,69	19,23		
0,100	543,96	181,32	181,32	18,13%	408,79	136,26	136,26	13,63%	65,93	21,98	21,98	2,20%
0,150	758,24	252,75			478,02	159,34			82,42	27,47		
0,200	840,66	280,22	280,22	18,68%	527,47	175,82	175,82	11,72%	98,90	32,97	32,97	2,20%
0,250	906,59	302,20			552,20	184,07			115,38	38,46		
0,300	956,04	318,68			576,92	192,31			131,87	43,96		
0,400	1046,70	348,90			609,89	203,30			164,84	54,95		
0,500	1087,91	362,64			634,62	211,54			197,80	65,93		

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Nº de molde	**Presión**	**CBR 0.1 plg**	**Dencidad Seca**	**Presión**	**CBR 0.2 plg**	**Dencidad Seca**
56	181,32	18,13%	1,333	280,22	18,68%	1,333
27	136,26	13,63%	1,324	175,82	11,72%	1,324
11	21,98	2,20%	1,309	32,97	2,20%	1,309

Gráfica de % CBR vs Densidad seca



4. Resultados	
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,387
95% de Densidad Máx	1,318
%CBR	7,60%

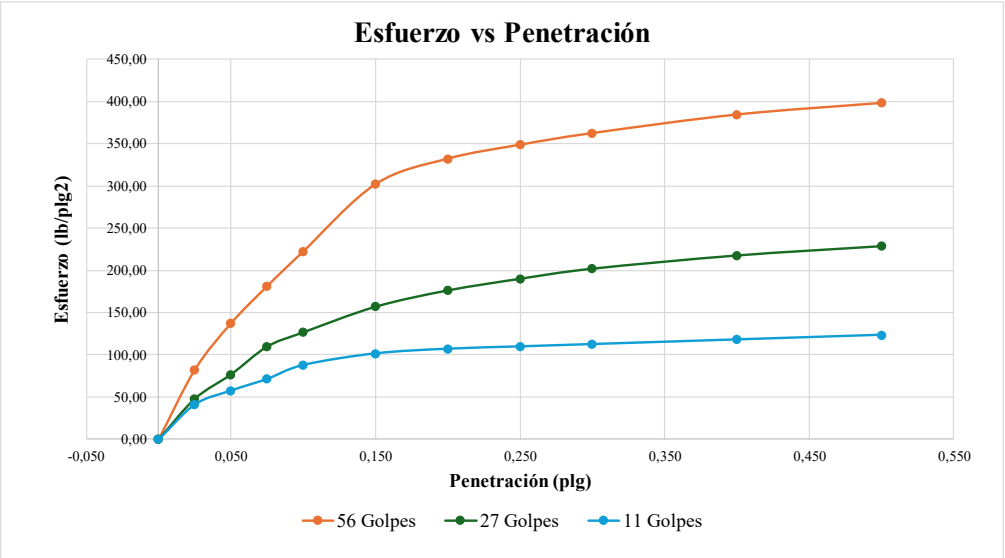
Anexo 35:Ensayo CBR M2 + 3% CVH

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1883, AASHTO T193

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR										
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco		**Coordenadas:**	Zona 18; 172715,00 m E; 9849483,00 m S							
Revisado por:	Ing. Vanessa López										
ID Muestra:	Muestra de suelo M2+3%CVH		**Provincia:**	Pastaza							
Ensayo California Bearning Ratio (CBR)											
Especificaciones del ensayo											
Peso Muestra:	5000	gr	**Densidad seca máxima:**	1,398			gr/cm3				
Peso Martillo:	10	lb	**W% Óptimo:**	36,06%			%				
Altura de Caída:	18	in									
Proceso de Compactación											
Molde	1			2			3				
Dimensiones	Diámetro	15		Diámetro	15,1		Diámetro	15,2			
	Altura	11,7		Altura	11,7		Altura	11,7			
Nº de Capas	5			5			5				
Nº de Golpes	56			27			11				
Peso del suelo húmedo + molde	12498,00			12445,70			12197,40				
Peso del molde	8491,40			8617,60			8391,30				
Peso de muestra húmeda	4006,60			3828,10			3806,10				
Volumen de la muestra	2067,56			2095,22			2123,06				
Peso Unitario húmedo	1,938			1,827			1,793				
Contenido de humedad											
Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6					
Peso del suelo húmedo + recipiente	40,70	41,00	43,30	43,00	41,30	42,70					
Peso del suelo seco + recipiente	31,90	32,20	33,90	33,70	32,50	33,40					
Peso del recipiente	7,70	8,00	8,20	8,10	8,20	7,70					
Peso del agua (Ww)	8,80	8,80	9,40	9,30	8,80	9,30					
Peso del suelo seco	24,20	24,20	25,70	25,60	24,30	25,70					
Contenido de humedad (W%)	36,36%	36,36%	36,58%	36,33%	36,21%	36,19%					
Promedio (W%)	36,36%		36,45%		36,20%						
Peso Unitario seco	1,421		1,339		1,316						
Después de la Saturación											
Peso del suelo húmedo + molde	12641,10		12452,70		12446,60						
Peso del molde	8491,40		8617,60		8391,30						
Peso de muestra húmeda	4149,70		3835,10		4055,30						
Volumen de la muestra	2067,56		2095,22		2123,06						
Peso Unitario húmedo	2,007		1,830		1,910						
Contenido de humedad											
Nº de Recipiente	7	8	9	10	11	12					
Peso del suelo húmedo + recipiente	49,70	47,80	47,50	46,80	52,50	50,10					
Peso del suelo seco + recipiente	37,80	37,20	36,40	36,10	40,00	38,10					
Peso del recipiente	8,10	8,00	8,20	8,10	7,60	7,70					
Peso del agua (Ww)	11,90	10,60	11,10	10,70	12,50	12,00					
Peso del suelo seco	29,70	29,20	28,20	28,00	32,40	30,40					
Contenido de humedad (W%)	40,07%	36,30%	39,36%	38,21%	38,58%	39,47%					
Promedio (W%)	38,18%		38,79%		39,03%						

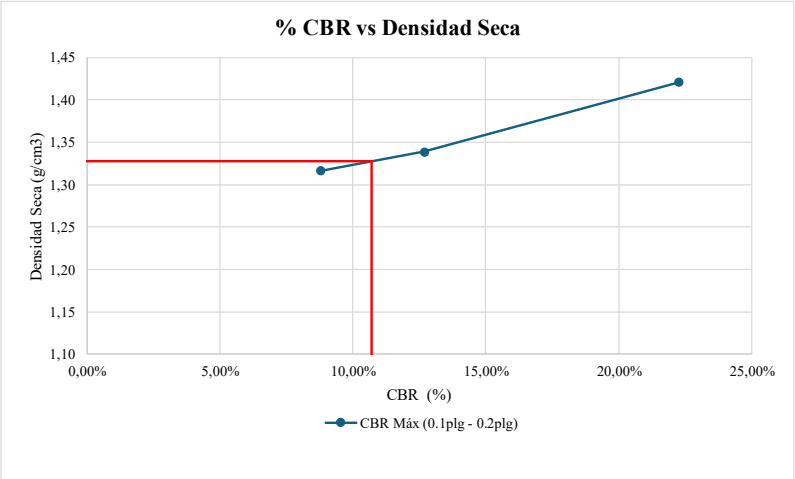
Ensayo de carga de penetración												
Molde	1				2				3			
Nº de Golpes	56				27				11			
Penetración pl	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %
		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
		pl/plg2				pl/plg2				pl/plg2		
0,000	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00		
0,025	247,25	82,42			144,23	48,08			123,63	41,21		
0,050	412,09	137,36			230,77	76,92			173,08	57,69		
0,075	543,96	181,32			329,67	109,89			214,29	71,43		
0,100	667,58	222,53	222,53	22,25%	380,36	126,79	126,79	12,68%	263,74	87,91	87,91	8,79%
0,150	906,59	302,20			471,47	157,16			304,95	101,65		
0,200	997,25	332,42	332,42	22,16%	529,45	176,48	176,48	11,77%	321,43	107,14	107,14	7,14%
0,250	1046,70	348,90			570,87	190,29			329,67	109,89		
0,300	1087,91	362,64			606,76	202,25			337,91	112,64		
0,400	1153,85	384,62			653,70	217,90			354,40	118,13		
0,500	1195,05	398,35			686,83	228,94			370,88	123,63		

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Nº de molde	Presión	CBR 0.1 plg	Dencidad Seca	Presión	CBR 0.2 plg	Dencidad Seca
56	222,53	22,25%	1,421	332,42	22,16%	1,421
27	126,79	12,68%	1,339	176,48	11,77%	1,339
11	87,91	8,79%	1,316	107,14	7,14%	1,316

Gráfica de % CBR vs Densidad seca



4. Resultados	
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,398
95% de Densidad Máx	1,328
%CBR	10,70%

Anexo 36:Ensayo CBR M2 + 5% CVH

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
NORMA: ASTM D1883, AASHTO T193

Proyecto:	ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL SUELO CON LA ADICIÓN DE CENIZA DE VAINA DE HABA COMO MATERIAL ESTABILIZADOR		
Elaborado por:	Christopher Daniel Carrasco	**Coordenadas:**	Zona 18; 172715,00 m E; 9849483,00 m S
Revisado por:	Ing. Vanessa López		
ID Muestra:	Muestra de suelo M2+5%CVH	**Provincia:**	Pastaza

Ensayo California Bearning Ratio (CBR)						
Especificaciones del ensayo						
Peso Muestra:	5000	gr	**Densidad seca máxima:**	1,403	gr/cm3	
Peso Martillo:	10	lb	**W% Óptimo:**	37,56%	%	
Altura de Caída:	18	in				

Proceso de Compactación						
Molde	1		2		3	
Dimensiones	Diámetro	15	Diámetro	15,1	Diámetro	15,2
	Altura	11,7	Altura	11,7	Altura	11,7
Nº de Capas	5		5		5	
Nº de Golpes	56		27		11	
Peso del suelo húmedo + molde	10796,80		10645,50		10556,70	
Peso del molde	6741,40		6771,00		6728,50	
Peso de muestra húmeda	4055,40		3874,50		3828,20	
Volumen de la muestra	2067,56		2095,22		2123,06	
Peso Unitario húmedo	1,961		1,849		1,803	

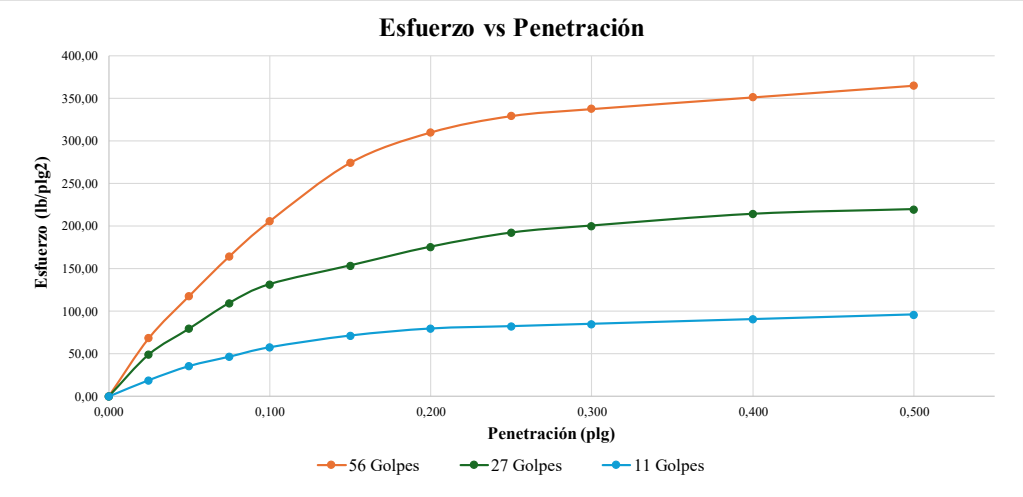
Contenido de humedad						
Nº de Recipiente	1	2	3	4	5	6
Peso del suelo húmedo + recipiente	45,50	44,80	48,10	46,20	43,80	47,40
Peso del suelo seco + recipiente	35,20	34,70	37,00	35,80	34,10	36,50
Peso del recipiente	8,00	8,20	8,00	8,10	8,00	8,00
Peso del agua (Ww)	10,30	10,10	11,10	10,40	9,70	10,90
Peso del suelo seco	27,20	26,50	29,00	27,70	26,10	28,50
Contenido de humedad (W%)	37,87%	38,11%	38,28%	37,55%	37,16%	38,25%
Promedio (W%)	37,99%		37,91%		37,71%	
Peso Unitario seco	1,421		1,341		1,309	

Después de la Saturación						
Peso del suelo húmedo + molde	10850,78		10698,77		10609,47	
Peso del molde	6741,40		6771,00		6728,50	
Peso de muestra húmeda	4109,38		3927,77		3880,97	
Volumen de la muestra	2067,56		2095,22		2123,06	
Peso Unitario húmedo	1,988		1,875		1,828	

Contenido de humedad						
Nº de Recipiente	7	8	9	10	11	12
Peso del suelo húmedo + recipiente	55,20	53,00	52,30	52,40	55,10	51,90
Peso del suelo seco + recipiente	42,20	40,10	40,20	40,20	42,80	40,40
Peso del recipiente	8,10	8,10	8,00	8,10	8,20	7,70
Peso del agua (Ww)	13,00	12,90	12,10	12,20	12,30	11,50
Peso del suelo seco	34,10	32,00	32,20	32,10	34,60	32,70
Contenido de humedad (W%)	38,12%	40,31%	37,58%	38,01%	35,55%	35,17%
Promedio (W%)	39,22%		37,79%		35,36%	

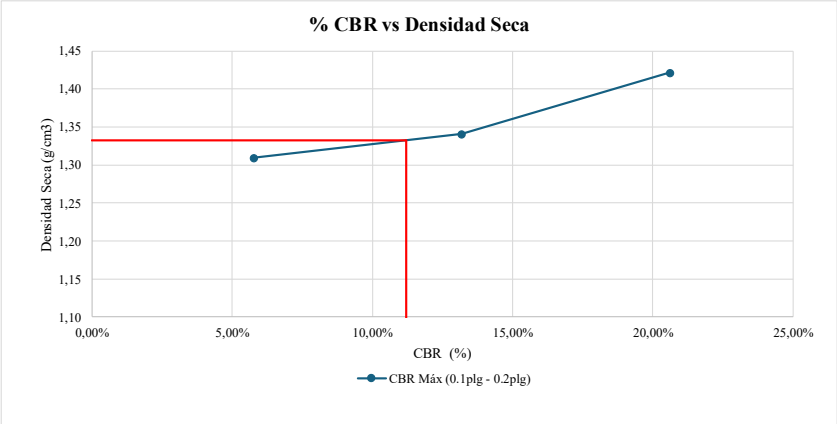
Ensayo de carga de penetración												
Molde	1				2				3			
Nº de Golpes	56				27				11			
Penetración pl	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %	Q Lectura Dial lb	Presiones		CBR %
		Leida	Corregida			Leida	Corregida			Leida	Corregida	
		pl/plg2				pl/plg2				pl/plg2		
0,000	0,00	0,00			0,00	0,00			0,00	0,00		
0,025	206,04	68,68			148,35	49,45			57,69	19,23		
0,050	354,40	118,13			239,01	79,67			107,14	35,71		
0,075	494,51	164,84			329,67	109,89			140,11	46,70		
0,100	618,13	206,04	206,04	20,60%	395,60	131,87	131,87	13,19%	173,08	57,69	57,69	5,77%
0,150	824,18	274,73			461,54	153,85			214,29	71,43		
0,200	931,32	310,44	310,44	20,70%	527,47	175,82	175,82	11,72%	239,01	79,67	79,67	5,31%
0,250	989,01	329,67			576,92	192,31			247,25	82,42		
0,300	1013,74	337,91			601,65	200,55			255,49	85,16		
0,400	1054,95	351,65			642,86	214,29			271,98	90,66		
0,500	1096,15	365,38			659,34	219,78			288,46	96,15		

Gráfica de Esfuerzo vs Penetración



Porcentajes CBR Corregidos						
Nº de molde	Presión	CBR 0.1 plg	Dencidad Seca	Presión	CBR 0.2 plg	Dencidad Seca
56	206,04	20,60%	1,421	310,44	20,70%	1,421
27	131,87	13,19%	1,341	175,82	11,72%	1,341
11	57,69	5,77%	1,309	79,67	5,31%	1,309

Gráfica de % CBR vs Densidad seca



4. Resultados	
Densidad Seca Máxima (gr/cm3)	1,403
95% de Densidad Máx	1,333
%CBR	11,20%

Anexo 37:Resultados del análisis de fluorescencia de CVH

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Resultados Análisis

Solicitante: Sr. Daniel Carrasco
Referencia: ST - 9167
Fecha: 08/05/2026
Muestras recibidas: Una muestra sólida denominada: *Según código registrado por el solicitante.*
Muestra 1: Cenizas de vaina de haba.

Resultados Análisis Fluorescencia de Rayos X

El análisis químico de la muestra se realizó en las cenizas obtenidas de la calcinación, mediante la utilización del equipo de espectrometría de fluorescencia de rayos X S8 Tiger, con el programa Spectra Pluss. A continuación, se detallan los resultados obtenidos del análisis:

ELEMENTO (Símbolo Químico)	Muestra 1
	Resultado Lectura FRX (%)
K	40,27
Ca	4,10
Cl	3,42
Mg	3,40
P	2,63
Fe	0,65
Si	0,63
Na	0,37
S	0,36
Al	0,13
Sr	0,06
Mn	0,05
Rb	0,03
Zn	0,02
Ti	0,02
Cu	0,01

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

Resultados de Calcinación

La calcinación se la realizó en una mufla marca: SNOL durante dos horas, a temperatura ascendente controlada hasta llegar a 550 grados centígrados. Los resultados obtenidos se detallan a continuación:

Código de la muestra	Residuo de calcinación	Pérdidas por calcinación
Muestra 1	87,4 %	12,6 %

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
EDDY FERNANDO PAZMINO IBARRA

Ing. Eddy Pazmiño PhD.
Jefe de Departamento

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
EVELYN PAMELA CRIOLLO TIRADO

MSc. Evelyn Criollo
Responsable de Laboratorio

Anexo 38: Fotografías

Extracción de la Muestra de suelo M1	
Fotografía 1	**Fotografía 2**
	
Limpieza superficial del terreno, retirando la capa vegetal	Inicio de la excavación manual de la calicata
Fotografía 3	**Fotografía 4**
	
Avance de la excavación con incremento de la profundidad de la calicata	Extracción de las muestras
Fotografía 5	**Fotografía 6**
	
Medición de la profundidad de la calicata	Vista final de la calicata

<table>
<tr><th colspan="2">Extracción de la Muestra de suelo M2</th></tr>
<tr><th>Fotografía 7</th><th>Fotografía 8</th></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Delimitación del área de excavación</td><td>Inicio de la excavación manual</td></tr>
<tr><th>Fotografía 9</th><th>Fotografía 10</th></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Extracción de material y conformación de las paredes</td><td>Avance de la excavación con incremento de la profundidad de la calicata</td></tr>
<tr><th>Fotografía 11</th><th>Fotografía 12</th></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Extracción de las muestras</td><td>Medición de la profundidad de la calicata</td></tr>
<tr><th colspan="2">Fotografía 13</th></tr>
</table>

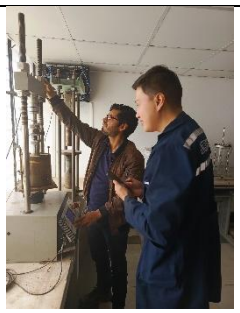
<table>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Vista final de la calicata</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ensayo contenido de humedad natural</td></tr>
<tr><td>Fotografía 14</td><td>Fotografía 15</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Peso del recipiente</td><td>Peso del recipiente con muestra</td></tr>
<tr><td colspan="2">Fotografía 16</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Secado al horno de las muestras</td></tr>
<tr><td>Fotografía 17</td><td>Fotografía 18</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Preparación de la muestra de suelo</td><td>Orden de los tamices para la clasificación del material</td></tr>
<tr><td>Fotografía 19</td><td>Fotografía 20</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Colocación de la muestra en el tamiz superior para iniciar el tamizado.</td><td>Colocación de los tamices en la tamizadora</td></tr>
<tr><td colspan="2">Fotografía 21</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Pesaje de muestra retenida en cada tamiz</td></tr>
<tr><td colspan="2">Límites de Atterberg</td></tr>
<tr><td>Fotografía 22</td><td>Fotografía 23</td></tr>
</table>

	
Materiales para limite líquido y plástico	Recipientes para limite líquido y plástico
Fotografía 24	**Fotografía 25**
	
Elaboración del ensayo de límite líquido	Muestra en la copa Casagrande
Fotografía 26	**Fotografía 27**
	
Extracción de la muestra	Elaboración del ensayo de limite plástico
Ensayo Proctor Modificado	
Fotografía 28	**Fotografía 29**

	
Preparación de la muestra	Toma de medidas del molde
Fotografía 30	**Fotografía 31**
	
Colocación de agua en la muestra de suelo	Compactación de muestra
Fotografía 32	**Fotografía 33**
	
Enrasado de la muestra	Peso de recipiente y toma de muestras
Ensayo CBR	
Fotografía 34	**Fotografía 35**

	
Preparación de las muestras	Toma de medidas del molde
Fotografía 36	**Fotografía 37**
	
Peso del molde	Compactación de muestra
Fotografía 38	**Fotografía 39**
	
Peso del molde más suelo	Inmersión de moldes CBR por 96 horas
Fotografía 40	

<table>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">Ensayo en curso en la maquina multispeed</td></tr>
<tr><td colspan="2">Elaboración de la ceniza de vaina de haba</td></tr>
<tr><td>Fotografía 41</td><td>Fotografía 42</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Obtención de la vaina de haba</td><td>Secado de la vaina de haba</td></tr>
<tr><td>Fotografía 43</td><td>Fotografía 44</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Vaina de haba previo a su incineración</td><td>Incineración de la vaina de haba</td></tr>
<tr><td>Fotografía 45</td><td>Fotografía 46</td></tr>
</table>

	
Control de temperatura en proceso de incineración	Obtención de la ceniza después de incineración