

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE
PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS
ARCILLOSOS, JAÉN 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Alexis Jhosimar Quijada Carranza

Asesor:

Mg. Ing. Kely Elizabeth Núñez Vásquez
<https://orcid.org/0000-0001-7846-2510>

Cajamarca - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Héctor Cuadros Rojas	45701744
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

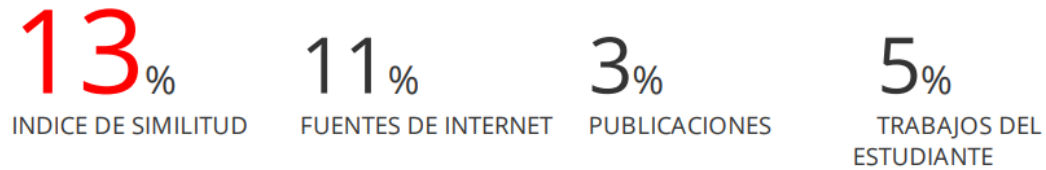
Jurado 2	Katia Carrión Rabanal	46269439
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

Jurado 3	Henry Villanueva Bazán	46486085
	Nombre y Apellidos	N.º DNI

INFORME DE SIMILITUD

Tesis

INFORME DE ORIGINALIDAD



ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

3%

★ Sandra Arias, Maryory Gómez, Esteban Correa, Félix Echeverría-Echeverría, Juan Guillermo Castaño.
"Effect of heat treatment on the tribological properties of Nickel-Boron electroless coating",
Revista Facultad de Ingeniería, 2018

Publicación

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

DEDICATORIA

A Dios, por darnos la vida, la salud y el conocimiento que necesitamos para que mi educación vocacional sea tan importante. A mis padres, en quienes he visto un ejemplo de superación, humildad y sacrificio, ya que, con los años, me han brindado un apoyo incondicional, y esta es la razón más importante para lograr mis objetivos. A mis amigos, compañeros y docentes de la UPN por brindarme su guía y conocimiento en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por su inmensa bondad, infinito amor y bendiciones, por darme la fuerza para seguir adelante todos los días. A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional para cumplir con todas mis metas y objetivos. Un profundo agradecimiento y aprecio a todas las personas que ayudaron a completar este trabajo. A mi asesora, Ing. Kely Núñez Vásquez, por su apoyo en todo este proceso del desarrollo en este trabajo de investigación. Expreso mi agradecimiento a la Universidad Privada del Norte; una encomiable institución universitaria que me ha brindado una excelente formación académica para tener un gran futuro profesional.

Tabla de contenido

Jurado evaluador	2
Informe de similitud	3
Dedicatoria.....	4
Agradecimiento	5
Tabla de contenido	6
Índice de tablas	7
Índice de figuras	10
Índice de ecuaciones.....	13
Resumen	14
Capítulo I: Introducción	15
Capítulo II: Metodología	57
Capítulo III: Resultados	75
Capítulo IV: Discusión y Conclusiones	92
Referencias	102
Anexos	106

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación del suelo según índice de plasticidad	30
Tabla 2. Análisis fisicoquímico de la ceniza de la hoja de plátano.....	35
Tabla 3. Grado de expansión -Horts y Gibbs	47
Tabla 4. Grado de expansión -Sed, Woodward y Lungren	48
Tabla 5. Grado de expansión -Ranganathan y Stayanarayana	48
Tabla 6. Requisitos de los materiales	50
Tabla 7. Características del ensayo California Bearing Ratio ASTM D1557	51
Tabla 8. Categorías de subrasante según el CBR	51
Tabla 9. Unidad de estudio.....	55
Tabla 10. Población y muestra del material de subrasante para el estudio.....	58
Tabla 11. Métodos del Ensayo de Proctor Modificado.	64
Tabla 12. Contenido de humedad de las 3 calicatas analizadas	72
Tabla 13. Granulometría Por Tamizado En Seco de las calicatas.....	73
Tabla 14. Resumen de Clasificación de suelo mediante SUCS y AASHTO.	74
Tabla 15. Cuadro comparativo de límites de consistencia	75
Tabla 16. Resultados de la expansión del suelo	76
Tabla 17. Resultados del ensayo Proctor con 0%CHP.....	76
Tabla 18. Resultados del ensayo Proctor con 5%CHP.....	77
Tabla 19. Resultados del ensayo Proctor con 7.5%CHP.....	78
Tabla 20. Resultados del ensayo Proctor con 10% de CHP.....	79
Tabla 21. Resultados del ensayo Proctor del suelo con los porcentajes de CHP	80
Tabla 22 Resultados del ensayo de carga -penetración con 0%CHP	81
Tabla 23. Resultados de CBR con 0% de CHP a 0.1 y 0.2 pulgadas.....	82
Tabla 24. Resultados del ensayo de carga -penetración con 5%CHP	82
Tabla 25. Resultados de CBR con 5% de CHP a 0.1 y 0.2 pulgadas.....	83
Tabla 26. Ensayo de carga -penetración con 7.5%CHP.....	84
Tabla 27. CBR con 7.5% CHP a 0.1 y 0.2 pulgadas	84
Tabla 28. Resultados de ensayo de carga -penetración con 10%CHP.....	85
Tabla 29. Resultados de CBR con 10%CHP a 0.1 y 0.2 pulgadas.....	86
Tabla 30. Resultado de CBR del suelo con las cenizas de hojas de plátano	87
Tabla 31. Matriz de operacionalización de variables	102
Tabla 32. Matriz de consistencia.....	103

Tabla 33. Contenido de humedad Calicata C1	104
Tabla 34. Contenido de humedad Calicata C2	104
Tabla 35. Contenido de humedad Calicata C3	105
Tabla 36. Granulometría Por Tamizado En Seco Calicata C1	105
Tabla 37. Granulometría Por Tamizado En Seco Calicata C2	105
Tabla 38. Granulometría Por Tamizado En Seco Calicata C3	106
Tabla 39. Límite liquido Calicata C1	106
Tabla 40. Límite plástico Calicata C1	106
Tabla 41. Límite liquido Calicata C2	107
Tabla 42. Límite plástico Calicata C2	107
Tabla 43. Límite liquido Calicata C3	107
Tabla 44. Límite plástico Calicata C3	108
Tabla 45. Clasificación según AASHTO Calicata C1	108
Tabla 46. Clasificación según SUCS Calicata C1	109
Tabla 47. Clasificación según AASHTO Calicata C2	109
Tabla 48. Clasificación según SUCS Calicata C2	110
Tabla 49. Clasificación según AASHTO Calicata C3	110
Tabla 50. Clasificación según SUCS Calicata C3	111
Tabla 51. Ensayo de límite liquido con 0% de CHP	111
Tabla 52. Ensayo de límite plástico con 0% de CHP	111
Tabla 53. Ensayo de límites de consistencia con 5% de CHP	112
Tabla 54. Ensayo de límite plástico con 5% de CHP	112
Tabla 55. Ensayo de límite liquido con 7.5% de CHP	112
Tabla 56. Ensayo de límite plástico con 7.5% de CHP	113
Tabla 57. Ensayo de límite liquido con 10% de CHP	113
Tabla 58. Ensayo de límite plástico con 10% de CHP	113
Tabla 59. Resultados del ensayo CBR con 0% de CHP	114
Tabla 60. Resultados del hinchamiento con 0% CHP	114
Tabla 61. Resultados de ensayo de CBR con 5% CHP	115
Tabla 62. Resultados del hinchamiento con 5% CHPP	115
Tabla 63. Ensayo de CBR con 7.5 % CHP	116
Tabla 64. Resultados del hinchamiento con 7.5% CHP	116
Tabla 65. Ensayo CBR con 10% de CHP	117

Tabla 66. Resultados del hinchamiento con 10% de CHP	117
Tabla 67. Taxonomía de la planta del plátano	118
Tabla 68. Ejemplo de presupuesto con material de préstamo y presupuesto con resina de plátano de la tesis “Estabilización de la subrasante en suelos adicionando la resina de plátano en el tramo Cacatachi-Chirapa, 2019”	118

Índice de figuras

Figura 1. Suelo del lugar de estudio	24
Figura 2. Suelos arcillosos que fueron extraídos mediante calicatas	28
Figura 3. Disposición Hexagonal	29
Figura 4. Disposición de una lámina lumínica	29
Figura 5. Vía centro poblado Inguro-Caserío el Limón (Jaén)	32
Figura 6. Hoja de plátano de cultivo	33
Figura 7. Cenizas de hojas de plátano	34
Figura 8. Recolección de hoja de plátano.....	36
Figura 9. Proceso de incinerar las hojas de plátano	36
Figura 10. Mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo	38
Figura 11. Mejoramiento de la expansión	38
Figura 11. Mejoramiento del potencial de expansión y capacidad portante del suelo	42
Figura 13. Suelo arcilloso del lugar de estudio	56
Figura 14. Carretera centro poblado Inguro-Caserío el Limón	57
Figura 14. Porcentajes de humedad de las muestras analizadas	72
Figura 16. Curva de análisis granulométrico Calicata C1	73
Figura 17. Curva de análisis granulométrico Calicata C2	74
Figura 18. Curva de análisis granulométrico C3	74
Figura 19. Límites de consistencia vs porcentaje de ceniza.....	75
Figura 20. Variación de la expansión según índice de plasticidad.....	76
Figura 21. Curva de compactación con 0%CHP.....	77
Figura 22. Curva de compactación con 5 %CHP.....	78
Figura 23. Curva de compactación con 7.5 %CHP	79
Figura 24. Curva de compactación con 10%CHP	80
Figura 25. Máxima densidad seca del suelo con los porcentajes de CHP.....	80
Figura 26. Contenido óptimo de humedad del suelo con los porcentajes de CHP.....	80
Figura 27. Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 0% CHP	81
Figura 28. Curva de CBR- Densidad Seca con 0% de CHP	82
Figura 29. Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 5% CHP	83
Figura 30. Curva de CBR- Densidad Seca con 5% de CHP	83
Figura 31. Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 7.5% de CHP	84

Figura 32. Curva de CBR- Densidad Seca con 7.5% de CHP.....	85
Figura 33. Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 10% de CHP	86
Figura 34. Curva de CBR- Densidad Seca con 10% de CHP	86
Figura 35. Expansión para molde 1, según porcentaje de ceniza	86
Figura 36. Expansión para molde 2, según porcentaje de ceniza.....	87
Figura 37. Expansión par molde de 3, según porcentaje de ceniza.....	87
Figura 38. Comparación del CBR de 0.1” y 0.2” de penetración, según porcentaje de ceniza	88
Figura 39. Expansión del suelo con 0%CHP	120
Figura 40. Expansión del suelo con 5%CHP	120
Figura 41. Expansión del suelo con 7.5%CHP	120
Figura 42. Expansión del suelo con 10%CHP	121
Figura 43. Daño en las vías causado por un mal manejo de suelos arcillosos	120
Figura 44. Daño en las carreteras por la metamorfosis de los suelos arcillosos	120
Figura 45. Efectos de los cambios en la tensión superficial y las fuerzas de la arcilla	120
Figura 46. Contracción de las interfaces de las partículas de la arcilla por secado.....	121
Figura 47. Hinchamiento de arcilla por succión de agua disponible.....	121
Figura 48. Mejoramiento del suelo arcilloso mediante cenizas	121
Figura 49. Ubicación política de la zona de estudio.....	122
Figura 50. Ubicación geográfica de la población beneficiada	123
Figura 51. Ubicación geográfica de la zona de estudio.....	123
Figura 52. Partes de la planta de plátano.....	124
Figura 53. Mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos con cenizas de hojas de plátano	124
Figura 54. Comportamiento de las partículas en el mejoramiento de suelos con ceniza	125
Figura 55. Estabilización de suelos arcillosos con cenizas	125
Figura 56. Estabilización de suelos arcillosos con cenizas	125
Figura 57. Preparación de la calicata para la recolección de muestra.....	126
Figura 58. Obtención de la muestra mediante la calicata de metro y medio de profundidad.....	126
Figura 59. Recolección de las hojas de plátano.....	127
Figura 60. Traslado de las hojas de plátano	127
Figura 61. Proceso de incineración de las hojas de plátano en el horno artesanal de barro	128
Figura 62. Ceniza resultante de las hojas de plátano	128
Figura 63. Preparación del suelo arcillosos para hacer el ensayo de contenido de humedad	129

Figura 64. Tamizado de las muestras a realizar para el análisis granulométrico	129
Figura 65. Preparación de los límites de consistencia con 0% de ceniza de hoja de plátano	130
Figura 66. Preparación de los límites de consistencia con 10% de ceniza de hoja de plátano	130
Figura 67. Suelo natural sin incorporación de ceniza de hoja de plátano	131
Figura 68. Suelo combinado con 5% de ceniza de hoja de plátano	131
Figura 69. Suelo combinado con 7.5% de ceniza de hoja de plátano	132
Figura 70. Suelo combinado con 10% de ceniza de hoja de plátano	132
Figura 71. Realizando el ensayo de Proctor modificado en el laboratorio de suelos de la universidad	133
Figura 72. Preparación de los moldes para el ensayo de hinchamiento del CBR	133
Figura 73. Ensayo de hinchamiento con 0% de CHP	134
Figura 74. Ensayo de hinchamiento con 5% de CHP	134
Figura 75. Ensayo de hinchamiento con 7.5% de CHP	135
Figura 76. Ensayo de hinchamiento con 10% de CHP	135
Figura 77. Preparación de los moldes con 0% de CHP para el ensayo carga- penetración	136
Figura 78. Preparación de los moldes con 5% de CHP para el ensayo carga- penetración	136
Figura 79. Preparación de los moldes con 5% de CHP para el ensayo carga- penetración	137
Figura 80. Preparación de los moldes con 5% de CHP para el ensayo carga- penetración	137
Figura 81. Toma de datos en los protocolos de la universidad del ensayo carga-penetración	138
Figura 82. Realizando el ensayo de carga-penetración con el señor Víctor, encargado del laboratorio de suelos	138

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Porcentaje de contenido de humedad	28
Ecuación 2. Porcentaje retenido sobre cada tamiz.	29
Ecuación 3. Cálculo del índice de plasticidad	29
Ecuación 4. Limite liquido	30
Ecuación 5. Limite plástico	30
Ecuación 6. Cálculo del potencial de hinchamiento	32
Ecuación 7. Cálculo del índice de contracción.....	32
Ecuación 8. Densidad Húmeda del Material.	33
Ecuación 9. Porcentaje de agua a añadir.	34
Ecuación 10. Cálculo de Índice CBR.	35

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal, incorporar ceniza de hoja de plátano (CHP) en los porcentajes de 5%, 7.5% y 10% para mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante en suelos arcillosos. Las hojas de plátano se recolectaron en el centro poblado Inguro - Jaén, donde también ahí se recolectó las muestras de suelo a estudiar para realizar esta investigación, las cenizas de las hojas de plátano fueron obtenidas al incinerarlas en un horno artesanal de barro, para luego ser pasadas en los tamices del N°50 al N°200 para ser homogenizadas y así poderlas combinar con el suelo en los porcentajes establecidos para mejorar sus propiedades mecánicas, mediante ensayos realizados en el laboratorio de la Universidad Privada Del Norte según protocolos y normas MTC. La metodología de este trabajo consistió en caracterizar el suelo natural su plasticidad, expansión y capacidad portante (CBR); así como el suelo combinado con ceniza de hoja de plátano en los porcentajes de 5%, 7.5% y 10%. Los resultados obtenidos indicaron que el potencial de expansión se incrementó en 1.43% con el contenido del 10% de ceniza, pero disminuyó en 16.55% y en 20.97% para los contenidos de ceniza del 5% y 7.5% respectivamente. Podemos apreciar también el mismo comportamiento en la capacidad portante, los resultados indican que la resistencia del suelo sufre decremento del 0.28% con la adición del 10% de ceniza; sin embargo, para las adiciones del 5% y 7.5 % el CBR se incrementó de 2.21% a 4.39% y de 2.21% a 7.13% respectivamente. Por lo expuesto anteriormente, se puede concluir que el mejor comportamiento del suelo fue con el contenido del 7.5% de ceniza de hoja de plátano y por eso este material de desecho podría ser factible en el tratamiento de subrasantes en suelos arcillosos.

PALABRAS CLAVES: Propiedades mecánicas de subrasante, suelos arcillosos, ceniza de hoja de plátano (CHP), potencial de expansión, capacidad portante.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Hoy en día, a nivel mundial en el desarrollo de las obras de infraestructura es fundamental impulsar el mejoramiento del suelo por razones económicas y específicas de confort, razón por la cual antes de cambiar la subrasante de los tramos más bajos del rodamiento se recomienda hacer contemplaciones y elegir el mejor sistema para poder mejorar el suelo (Ciceris & Colorado, 2019). Cuando se encuentran suelos plásticos (arcillas) en el ámbito de la construcción, lo primero que se piensa es la manera de cómo solventar este problema y a menudo se soluciona con el desalojo de todo el material plástico generando así un mayor costo.

Un buen tratamiento de los suelos plásticos mediante una estabilización permitirá utilizar los suelos del lugar donde se realizará una obra, reduciendo costos en eliminación, uso de material de préstamo y transporte de mismo. Los métodos de mejora del suelo conectados en el diseño geotécnico son dispositivos utilizados para trabajar con los problemas de un suelo pobre, tomando en cuenta que, con la entrada del tiempo, las estructuras se han expandido, razón por la cual las cualidades de la superficie del suelo han influido inevitablemente (Pérez Quispe & Taipe Sedano, 2018).

La arcilla es sensible a la humedad, lo que significa que se expandirá y contraerá con el clima, esto luego afectará la base y terminará con una base cambiante, grietas, fugas y paredes deformadas (Vargas Rímac, 2020). La naturaleza del suelo arcilloso y su capacidad para expandirse significa que las fisuras comienzan a formarse con el tiempo a medida que el suelo absorbe la humedad y se seca por el calor. Estas fisuras permiten la entrada de más agua, lo que agrava la expansión y puede dañar los cimientos.

A través de la estabilización del suelo, es posible reducir el tamaño y el grosor de una base de concreto, lo que le ayuda a ahorrar dinero y a disfrutar de un hogar o negocio más fuerte y duradero. Como el suelo es un material comprimible, cambiará a medida que se aplique peso o cuando cambien las estaciones (Apolinario Alache & Flores Reinoso, 2022). Con la mayoría de los tipos de edificios, tanto residenciales como comerciales, la base eventualmente se asentará un poco, entonces, por supuesto, hay que lidiar con la humedad.

En América Latina y el Caribe, la salinización y la sodificación naturales o primarias son bastante comunes en las regiones áridas y semiáridas, incluidos México, Cuba, el norte de América del Sur, Perú, el noreste de Brasil y el sur de Argentina (Bui et al., 2022). Aunque son más comunes en regiones áridas y semiáridas, los suelos sódicos y solódicos también pueden desarrollarse en regiones húmedas.

Por su parte, en el Perú se considera que los factores ambientales y de formación del suelo juegan un papel importante en el control de la persistencia y estabilización del suelo, a través de interacciones complejas con otros factores, incluidos los minerales del suelo, los microbios y la vegetación (Cabía & Espinoza, 2021). Teniendo en cuenta que en Jaén existe una gran cantidad de suelo arcilloso móvil que sostiene los cimientos de las comunidades residenciales y la construcción comercial, ya que se encuentra ubicado dentro de la ceja de selva peruana. La arcilla es única y plantea una serie de desafíos únicos para los cimientos, por lo que la estabilización del suelo es imprescindible para cualquier proyecto con suelos arcillosos expansivos.

Por lo que, a través de la estabilización del suelo, cambiará a medida que se aplique peso o cuando cambien las estaciones, por lo que un buen tratamiento de los suelos plásticos mediante una estabilización permitirá utilizar los suelos del lugar donde se realizará una obra, reduciendo costos en eliminación, uso de material de préstamo y transporte del mismo

(Eslami et al., 2022). En las construcciones de suelos arcillosos suelen tener problemas de estabilidad, esto se debe a la naturaleza del suelo arcilloso, que tiene poca capacidad portante, poca durabilidad y es muy compresible. Teóricamente, la aplicación de refuerzo del suelo puede influir en el aumento de su resistencia.

En la actualidad, el uso de residuos agrícolas o fibras naturales como refuerzo del suelo se utiliza ampliamente debido a su facilidad de adaptación y adquisición, a su carácter natural y a su menor costo en comparación con los materiales de fibra sintética. En la hoja de plátano abundan el calcio y el potasio, y estudios anteriores han demostrado que ambos compuestos químicos pueden mejorar la resistencia del suelo (Roa Villanueva, 2018)

La hoja de banano u hoja de plátano es una parte de la bananera o platanera con multitud de usos humanos en diferentes culturas del mundo, especialmente en áreas tropicales. Esto es debido a que son grandes, resistentes, flexibles, impermeables y muy decorativas. Se usan para cocinar, contener, envolver o servir diversas preparaciones culinarias, como la güirila, las hallacas, el otak-otak, la sadhya o los tamales. Además, son un elemento industrial o estabilizante para ciertas prácticas de agricultura e ingeniería. La hoja seca también es útil elaborar prendas de vestir, cintas, cuerdas, etc. y son un material valorado en varias artesanías locales, así como en la construcción, para fabricar techos y vallas, estabilización de suelos y materiales geotextiles (Molinas Álvarez, 2020)

La cantidad de plátanos que se puede cosechar anualmente por hectárea depende del número de chupones fructificantes que se dejan en cada cepa. Un buen rendimiento anual es más o menos de 300 a 350 racimos, pesando cada uno un promedio de 30 a 45 kg. Los productores de la ciudad de Jaén emplean cintas de distintos colores en los racimos para controlar el momento de la cosecha, sino se utilizan, se deben considerar para el corte, aquellos racimos con dedos que den el calibre adecuado según el lugar de destino. Para la

cosecha del racimo se hace un corte en el pseudotallo en forma de cruz que permita que el racimo por su propio peso doble el pseudotallo y se pueda sujetar antes de que llegue al suelo. El lado cortado del pinzote se pone hacia atrás sobre la espalda para evitar que los dedos se manchen con el látex que se desprende del corte. En la cosecha de los plátanos se retiran la mayoría de las hojas del platanal, dejando las hojas necesarias para que se siga produciendo el fruto del plátano, estas hojas desechadas suelen venderse a comerciantes o para uso agrícola, como fertilizante y estabilizante de suelos para seguir con el cultivo de plantas de plátano. En Jaén por cada cosecha de plátanos se obtiene un aproximado de 25 Kg de hojas de plátano en cada mes, siendo beneficioso este desecho para fines comerciales o agrícolas, ya que lo venden a S/. 10.00 cada kilogramo o también lo utilizan los mismos agricultores como material de abono, fertilizante o estabilizante para suelos, al ser convertido estas hojas en ceniza, es por eso que puede ser muy rentable la utilización de las cenizas de hojas de plátano en el mejoramiento de suelos arcillosos, ya que puede reducir los costos hasta un 50% aproximadamente (More García, 2019)

Según Prabu et al (2019), las cenizas de las hojas o fibras naturales, como la cascarilla de arroz, bambú, hojas de mango o hojas de plátano, tiene excelentes propiedades físicas y mecánicas y se puede utilizar con mayor eficacia, puesto que son económicos. Este material es sostenible en el medio local, puesto que crece de forma natural.

Para el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), “la mejora de un suelo consiste en el mejoramiento de sus propiedades físicas, a través de procesos mecánicos y adición de elementos naturales o sintéticos, ejecutándose en suelos deficientes para proponer un suelo de mejor calidad.

Al respecto, se hizo conveniente abordar antecedentes relacionados con las variables de estudio, de los cuales **a nivel internacional** resaltan: “Mejoramiento de las propiedades

mecánicas de suelos finos mediante la adición de residuos provenientes de fibras vegetales” (Aguirre & Fuel, 2021). En ingeniería civil, se han realizado estudios con fibras de vegetales en mezclas para formar pavimentos, para determinar su funcionalidad, también analiza la sostenibilidad que ofrecen los desechos de las fibras vegetales cuando se utilizan en subsuelos granulares para proporcionar una mayor resistencia a este 0%, produjo una respuesta positiva a las pruebas de tensión-deformación, la fuerza máxima registrada para las muestras calculada en las pruebas de compresión fue de 8.1 kg/cm² con una dosis del 2% de fibra natural; se informó de que el porcentaje del contenido óptimo de humedad de la mezcla que proporciona a la fibra natural una mejor adherencia al suelo, era del 17%.

Asimismo, “Análisis del comportamiento físico mecánico de la adición de ceniza de cascarilla de arroz de la variedad blanco a un suelo areno arcilloso” (Cuervo & Barragán, 2019). Se consideró la cascarilla de arroz para este fin por ser un residuo agroindustrial abundante y de bajo vertido en un país de bajo coste, contribuyendo a mitigar los problemas medioambientales que ocasiona. Ese estudio se realizó con un enfoque experimental de tipo prospectivo y cuantitativo. La adición de un 1% de CCA tuvo un efecto positivo sobre la resistencia del suelo de arena arcillosa y aumentó la capacidad portante en un 19% en comparación con el valor de referencia. Sin embargo, ellos no consiguieron el efecto esperado sobre el cambio de volumen del suelo, ya que la expansión debida a la ceniza de cáscara de arroz aumentó un 0,09%.

También en (Omoloye, 2019). “Comparación entre las propiedades de resistencia de suelos lateríticos estabilizados con ceniza de hoja de plátano y ceniza de rama de palma aceitera”. Comparó las propiedades resistentes de la laterita estabilizada con ceniza de hoja de plátano y ceniza de fibra de palma aceitera. Para evaluar las propiedades básicas de la laterita se realizaron pruebas preliminares de laboratorio, como el contenido de humedad, la

gravidad específica, el límite de Atterberg, la compactación según las normas británicas, el factor de tolerancia de California, la resistencia a la compresión sin carga y la clasificación AASHTO. Los resultados mostraron que el suelo estaba clasificado como suelo A-7-5 según la AASHTO.

De modo similar, “Predicción de la resistencia de la subrasante a partir de las propiedades de índice del suelo expansivo estabilizado con ceniza de bagazo y polvo de arcilla de termita calcinada mediante redes neuronales artificiales y regresión” (Tseganeh & Quezon, 2022). Este estudio investigó el efecto de las cenizas volantes (BA) y el polvo de arcilla termita calcinada (CTCP) sobre la resistencia, el índice y las propiedades microestructurales de los suelos expansivos. Se realizaron ensayos de límite de Atterberg, análisis granulométrico, relación humedad-densidad y CBR en un suelo muy expansivo mezclado con 3%, 5%, 7%, 9% y 11% de cenizas volantes (BA) y 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de CTCP, individualmente y combinados. Las micrografías SEM mostraron que la morfología y los tejidos de la muestra de control (suelo no tratado) cambiaron significativamente.

Continuando con, “Evaluación del comportamiento del suelo de subrasante estabilizado con cenizas de hojas secas de mango” (Aishwarya & Manasa, 2019). Se investigan las propiedades geotécnicas del suelo estabilizado con ceniza seca de hoja de mango. El suelo utilizado para la prueba fue el suelo disponible localmente y fue sometido a pruebas preliminares de suelo tales como análisis granulométrico, límite de Atterberg, prueba Proctor y pruebas de relación de soporte de California en el suelo en su estado normal y cuando la ceniza seca de hoja de mango se añadió al suelo en diferentes proporciones de 4, 8, 12 y 16% en peso del suelo. Los resultados muestran que, con el aumento del porcentaje de ceniza seca de hoja de mango, el valor CBR aumenta hasta el 12%. Por lo tanto, se concluye

que la adición de ceniza de hoja de mango seca aumenta las propiedades y puede utilizarse eficazmente para el suelo de la plataforma.

A nivel nacional resalta: “Mejoramiento de las propiedades mecánicas en la subrasante de suelos arenosos adicionando ceniza de cáscara de arroz y cal” (Peláez & Benites, 2020), Los aditivos utilizados en este estudio fueron ceniza de cascarilla de arroz (C.C.A.) en varios porcentajes y cal viva al 10%; la C.C.A. y la cal son estabilizantes que, al mezclarse con el suelo y el agua, producen propiedades similares al hormigón, debido al alto contenido de humo de sílice en la química de la C.C.A.. Las pruebas de laboratorio indicaron que el suelo era arena de grano grueso y sugirieron un tratamiento con 7,5%, 15%, 20% y 25% de C.C.A. y cal para determinar el C.C.A. óptimo. Las pruebas de resistencia a la compresión mostraron que la cohesión mejoraba hasta 0,90 kg/cm².

Continuamente, “Estabilización de la subrasante en suelos adicionando la resina de plátano en el tramo Cacatachi – Chirapa, 2019” (More García & Ydrogo Gonzáles, 2019). El presente trabajo de investigación abarca la estabilización física del sustrato mediante la adición de resina de plátano en el sitio Cacatachi-Chirapa, donde se realizó levantamiento topográfico, estudios de suelo e información bibliográfica. La metodología científica del estudio fue de carácter cuantitativa, aplicada y de planificación experimental. Se obtuvieron resultados favorables. donde se logró mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo. Se evidenció que el suelo se estabilizó con la adición de 2,50 % de resina de plátano en peso de la muestra y alcanzó un CBR de 95%. 12,50%, densidad seca 2,06 g/cm³ con contenido óptimo de humedad 11,00%, también es posible reducir el porcentaje de expansión del suelo de 1,62% a 1,54%.

El trabajo de (Contreras, 2022), sobre el mejoramiento de subrasante utilizando cenizas de cáscara de caña de azúcar y hoja de plátano en calle 1 del AA.HH. Francisco

Bolognesi, Ancash”, tiene como objetivo evaluar la influencia del uso de las cenizas de cascara de caña de azúcar y hoja de plátano en las propiedades de la subrasante adicionando 4%, 4.5% y 5% en total de la combinación de ambas cenizas, con el fin de que dicho suelo quede en condiciones óptimas y cumpla con las normativas establecidas. Se empleó la metodología experimental, tipo aplicada, nivel explicativo y enfoque cuantitativo. Como resultados, obtuvo para el IP una disminución de hasta 9,8% ya que pasó de 12,2% a 2,4%, para el OCH, redujo hasta un 3.9% (de 15% a 11%), la MDS en el caso de la C-1 incrementó en 0.038% al adicionarse 3.5% de CCCA + 1.5% de CHDP y para el CBR aumentó hasta un 15.23% (de 5.77% a 21.4), por ello se concluyó que la adición de CCCA + CHDP influye favorablemente en las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante.

En la investigación de (Corrales, 2021), sobre la estabilización de subrasantes blandas con cenizas de tallos de banano en zonas tropicales, avenida Manu, Salvación, Madre de Dios, tiene como objetivo principal determinar la variación de la estabilización en la subrasante con la adición de ceniza de tallos de banano. la metodología que utilizó fue el enfoque cuantitativo, del tipo aplicada, del nivel explicativo y diseño cuasi experimental mediante el índice de expansión y la capacidad portante. Sus resultados fueron que la plasticidad disminuye de 7.80% a 5.9% incorporando 3% de ceniza de tallo de banano, la compactación disminuye desde 1.58gr/cm³ a 1.574gr/cm³ adicionando 5% de ceniza de tallo de banano, el CBR (95% MDS) mejora desde 3.9% hasta 8.3% adicionando 7% de ceniza de tallo de banano y el módulo resiliente se incrementa desde 6104.8psi hasta 9899.2psi incorporando 7% de ceniza. Se concluye que la estabilización de subrasante adicionando ceniza de tallos de banano presenta mejoras en la resistencia de la subrasante.

El trabajo de (Sánchez, 2021), sobre la evaluación de la fibra de plátano en las propiedades mecánicas de la subrasante en suelos arcillosos, La Palma, Tumbes, tiene como

objetivo evaluar la influencia de la fibra de plátano en las propiedades mecánicas de la subrasante en suelos arcillosos en tres diferentes porcentajes. Se empleó la metodología experimental de obtención de resultados mediante el índice de expansión y la capacidad portante. Los resultados obtenidos al incorporar fibra de plátano en 0.5%, 1.0% y 1.5% fueron favorables para algunas de las dosificaciones empleadas, en la cual alcanzo para el suelo Natural un CBR al 0.2” un valor de 5.5% y 3.6%, incorporando 0.5% se obtuvo un resultado de 9.4% y 6.8%, con incorporación de 1.0% se obtuvo 8.2% y 4.5% y para un 1.5% se logró obtener un 7.6% y 3.8%. Concluye que es factible la transformación de los suelos arcillo limosos añadiendo fibra de plátano de tal manera que los ensayos realizados en laboratorio finalmente logran de manera precisa una mejora de estabilización.

A **nivel local** resaltan, “Capacidad Soporte (CBR) De Suelo Arcilloso Con Extracto De Tallo De Plátano En La Carretera Huallanda - Santa Rosa, Jaén”, (Juan Chura, 2019), el objetivo principal es determinar la influencia de la incorporación del extracto de tallo de plátano en la capacidad soporte (CBR) del suelo arcilloso. La metodología de esta investigación consistió en caracterizar el suelo natural, su plasticidad, expansión y capacidad portante; así como el suelo combinado con estas partículas. De acuerdo en sus resultados obtenidos en el ensayo de CBR al 95 %(DMS) a 0.2” se demuestra que la capacidad soporte (CBR) de suelos arcillosos de dicha carretera en la provincia de Jaén, Cajamarca; aumenta a medida que se incrementa extracto de tallo de plátano en 2.5 % y 5 %, el CBR aumenta en aprox. 1%; sin embargo, a medida que se incrementa en 7.5 % y 10 %, el CBR empieza a disminuir.

Para finalizar, “Evaluación Del Potencial De Expansión Y Capacidad Portante De Suelos Arcillosos Usados En Subrasantes Al Adicionar Ceniza De Cascarilla De Arroz , Cajamarca 2016” (Luz Llamoga, 2016), Este estudio tiene como objetivo evaluar el potencial

de expansión y capacidad portante (CBR) de suelos arcillosos usados en subrasantes al adicionar ceniza de cascarilla de arroz (CCA). Su metodología fue en caracterizar el suelo patrón, su plasticidad, expansión y capacidad portante; así como el suelo combinado con ceniza de cascarilla de arroz en los porcentajes de 4%, 7% y 10%. Los resultados dieron que la expansión se incrementó en 0.43% con el contenido del 10% de ceniza, pero disminuyó en 16.84% y en 21.12% para los contenidos de ceniza del 4% y 7% respectivamente. El mismo comportamiento se puede apreciar en la capacidad portante, los resultados indican que la resistencia del suelo sufre decremento del 0.85% con la adición del 10% de ceniza; sin embargo, para las adiciones del 4% y 7% el CBR se incrementó de 2.85% a 4.52% y de 2.85% a 7.80% respectivamente.

Como complemento importante de esta investigación, se conceptualizará las siguientes bases teóricas:

Suelo

Es pertinente mencionar que el suelo se puede definir de muchas formas. En ingeniería civil, el suelo es una partícula mineral natural, suelta / no cementada / débilmente cementada / relativamente no consolidada, de carácter orgánico o inorgánico, que se encuentra sobre el lecho de roca que se forma por la meteorización de las rocas (Champi Lunasco & García Angulo, 2022). El suelo está formado por diferentes partículas como grava, roca, arena, limo, arcilla, margas y humus. Se han desarrollado varios sistemas de clasificación para clasificar diferentes tipos de suelo.

Algunos de estos están especialmente diseñados para determinar la idoneidad del suelo para su uso en un proyecto de construcción de suelo en particular. Algunos son de naturaleza más temporal y otros son relativamente más inclusivos, pero cada sistema implica inevitablemente cierto grado de arbitrariedad (Aishwarya & Manasa, 2019).

Figura 1
Suelo del lugar de estudio



Nota. Se muestra las características morfológicas del suelo extraído

Suelo Expansivo

El término de expansividad puede definirse como la capacidad de un suelo de experimentar cambios volumétricos o de generar presión (si el suelo está confinado) al modificarse las condiciones de humedad. En general el fenómeno de la expansividad está asociado a algunos tipos de arcillas, especialmente las montmorillonitas, que modifican su estructura al adsorber agua u otros líquidos (Caicedo B, et al, 2006). Del mismo modo, también puede producirse la retracción del suelo expansivo al desecarse o liberarse el agua contenida en él, hay otros tipos de terrenos que pueden producir expansividad como algunas rocas evaporíticas con anhidrita o algunos tipos de pizarras de bajo grado de metamorfismo.

Los suelos expansivos son suelos característicos de regiones tropicales que presentan grandes cambios volumétricos cuando su contenido de agua varía. Estos cambios volumétricos afectan a estructuras de poco peso que se encuentran apoyadas en cimentaciones superficiales. Sobre este tipo de suelos se encuentran cimentadas grandes ciudades en el mundo y debido a la rápida urbanización de estas áreas cada vez más se requiere del uso de suelos expansivos, y por lo tanto, de estudiar y controlar su comportamiento.

El alto contenido de agua y la presencia de arcilla en los suelos dificulta los trabajos de construcción. Pero los materiales como la cal, las cenizas volantes o el cemento aportan

una solución rápida, además de económica, a estos problemas. En este sentido, estos materiales tienen tres efectos en la estabilización de suelos y puede ser utilizada en suelos inestables para secar, modificar o estabilizar.

La estabilización de suelos es el proceso al que se ven sometidos los suelos naturales arcillosos para mejorar sus cualidades: aumentar su resistencia, reducir su plasticidad, facilitar los trabajos de construcción o aumentar su estabilidad reduciendo problemas en estructuras y pavimentos.

Hablar de la estabilización de la arcilla con cal, cenizas o cemento no es nada nuevo, ya se utilizó esta técnica en la construcción de las pirámides del Tíbet, y también era un método empleado con frecuencia en China y la India, aunque fue en 1950 cuando se popularizó el tratamiento de arcillas con cal, cemento o cenizas y empezaron a construirse autopistas, carreteras, pistas de aterrizaje, etc.

Y es que cuando las propiedades geotécnicas de los suelos no son buenas, llevar a cabo una construcción de este tipo es prácticamente imposible, por lo que realizar un tratamiento a dicho suelo es casi una imposición. En este caso, estos estabilizantes ayudan a transformar químicamente los suelos inestables en materiales utilizables. Como veíamos, el uso de estos materiales como aglomerantes en la construcción viene de antaño, pero los avances recientes en cuanto a pureza de materiales y maquinaria con la que aplicarla ha hecho que su uso para la estabilización de suelos sea cada vez mayor.

Son muchas las ventajas, tanto económicas como medioambientales, que ofrece estos materiales en la estabilización de suelos. Por ejemplo, el hecho de estabilizar los suelos de una construcción con cal, cemento o cenizas, permite aprovechar los materiales de la propia traza de obra, evitando los costes de gestión de dicho material, que si no fuese estabilizado con cal debería ser sustituido por material adecuado de préstamo. De esta manera esta

estabilización estabilizar suelos hace que una obra sea más sostenible, tanto medioambiental como económicamente pues en tan solo unos minutos estos materiales transforman un suelo plástico y de poca capacidad portante en un suelo rígido, fácil de compactar y con una excelente capacidad portante donde pueden circular las máquinas sin dificultad.

Son tres los efectos que puede tener el uso de estos materiales en la estabilización de suelos. Concretamente, la cal, el cemento o las cenizas puede ser utilizada en suelos inestables para secar, modificar o estabilizar.

1- Secado del suelo: son muy efectivos para el secado de cualquier suelo con humedad. Tras el mezclado con la tierra arcillosa la cal, el cemento o las cenizas absorben el agua mediante una reacción exotérmica, reduciendo drásticamente la humedad del suelo por hidratación y evaporación. La bajada de humedad variará en función a la cantidad de estos materiales añadidos y las condiciones ambientales, pero puede oscilar un 5% y un 10%, según este proceso suceda inmediatamente después de adicionarlos.

2- Modificación del suelo: Al añadir la cal, el cemento o las cenizas, al suelo, el reparto de cargas en la superficie de las partículas del suelo arcilloso se modifica, dándose un intercambio iónico entre el Sodio (Na) del suelo y el Calcio (Ca) de la Cal, o Silicio (Si) y Aluminio (Al) de las cenizas o el Calcio (Ca) y el Silicio (Si) del cemento. Este proceso sucede también inmediatamente tras la adición de estos materiales. El efecto es que el suelo pierde su propiedad para retener agua.

3- Estabilización del suelo: En este caso el efecto se produce más a medio plazo y de una manera gradual. La arcilla del suelo (que contiene sílice y alúmina) en contacto con la cal, el cemento o las cenizas es capaz de formar silicatos y aluminatos cálcicos hidratados. Esta reacción es llamada “puzolánica” y da como resultado un aumento de la compresión simple del suelo y una disminución de su potencial de expansión.

Suelos arcillosos

Las arcillas son suelos de granulación fina y comportamiento arcilloso, con grados de forma de lamelares, alargadas, cuya constitución principal son de caolinita, illita y montmorillonita, siendo silicato hidratados de aluminio, fierro y magnesio, que forman cristales de unidades fundamentales. El comportamiento general de las arcillas varía sensiblemente con la cantidad de agua que envuelve las partículas, de esa manera, en una determinada gama de humedad, presentan características de plasticidad, permitiendo el cambio de su volumen, sobre la acción de cierto esfuerzo. Su cohesión está en función al contenido de humedad, cuanta menos humedad, mayor es la cohesión presentada. (Fernández y Cardoso, 2021)

Existen más de una decena de tipo de arcillas, pero las más importantes y frecuentes a encontrar en el campo son la caolinita, la illita y el grupo de las montmorillonitas (esmecitas), se diferencian principalmente por la plasticidad que presenta, la caolinita tiene baja plasticidad, la illita media plasticidad y las montmorillonitas tiene alta plasticidad. (Como se citó en Ramos, 2014).

Compuesto por la mineral arcilla, de textura pesada, de un mal drenaje, no requieren de mucho abono y son impermeable. Además, los más característicos son los suelos del orden vertisoles, están distribuidos por todo el planeta, poca capacidad para drenar el agua y se encharcan con facilidad. También son de superficie muy activa, capacidad de intercambiar materiales y nutrientes, poca aireación, susceptibles a la erosión, altos poseen altos niveles de expansión o contracción y les toma mucho tiempo el calentarse.

Figura 2

Suelos arcillosos que fueron extraídos mediante calicatas



Nota. Suelo arcilloso de las muestras recolectadas a metro y medio de profundidad

La arcilla es un tipo de suelo que por lo general son sensibles que los diferentes tipos suelos a estos suelos se le puede clasificar en dos tipos, arcillas orgánicas y arcillas inorgánicas, ya que, cada uno depende de una variación en la clasificación SUCS y estas puede variar dependiendo del índice de grupo en a que se ubican de ello obtener un buen estudio del terreno.

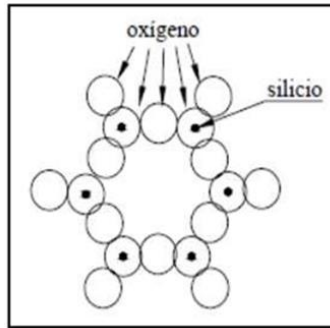
La composición de las muestras de arcilla, las componen minerales activos que por nombre científico tienen montmorillonita en mayores cantidades, en pocas cantidades la clorita y vermiculita, estos minerales compuestos contribuyen a que los compuestos que se expanden siempre estén adheridos. Para Mamani (2017, p. 27), “los suelos arcillosos se encuentran en lugares con altos índices de lluvia presentando negativos sistemas de drenaje, este tipo de suelo por lo general tiene cantidad de agua y una baja resistencia en situ”.

Los contenidos de átomos en la arcilla es de tipo laminar que se clasifican en dos variedades la silícica y la aluminica, estas laminas silícicas están conformadas 01 átomo

silicio, 03 átomos de oxígeno que forman un tetraedro tal como se observa en la figura 3, estos mencionados átomos forman un grupo hexagonal construyendo una retícula laminar.

Figura 3

Disposición Hexagonal.

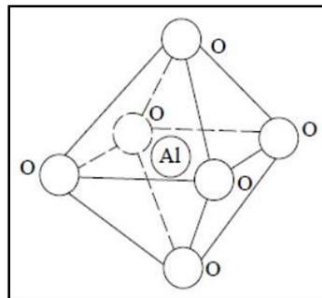


Nota. Adaptado de Mamani, 2017

La lamina lumínica, que presenta la arcilla como composición es formada por: 01 átomo de aluminio unida por una red de seis átomos de oxígeno que forma un octaedro tal como se observa en la figura 5, estos forman una red laminar.

Figura 4

Disposición de una lámina lumínica



Nota. Adaptado de Mamani, 2017

Dentro de la clasificación de la arcilla las características de forma cristalina son factores que influyen sobre las propiedades físicas los principales minerales dentro de las arcillas se encuentran las caolinitas las cuales son más estables, las illitas las cuales presentan fricciones internas que se forman por superposiciones indefinidas entre silícica y las

montmorillonitas esta arcilla pose estructuras parecidas a las illitas. Las propiedades principales que posee la arcilla es la plasticidad, hidratación e hinchamiento, superficie específica, tixotropía, capacidad de absorción y capacidad de intercambio catiónico estas propiedades son características físico-químico.

Tabla 1

Índice	Plasticidad	Características
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Mediana	Suelos arcillosos
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos plásticos
IP = 0	No plástico (NNP)	suelos exentos de arcilla

Clasificación de suelos según índice de plasticidad.

Nota. Manual de carreteras del MTC R.D. N° 10 – 2016 – MTC/16.

Subrasante

Los ingenieros geotécnicos deben estar familiarizados con la nomenclatura y la terminología de los diferentes tipos de suelo. En cuanto a la subrasante es la capa de terreno de una vía que resiste la estructura del pavimento, ocupa hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto (Delgado Rivera & Mormontoy Peñalba, 2021). Esta capa puede estar creada en corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes detalladas en los planos finales de diseño (Botero, Muñoz, Ossa, & Romo, 2014). Cabe destacar que la normativa asociada es la siguiente:

1. NORMA AASHTO: Standard Specifications for Highway Bridges
2. NTP 339.127: Suelos. Método de ensayo estándar para la determinación del contenido de humedad de un suelo.

3. NTP 339.128: Suelos. Método de ensayo para análisis granulométrico
4. NTP 339.129: Suelos. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad
5. NTP 339.145: Suelos. Métodos de ensayo de CBR
6. NTP 339.151: Suelos. Prácticas normalizadas para la preservación y transporte de suelos.
7. SUCS o USCS: Sistema Unificado de Clasificación del suelo

Asimismo, se debe tomar en cuenta que: la superficie de la subrasante debe quedar encima del nivel de la capa freática como mínimo a 0.60 m cuando se trate de una subrasante extraordinaria u muy buena; a 0.80 m cuando se trate de una subrasante buena y regular; a 1.00 m cuando se trate de una subrasante pobre y, a 1.20 m cuando se trate de una subrasante inadecuada. En caso necesario, se colocarán subredes o capas anticontaminantes y/o drenantes o se elevará la rasante hasta el nivel necesario. (Perú, Manual de Carreteras: Suelos, Geología y Geotecnia y Pavimentos, 2013)

El comportamiento de una subrasante generalmente depende de tres características básicas, las cuales se hallan interrelacionadas entre sí (Ramón, B. 2013, p. 7). La subrasante debe tener la capacidad de soportar las cargas transmitidas por la estructura del pavimento. La capacidad de carga es función del tipo de suelo, del grado de compactación y de su contenido de humedad. La motivación detrás del asfalto es dar una superficie agradable al tráfico de vehículos. Posteriormente, es fundamental que el subsuelo tenga la opción de ayudar a innumerables despidos de carga sin introducir distorsiones (Ramón, B. 2013, p. 7).

Estabilización de suelos

Considerando que, en las últimas décadas, el hombre ha desarrollado varias técnicas para mejorar el suelo, incluyendo la adición de los materiales de refuerzo. La razón

fundamental para el refuerzo de suelos es aumentar la estabilidad, aumentar el límite de carga y disminuir los asentamientos de suelo reforzado (Botero, Muñoz, Ossa, & Romo, 2014). La estabilización depende de la mejora de las propiedades del suelo, por ejemplo, la estabilidad volumétrica, la resistencia, la porosidad, la compresibilidad y la robustez son las propiedades más aplicables cuando se realiza un ajuste, por lo que al elegir cualquier tipo de elemento para mejorar los atributos del suelo los estudios deben centrarse en si mejora alguna de estas propiedades (Ravines, 2010, pág. 88).

Figura 5

Vía centro poblado Inguro-Caserío el Limón



Nota. Suelos arcillosos de la vía.

Cenizas volantes (Fly ash):

Las cenizas volantes, son un tipo de cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral, madera y hojas de plantas, fundamentalmente en las centrales termoeléctricas que utilizan este tipo de cenizas volantes como combustible.

La Norma ASTM C618 define dos clases de cenizas volantes: las cenizas de clase F y las cenizas de clase C. La clase F se produce normalmente al quemar antracita, o carbón bituminoso y tiene propiedades puzolánicas, pero no tiene propiedades aglomerantes. La clase C de cenizas volantes se produce normalmente de la quema de lignito, componente que se encuentra en los residuos agrícolas como la madera y las hojas de las plantas, o carbón no bituminoso y además de las propiedades puzolánicas tiene algunas propiedades aglomerantes autógenas.

Arcillas activadas o calcinadas artificialmente:

Las arcillas naturales por si solas no presentan actividad puzolánica a menos que su estructura cristalina sea destruida mediante un tratamiento térmico a temperaturas del orden de 200°C a 300°C. Mayormente estos materiales están formados por residuos de la quema de ladrillos de arcilla o residuos agrícolas que son sometidas a altas temperaturas.

Residuos agrícolas:

Estos materiales son el resultado de la combustión de los residuos agrícolas como la ceniza de madera, la ceniza de cascarilla de arroz, las cenizas del bagazo, la paja de la caña de azúcar, las hojas de plátano u otros. Cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

Hoja de plátano

La hoja de banano u hoja de plátano es una parte de la bananera o platanera, *Musa*, es el género tipo de la familia de las musáceas, que comprende una cincuentena de especies de megaforbas de única taxonomía, así como decenas de híbridos, entre los cuales se cuentan *Musa acuminata*, *Musa balbisiana* y *Musa paradisiaca*, las tres especies comprendidas bajo el epíteto común de banano. Son grandes plantas herbáceas de origen asiático con un pseudotallo constituido a partir de las vainas foliares. Es una Planta herbácea perteneciente a la familia de las Musáceas, que consta de un tallo subterráneo (cormo o rizoma) del cual brota un pseudotallo aéreo que ostenta normalmente entre 3 y 4 m de altura; el cormo emite raíces y yemas laterales que forman los hijos o retoños. El fruto es un plátano que tiene la particularidad de crecer en racimos.

Figura 6
Hoja de plátano de cultivo



Nota. Las hojas de plátano son recolectadas en su mayoría en cada cosecha

Con multitud de usos humanos en diferentes culturas del mundo, especialmente en áreas tropicales. Esto es debido a que son grandes, resistentes, flexibles, impermeables y muy decorativas. La hoja del banano es una hoja ancha, ovado-oblonga y de venación pinnada. Consta de cuatro partes: una vaina que envuelve la hoja, un pecíolo acanalado y ceroso, una gran lámina y un apéndice obtuso. Las hojas de *Musa* son de las superficies fotosintéticas más grandes que se conocen, pudiendo llegar a medir hasta 5 m de largo \times 1 m de ancho.

La hoja joven surge del banano sobre la hoja anterior y pasa por dos procesos: un primero de crecimiento, en el que está enrollada en una doble espiral, y un segundo de apertura. Aunque el lapso puede variar según las condiciones climáticas y la variedad agrícola, toma alrededor de una semana para abrirse completamente. El nervio central se suele retirar cuando se van a cocinar. Uno de sus lados es ligeramente más ancho que el otro, debido a la forma en la que se enrolla antes de madurar; esta diferencia es notable en la variedad Cavendish.

Ceniza de hoja de plátano

Al respecto, la ceniza de hoja de plátano se forma como resultado de la quema de residuos vegetales de origen vegetal y no es modificada por ningún compuesto químico, conserva de esta forma sus propiedades de ceniza. La ceniza se utiliza como material de cemento puzolánico como aditivo en el cemento (Cuervo & Barragán, 2019). Las propiedades de resistencia, flexión y durabilidad mejoran el cemento con la adición de

plátano y banano recubierto con óxido de manganeso. Este recubrimiento mejora las propiedades de resistencia a la compresión de materiales como el cemento celulósico utilizado en la construcción y los adhesivos.

Figura 7
Cenizas de hojas de plátano



Nota. Las cenizas son obtenidas a través de un horno establecido.

Primero, hay un proceso mecánico en el que se extrae la fibra y luego se seca al aire a temperatura ambiente. Luego se recubre en el laboratorio con óxido de manganeso, que proporciona durabilidad y protección al material lignocelulósico de la fibra gracias a sus propiedades semiconductoras y resistencia a la alta acidez (Aishwarya & Manasa, 2019). Las fibras se sintetizan en medio alcalino (alto pH de concentración) y no se degradan por óxidos. El óxido de manganeso resiste altos niveles de pH e interactúa fácilmente con el medio, brindando una mejor adhesión a la matriz de cemento, lo que permite una resistencia y flexión muy alta. Por ello, la utilización de estos residuos ayudaría a reducir el impacto ambiental que causa su acumulación.

Tabla 2
Análisis fisicoquímico de la ceniza de la hoja de plátano.

Parámetros Fisicoquímicos	Unidad de medida	Resultados
Oxido de Calcio (CaO)	%	18
Alúmina (Al ₂ O ₃)	%	2.2
Sílice (SiO ₂)	%	28.6
Oxido de Manganeso (MgO)	%	3.1
Oxido de Potasio (K ₂ O)	%	16.5
Oxido de Azufre (SO)	%	0.8
Oxido de Sodio (Na ₂ O)	%	1.4
Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	%	1.3

Oxido de Zinc (ZnO)	%	0.007
---------------------	---	-------

Nota: las cenizas de hoja de plátano tienen muy buenos elementos químicos para las reacciones puzolánicas.

Recolección: Las hojas de plátano son recolectadas de un platanal, las hojas de plátano recolectadas tienen que ser frescas, para ser sometidas al proceso de secado óptimo y poder incinerarlas.

Figura 8

Recolección de hoja de plátano



Nota: Las hojas de plátano se recolectan de manera de no dañar los frutos

Secado: En este proceso se lleva a secar las hojas de plátano a la intemperie, extendiéndola en el piso para garantizar que se sequen de manera homogénea durante un periodo de 10 días aproximadamente, previniendo siempre que esta se contamine con materiales extraños.

Incineración: Una vez secas las hojas de plátano, se procede a llevarlas a un horno artesanal de barro casero que produce una temperatura aproximada entre 270°C Y 350°C, con esta temperatura es suficiente para volver ceniza cualquier residuo agrícola, y se procede incinerarlas teniendo en cuenta investigaciones previas y siempre con el cuidado que esta no se contamine.

Figura 9*Proceso de incineración de hojas de plátano*

Nota. Se realiza la incineración siempre con algún equipo de protección personal.

Tamizado: Una vez obtenidas las cenizas, estas pasarán por los tamices número 50, 60, 100 y 200 para ir eliminando las basuritas o el material residual que se obtuvo en la incineración de la hoja de plátano y también para obtener la mayor cantidad de ceniza para elaborar los ensayos requeridos de laboratorio, de esa manera garantizar su homogeneidad y excluir productos no deseados de la incineración.

Mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo

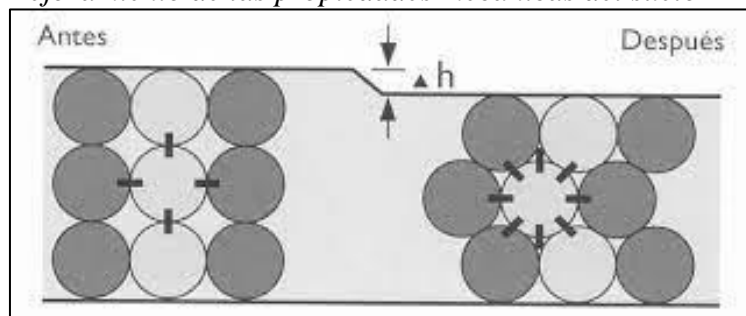
Mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo, según Vogt (2021) lo define como todo método que apunta a aumentar de manera durable la resistencia de un material a los esfuerzos impuestos sobre el suelo. El mejoramiento de suelos de modo general puede ser utilizar un proceso de cualquier de naturaleza física, química y mecánica. Rubén (2003) afirma. “El mejoramiento de suelos implica cualquier acto que adecue o cambie las propiedades de un suelo exigidas para una determinada actividad, que generalmente se aplican para suelos cohesivos” (p.584). En la estabilización física las propiedades del suelo son modificadas alterando su textura. También puede ocurrir por corrección granulométrica que consiste en la combinación y manipulación del suelo en porciones adecuadas de manera de obtener un producto de estabilidad mayor que los suelos de origen y adecuado para cada caso particular de construcción. Rubén (2003). Aparte de la corrección granulométrica,

existen otras técnicas como tratamientos térmicos de secado o congelamiento, tratamiento eléctrico y electro osmosis, que mejoran las características estructurales y de drenaje de los suelos” (Oliveira, 1994).

Estabilización química de suelos es una tecnología que se basa en la aplicación de un producto químico, genéricamente denominado estabilizador químico, el cual se debe mezclar íntima y homogéneamente con el suelo a tratar y curar de acuerdo a especificaciones técnicas propias del producto. La aplicación de un estabilizador químico tiene como objetivo principal transferir al suelo tratado, en un espesor definido, ciertas propiedades tendientes a mejorar sus propiedades de comportamiento ya sea en la etapa de construcción y/o de servicio. Los estabilizadores químicos consideran una amplia variedad de tipos, entre los cuales se encuentran sales, productos enzimáticos, polímeros y subproductos del petróleo. Los estabilizadores químicos pueden tener efectos sobre una o varias de las propiedades de desempeño del suelo, de acuerdo al tipo específico y condiciones de aplicación del estabilizador químico, así como del tipo de suelo tratado. (Como se citó en Fernández, 2017, p.45).

Estabilización Mecánica “Son los procesos que alteran apenas las partículas o la granulometría del suelo. El método clásico es la compactación del suelo, que establece una reducción del volumen del suelo, llenado los vacíos que se presentan de forma natural” (Gondim, 2008, p.213).

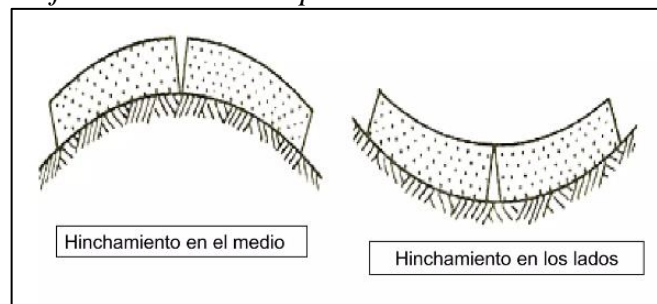
Figura 10
Mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo



Nota. Compactación del suelo para el mejoramiento del suelo

Los daños de suelos arcillosos causados por hinchamiento son debido al cambio de volumen suelos expansivos, ya sea abajo o adyacente a cualquier tipo de cimentación, las estructuras pueden estar sujetas a varios tipos de daños como: alabeo de pavimentos, agrietamiento de losas, movimiento diferencial y agrietamiento de paredes, tuberías y muros (Kalantari, 2022). En el alabeo de pavimentos, el problema ocurre en capas de caminos o carreteras. Ocurre por el potencial de expansión del sistema de subsuelo (Subrasante)

Figura 11
Mejoramiento de la expansión



Nota. Se mejora el hinchamiento del suelo.

Métodos generales de mejoramiento de suelos arcillosos:

Para el mejoramiento de suelos expansivos, se tiene que eliminar o reducir el efecto del hinchamiento esto se consigue con los siguientes métodos: reemplazo de suelo expansivo, controlar el contenido de agua del suelo a nivel de subrasante, cambiar la naturaleza del suelo o con el uso de estructuras fuertes que resistirán el hinchamiento, en el caso de viviendas.

Reemplazo de suelo expansivo

Cuando se tiene suelos medianamente expansivos con poco espesor y cercanos al nivel de desplante de cimentaciones, se puede reemplazar con suelos no expansivos y compactados apropiadamente. Se podría en vez de hacer un reemplazo completo, hacer un reemplazo parcial, mezclando el suelo problemático con uno que no lo sea (suelos granulares).

El reemplazo del suelo puede ser únicamente en la zona activa o en donde haya problemas significativos de cimentación. Colocar una cama granular y cubierta alrededor de la cimentación puede ayudar a combatir los efectos del hinchamiento del suelo circundante a la cimentación.

Cambiar la naturaleza del suelo

Se puede cambiar la naturaleza o comportamiento del suelo por medio de las siguientes técnicas: control de compactación, estabilización química, pre humedecimiento.

La estabilización es un método práctico y económico de controlar la expansión. Cuando un suelo se compacta a un peso volumétrico menor al lado derecho de la curva de compactación, 3-4 % del contenido de agua óptimo, se decrementa su contenido de humedad. Se estabiliza el suelo mediante sustancias como la cal, ceniza volante o cemento, que se conoce que reducen el hinchamiento, la estabilización por cal es la más usada que las otras, aunque tiene sus limitaciones. Mezclar del 4 al 8% de cal con la arcilla hace que su índice plástico se reduzca e incremente su capacidad de carga. Se realizan mezclas de la arcilla con porcentajes de 1% al 10% y se determina el PH de cada mezcla hasta alcanzar un valor establecido como estabilizado (PH=12).

La sílice y la alúmina del suelo son solubles y reaccionan con los cationes del calcio, formando compuestos conglomerantes (reacciones puzolánicas), que aumentan considerablemente la resistencia del suelo y mejoran algunas propiedades geotécnicas del suelo, esta reacción continua a largo plazo, incrementando la resistencia y estabilidad del suelo.

El paso 1 es la preparación del suelo, el suelo se escarifica y se coloca en capas acordes con el mezclador a utilizar. El suministro y almacenamiento de ceniza debe hacerse tomando en cuenta los criterios de movilidad de la obra.

En el paso 2 el extendido de la ceniza, consiste en la adición y extendido de la cantidad de ceniza calculada previamente según los resultados de laboratorio. La cantidad de ceniza también dependerá según el efecto perseguido, ya sea el secado de suelos con humedad natural excesiva, una modificación instantánea del suelo y/o estabilización de la capa a largo plazo.

El paso 3 es la disgregación y mezclado, con la motoniveladora o estabilizadora se disgrega la ceniza. Este proceso de mezclado del suelo se debe realizar hasta lograr la homogeneidad. Durante el mezclado la ceniza empieza a reacciones con el suelo, modificando sus características e iniciando la primera etapa de la estabilización, que es la hidratación, donde se adiciona el agua calculada, y se mezcla hasta conseguir el contenido de humedad óptimo, luego se pasa a la segunda etapa de la estabilización, que es la maduración del suelo, luego de mezclada y conformada la capa, se procederá a su estacionamiento por un periodo de 24 o 72 horas para que se realice la maduración del suelo. transcurrido este tiempo, si es necesario, se roturará el suelo de modo de que el material cumpla con la exigencia de granulometría.

El paso 4 es la compactación, se debe realizar la compactación mecánica y humidificación del suelo hasta conseguir las densidades necesarias, además de la nivelación del suelo, donde se afine la superficie, se recomienda un terminado final mediante un compactador mecánico.

Por último, el paso 5 es el curado, para evitar la evaporación del agua contenido en la masa suelo-ceniza e inmediatamente después de terminada la capa se aplicará sobre la superficie un riego de material bituminoso, el que no deberá ser inferior a 0.3 L/m² de asfalto residual. Otra opción es mantener el riego del suelo con agua para evitar la pérdida de humedad y así seguir favoreciendo las reacciones puzolánicas. En ambos casos se debe evitar

preferentemente ingresar tránsito pesado durante las primeras 72 horas después de terminar la superficie de trabajo ya que esto también permite que se desarrollen favorablemente las reacciones. Mantener la superficie humedecida también es una práctica recomendable para alcanzar los mayores beneficios de la aplicación (Calidra, 2022).

La estabilización de suelos arcillosos con cenizas es un proceso permanente, no reversible, mediante el cual se transforman químicamente las partículas de arcilla, creando una estructura relativamente impermeable con mayor capacidad de carga

Las cenizas favorecen la solución de la sílice (Si) y la alúmina (Al), formando silicatos y aluminatos de hidratados de calcio CAH y CSH (reacción puzolánica). Los beneficios esperados en la estabilización de suelos con cenizas:

Floculación Aglomeración, cuando la cal es adicionada a los suelos, las partículas se aglomeran y aglutinan formando conglomerados más grandes.

Reducción Índice Plástico, ocurre debido a la disminución del límite líquido y el incremento del límite plástico.

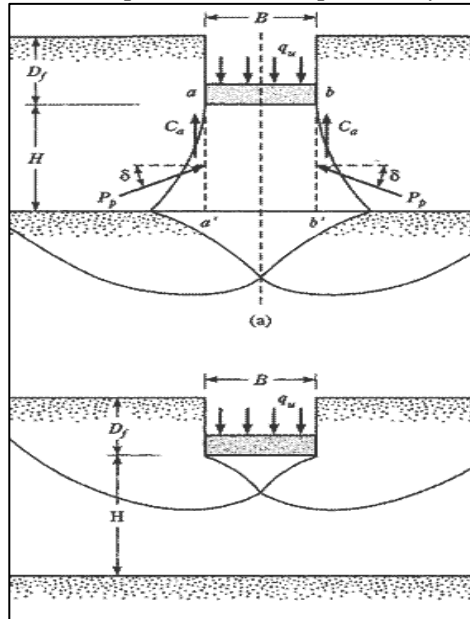
Incremento Capacidad Soporte, el uso de cal en suelos arcillosos aumenta su índice. B.C.R.(Relación de soporte california) significativamente, debido a la reacción química del suelo-cal.

Disminución Potencial Cambio Volumen, el potencial de expansión y compresión son disminuidos considerablemente.

Permeabilidad, los suelos tratados con cal forman capas flexibles e impermeabilizantes, generando una mayor durabilidad.

Figura 12

Mejoramiento del potencial de expansión y capacidad portante del suelo



Nota. El mejoramiento del suelo se da cuando el potencial de expansión disminuye y la capacidad portante aumenta

Clasificación de Suelos AASHTO y SUCS.

Los sistemas de clasificación S.U.C.S y AASHTO nos permiten definir de manera concreta las características generales que presenta un suelo, estos métodos utilizan dos parámetros fundamentales para la clasificación, tales como la granulometría y Límites de Atterberg, los mismos que permiten determinar la distribución de tamaño de las partículas del suelo y los contenidos de humedad. (Juan Arízaga, 2014).

Clasificación AASHTO

De acuerdo con este sistema los suelos están clasificados dos grupos, el primer grupo está formado por suelos granulares y el otro grupo está constituido por suelos finos. Los grupos están designados por símbolos que van del A-1 al A-7; donde los suelos inorgánicos se clasifican en los siete primeros grupos que van del A-1 al A-7, y estos a su vez se dividen

en un total de doce subgrupos. A su vez los suelos con elevada proporción de materia orgánica se clasifican como A-7.

Los suelos clasificados en los grupos A- 1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por el tamiz No. 200. Los suelos que contienen más del 35% de partículas que pasan por el tamiz No. 200 son clasificados en los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 formados mayoritariamente por limo y arcilla. Los materiales clasificados en el grupo A-1 son considerados como excelentes para ser usados en la subestructura de las vías, mientras que los clasificados en A-7 son los peores materiales. (Juan Arízaga, 2014).

Clasificación SUCS

Este sistema fue propuesto por Arturo Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en el año 1942. Esta clasificación divide los suelos en: suelos de grano grueso, suelos de grano fino y suelos orgánicos.

Los suelos de grano grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz N°200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que pasan por el tamiz, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz N° 200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz. Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en inglés de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

El contenido de humedad para el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), ratifica que: “es determinado de las fases de compactación utilizadas en Laboratorios,

hallando una cantidad de humedad en un determinado suelo”. La humedad presente en las cenizas de tallo de banano es relevante en la estabilización, ya que con esta se dosificará la cantidad de agua que se agregará al suelo para conseguir la mezcla correcta con propiedades mecánicas óptimas.

$$W\% = \left(\frac{WW}{WS} \right) \times 100$$

Ecuación 1: Porcentaje de contenido de humedad

Donde:

W % = Contenido de humedad del suelo.

WW= Peso del agua

WS= Peso del suelo seco.

El análisis granulométrico, para Toirac (2012), es la composición, en porcentaje, de los diferentes tamaños de material de una muestra, indicándose el tamaño de mayor a menor, representada en peso del porcentaje parcial de cada tamaño, que quedó retenido en los tamices usados obligatoriamente para su medición.

Para hallar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se resta el porcentaje total (100%) con el porcentaje acumulado retenido en cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

Ecuación 2: Porcentaje retenido sobre cada tamiz.

Potencial de expansión del suelo

El potencial de expansión del suelo es una propiedad física de los suelos que puede evaluarse en una cimentación. En las estructuras constructivas existe hinchamiento del suelo cuando aumenta su cantidad de agua y se retraen cuando la disminuye

Las arcillas expansivas producen empujes verticales y horizontales afectando las cimentaciones, empujando muros y destruyendo pisos y tuberías enterradas, con esfuerzos

que superan los 20 kg/cm², ocasionalmente. En las vías se presentan ascensos y descensos que afectan su funcionamiento. También, estos suelos expansivos se retraen y los taludes fallan.

El Índice de plasticidad

Matemáticamente el índice de plasticidad es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico. El índice de plasticidad (IP) es el rango de humedad en el que el suelo tiene un comportamiento plástico, un Índice de plasticidad bajo, significa que un pequeño incremento en el contenido de humedad del suelo, lo transforma de semisólido a la condición de líquido y por tanto resulta muy sensible a los cambios de humedad. Por el contrario, un índice de plasticidad alto, indica que para que un suelo pase del estado semisólido al líquido, se le debe agregar gran cantidad de agua. El índice de plasticidad define el campo plástico de un suelo y corresponde, por lo tanto, a un parámetro influyente en la determinación del potencial de expansividad.

$$I_p = LL - LP$$

Ecuación 3: Cálculo del índice de plasticidad

Donde:

LL: Límite líquido

LP: Límite plástico

Límites de consistencia Atterberg

Límite líquido: El límite líquido, es el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico, esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado en que una mezcla de suelo y agua, capaz de ser moldeada, se deposita en la cuchara de Casagrande, y se golpea consecutivamente contra la base de la

máquina, haciendo girar la manivela, hasta que el surco que previamente se ha recortado, se cierre en una longitud de 12mm (1/2").

$$LL = W \left(\frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

Ecuación 4: limite liquido

Donde:

LL : Límite líquido

W : Porcentaje de humedad del suelo

N : Número de golpes necesarios para cerrar la ranura de la copa

Límite plástico: El límite plástico (LP) es el contenido de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado plástico, esta propiedad se mide en laboratorio mediante un procedimiento normalizado pero sencillo consistente en medir el contenido de humedad para el cual no es posible moldear un cilindro de suelo, con un diámetro de 3 mm. Para esto, se realiza una mezcla de agua y suelo, la cual se amasa entre los dedos o entre el dedo índice y una superficie inerte (vidrio), hasta conseguir un cilindro de 3 mm de diámetro. Al llegar a este diámetro, se desarma el cilindro, y vuelve a amasarse hasta lograr nuevamente un cilindro de 3 mm de diámetro.

$$LP = \frac{PH - PS}{PS} \times 100 = \frac{PW}{PS} \times 100$$

Ecuación 5: limite plástico

Donde:

LP : Límite plástico en %

W : Porcentaje de humedad del suelo

PH : Peso húmedo en gramos

PS : Peso seco en gramos

PW : Peso del agua contenida

Evaluación del potencial de expansión

Existen varios criterios que permiten evaluar de forma adecuada a suelos dentro de los cuales tenemos:

Métodos de determinación del grado de expansión

Este tipo de métodos se basa en el análisis de las propiedades índice de los suelos (límite líquido, límite plástico y límite de contracción volumétrica) para identificar primero, y luego clasificar los suelos expansivos. La determinación del potencial expansivo mediante métodos indirectos se basa en los ensayos de Límite de Atterberg, la contracción lineal, el contenido coloidal y cambio de volumen potencial, entre otros.

Método de Horts y Gibbs

Horts y Gibbs demostraron que el índice plástico y el límite líquido son índices útiles para determinar las características de expansión de las arcillas. El grado de peligrosidad que ofrecen las arcillas ha sido correlacionado por sus según el cuadro:

Tabla 3

Grado de expansión o potencial de expansión -Horts y Gibbs

Partículas <1u	LP	LC	Expansión probable	Potencial de Expansión
<15	<18	>15%	<10	Bajo
13-23	18-28	10-16	10-30	Medio
20-31	25-41	7-12	20-30	Alto
>28	>35	<11	>30	Muy Alto

Nota: Esta tabla muestra el grado de expansión - Horts y Gibbs de acuerdo a Whitlow (2021)

Método de Sed, Woodward y Lundgren:

Sed, Woodward y Lundgren demostraron que las características plásticas de los suelos pueden ser usados como un indicador primario de las características expansivas de las arcillas. Una relación entre el potencial de hinchamiento de las arcillas y el índice de

plasticidad es como la que se presentan estos autores en la tabla 8 dónde se observa que a mayor índice de plasticidad se manifiesta mayor hinchamiento.

$$S = 60 * K * IP^{2.44}$$

Ecuación 6: cálculo del potencial de hinchamiento

Donde:

S: Potencial de Hinchamiento

IP: Índice Plástico

$K = 3.6 \times 10^{-5}$ (Constante)

Tabla 4

Grado de expansión o Potencial de expansión-Sed, Woodward y Lungren

Valor de S	Grado de potencial expansivo según "S"	Índice de plasticidad	Potencial de Expansión
0-1.5	Bajo	0-15	Bajo
1.5-5	Medio	15-35	Medio
5-25	Alto	35-55	Alto
>25	Muy alto	>35	Muy alto

Nota: Esta tabla muestra el grado de expansión -Sed, Woodward y Lungren de acuerdo a Whitlow (2021)

Método de Ranganathan y Stayanarayana:

Ranganathan y Stayanarayana dan una tabla para reconocer la potencialidad de la expansión, dando un nuevo índice de contracción; en donde este índice de contracción es obtenido como la variación del contenido de humedad correspondiente al límite líquido y al límite de contracción según la siguiente expresión:

$$IC = LL - LC$$

Ecuación 7: cálculo del índice de contracción

Donde:

IC: Índice de Contracción

LL: Límite líquido

LC: Límite de Contracción

Tabla 5

Grado de expansión o potencial de expansión -Ranganathan y Stayanarayana

Índice de Contracción	Peligro de Hinchamiento
0-20	Bajo
20-30	Medio
30-60	Alto
>60	Muy alto

Nota: Esta tabla muestra el grado de expansión -Ranganathan y Stayanarayana de acuerdo a Whitlow (2021)

Capacidad portante del suelo

Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo. Por tanto, la capacidad portante es la capacidad del terreno o de una estructura para soportar las cargas aplicadas sobre el mismo terreno o la estructura (Vega, 2006)

El Proctor modificado para Braja (2015), argumenta que “en esta prueba se utiliza un molde de 943.3 cm³ donde se compactan 5 capas con un martillo de 44.5 N teniendo una altura de caída libre de 457.2 mm”, esta prueba nos permitirá conocer los efectos para calcular la compactación que presenta un suelo con respecto a su humedad, se realiza mediante ensayos cambiando la humedad.

$$DH = 1000 \times \left(\frac{Mt - Mm}{V} \right)$$

Ecuación 8: Densidad Húmeda del Material.

Donde:

DH = Densidad húmeda del suelo compactado (g/cm³)

Mt = Masa del suelo húmedo más molde (g)

Mm = Masa del molde (g)

V = Volumen del molde (cm³)

Los requisitos de los materiales presentes en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016), los materiales utilizados en terraplenes tienen que proceder de excavaciones de explanación, de préstamos laterales o de canteras; las cuales no tienen que poseer elementos extraños. De solo existir materiales expansivos en la zona, deberán ser estabilizados antes de ser utilizados, debiendo cumplir las características de la siguiente tabla.

Tabla 6

Requisitos de los materiales

Condición	Partes del terraplén		
	Base	Cuerpo	Corona
Tamaño máximo (cm)	15	10	7.5
% Máximo de fragmentos de roca > 7.62 cm	30	20	10
Índice de plasticidad (%)	<11	<11	<10

Nota: Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016)

La subrasante soportará la estructura del pavimento, y está conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactados por capas para constituir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal manera que no se vea afectada por la carga de diseño que proviene del tránsito.

Humedad de compactación. El tanto por ciento de agua que hay que añadir al suelo con su humedad natural para que alcance la humedad prefijada, se calcula como sigue:

$$\text{Porcentaje de agua a añadir} = \frac{H - h}{(100 + h)} \times 100$$

Ecuación 9: Porcentaje de agua a añadir.

Donde:

H = Humedad optima

h = Humedad natural

El California Bearing Ratio (CBR) en este concepto Bowles (1981), indica que es la relación de cargas unitaria que se necesita para penetrar el pistón a 0.1” de discernimiento, denotada en un porcentaje respecto a un modelo patrón utilizándose las características de la tabla 2. Para realizar los laboratorios se tendrá que dosificar el porcentaje de la ceniza de tallo de banano encontrándose resultados idóneos en las pruebas de laboratorio, mostrándose la ecuación 1.6 para calcular la California Bearing Ratio.

Tabla 7

Características del ensayo California Bearing Ratio ASTM D1557

Característica	A	B	C
Peso del martillo (lb)	10	10	10
Diam. Molde (pulg)	4	4	6
Nro. De capas	5	5	5
Nro. Golpes/capa	12	25	56

Nota: Adaptado de Bowles (2021)

La prueba de relación de carga de California (CBR) es una medida comparativa de la resistencia al corte de un suelo en condiciones de densidad y humedad controladas. Es muy utilizado con curvas empíricas para diseñar pavimentos flexibles. CBR se expresa como un porcentaje de la unidad de carga requerida para forzar un pistón de 3 pulgadas cuadradas de área de superficie (1.954 pulgadas de diámetro) dentro del suelo a una tasa de 0.05 pulgadas por minuto, dividido por la unidad de carga requerida para forzar el mismo pistón a la misma profundidad a la misma velocidad en una muestra estándar de piedra triturada.

$$CBR = \frac{\text{Esfuerzo unitario ensayado}}{\text{Esfuerzo unitario patrón}} \times 100$$

Ecuación 10: cálculo de Índice CBR.

Las Categorías de sub rasante según el CBR se visualizan en la tabla 8

Tabla 8

Categorías de subrasante según el CBR

Categoría de subrasante	CBR	Usos
Sub Rasante Inadecuada	3% CBR <	Subrasante
Sub Rasante Pobre	$3\% \leq \text{CBR} < 6\%$	Subrasante
Sub Rasante Regular	$6\% \leq \text{CBR} < 10\%$	Afirmados y subbase
Sub Rasante Buena	$10\% \leq \text{CBR} < 20\%$	Subbase y base
Sub Rasante Muy Buena	$20\% \leq \text{CBR} < 30\%$	Subbase y base
Sub Rasante Excelente	$\text{CBR} \geq 30\%$	Base

Nota: Adaptado del Manual de Suelos Geología y Geotecnia (2016)

Esta investigación se justifica desde el punto de vista práctico en que presenta un modelo para futuras estabilizaciones de suelos y de esta manera implementar una técnica disminuir el impacto que estos generan y al mismo tiempo reducir costos en la construcción de estas obras en suelos inestables. Por otra parte, se justifica ya que se logrará obtener un suelo más resistente y así evitar que la superficie inicie a desgastarse bajo la acción del peso. Además, la investigación plantea solucionar la problemática que se tiene en los suelos inestables a la hora de cimentar una obra con relleno de material propio, que permitirá el mejoramiento de la capacidad estructural de estos materiales.

También este estudio se justifica socialmente en que se enmarca en el paradigma de que se debe aportar soluciones a las comunidades, mediante la puesta en marcha de proyectos que sean promovidos por las casas de estudio superiores, basados en la realidad que puede ser satisfecha, como el presente caso; el trabajo representa una propuesta genérica, y la identificación de las necesidades en los suelos, para lograr y mantener la condición para disponer de información confiable, en tiempo y forma.

Considerando que teóricamente, la estabilización de los suelos propio proporcionará a suelos inestables, las condiciones óptimas que permitan consignar obras perdurables en el tiempo. Siendo de trascendental importancia para el ingeniero civil ver las diversas

alternativas de estabilización de suelos, siendo este un método esencial y eficaz para estabilizar suelos en obras de construcción

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿La Incorporación de ceniza de hoja de plátano, en los porcentajes de 5%, 7.5% y 10%, mejorará las propiedades mecánicas de la subrasante en suelos arcillosos, Jaén 2022?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Como es el potencial de expansión y la capacidad portante de la subrasante en suelos arcillosos antes de la incorporación de ceniza de hoja de plátano?
- ¿Cambiará el potencial de expansión del suelo arcilloso, al adicionar los porcentajes de 5%,7.5 % y 10% de ceniza de hoja de plátano?
- ¿Cambiará la capacidad portante del suelo arcilloso, al adicionar los porcentajes de 5%, 7.5% y 10% de ceniza de hoja de plátano?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Incorporar ceniza de hoja de plátano, en los porcentajes de 5%, 7.5% y 10%, para mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante en suelos arcillosos, Jaén 2022

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar el potencial de expansión y la capacidad portante de la subrasante en suelos arcillosos antes de la incorporación de ceniza de hoja de plátano.
- Determinar el potencial de expansión del suelo arcilloso, al adicionar los porcentajes de 5%,7.5 % y 10% de ceniza de hoja de plátano
- Determinar la capacidad portante del suelo arcilloso, al adicionar los porcentajes de 5%, 7.5% y 10% de ceniza de hoja de plátano

1.4. Hipótesis

La Incorporación de ceniza de hoja de plátano, en los porcentajes de 5%, 7.5% y 10%, disminuye el potencial de expansión e incrementa su capacidad portante de la subrasante en suelos arcillosos, Jaén 2022.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Tipo de investigación

La presente investigación es aplicada en base a Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, el propósito de este tipo de investigación es resolver un determinado problema o planteamiento específico, enfocándose en la búsqueda y consolidación del conocimiento para su aplicación y, por ende, para el enriquecimiento del desarrollo cultural y científico (pág.88-92).

Por lo tanto, en el presente caso de estudio se pretende resolver la pregunta de investigación mediante el desarrollo de los objetivos planteados los cuales nos permitieron mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante en suelos arcillosos, como son la capacidad portante y el potencial de expansión, mediante la incorporación de ceniza de hoja de plátano, en los porcentajes de 5%, 7.5% y 10%.

Enfoque

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, según Cristina Ortega (2020) es un método estructurado de recopilación y análisis. El proceso se lleva a cabo utilizando herramientas estadísticas y matemáticas con el objetivo de cuantificar la pregunta de investigación. La investigación cuantitativa tiene como objetivo medir un fenómeno, cuantificar y expresar numéricamente los parámetros estudiados en una población. Estas cifras pueden ser resultados descriptivos o comparativos, o pueden ser objeto de análisis estadístico para determinar si existen vínculos significativos entre algunos de los parámetros estudiados.

Alcance

Esta tesis es una investigación transversal, de acuerdo a Cristina Ortega (2018) un estudio transversal se define como un tipo observacional que analiza datos sobre una variable de una muestra de población o un subconjunto predefinido recopilados durante un período de

tiempo. Este tipo de estudio también se conoce como corte transversal, estudio transversal y estudio de prevalencia.

Diseño

La presente investigación es cuasiexperimental, basándonos en Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, este tipo de investigación, se caracteriza por el hecho de que los objetos de investigación no se seleccionan al azar, sino que ya están descubiertos o determinados de antemano. Esta clase de investigación es descriptiva e implica observar el comportamiento de los individuos, las variables de estudio para luego recolectar la data cualitativa y cuantitativa. También debemos mencionar que el tipo cuasi experimental se encuentra ubicada entre las investigaciones experimentales y observacionales.

Variables de estudio:

Independiente

- Porcentajes de ceniza de hoja de plátano.

Dependiente

- Capacidad Portante
- El potencial de expansión

Unidad de estudio

La unidad de estudio está conformada por cada tratamiento en estudio, en total se tendrá 4 tratamientos.

Tabla 9

Unidad de estudio

Tratamientos	Características
T1	Suelo + 0% de CHP
T2	Suelo + 5% de CHP
T3	Suelo +7.5 % de CHP
T4	Suelo +10% de CHP

Nota: Significado de CHP “Ceniza de hoja de plátano”.

Población y muestra

Población

Se entiende que la población o universo es el conjunto de los casos que concuerdan con determinadas especificaciones (Arias, 2014). Por lo que, para efectos de la presente investigación, la población corresponde, a suelos arcillosos en Jaén.

Muestra

Por su parte la muestra es en esencia, un sub grupo de la población en el que todos los elementos de ésta tienen la misma posibilidad de ser elegidos (Hernández et al., 2018). Es así como, en la presente investigación se desarrolla un muestreo no probabilístico, en el muestreo no probabilístico, la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o de quien hace la muestra (Hernández et al., 2018).

Asimismo, en virtud de lo anterior el muestreo es de tipo intencional ya que responde a los criterios del investigador en base a la necesidad directamente observada; de acuerdo a esto la muestra queda representada por propiedades mecánicas de la subrasante en suelos arcillosos. La cual se tomará una pequeña parte representativa por conocimiento del investigador, donde esta presenta pésimas condiciones en la carretera.

Figura 13

Suelo arcilloso del lugar de estudio



Nota: Vía del centro poblado.

La muestra a analizar es la subrasante de la vía Centro Poblado Inguro - Caserío el Limón (Jaén), con una extensión de 3,00 km, la cual presenta en la subrasante suelos arcillosos, por lo que se puede decir que su capacidad portante es baja, el tramo de muestra se encuentra entre el Km 3+000 hasta el Km 6+000, esta sección fue considerada la más crítica y requiriere 1 calicata cada 1.00 km, teniendo en cuenta que las calicatas tienen que tener 1,50 metros de profundidad para muestreo de suelo y el estimado antes mencionado se considera como objeto de investigación porque se agregará la ceniza de hoja de plátano en los porcentajes de 5%, 7.5%, 10%, utilizando las NTP, norma CE.010 (Pavimentos Urbanos), norma CE.020 (Suelos y Taludes), normas ASTM, Manual de carretera – Especificaciones técnicas generales para la construcción, Manual de ensayo de materiales 2016 - (MTC) y los protocolos de laboratorio de UPN.

Figura 14

Carretera centro poblado Inguro-Caserío el Limón.



Nota: Suelos arcillosos a estudiar.

Tabla 10
Población y muestra del material de subrasante para el estudio

Descripción de ensayo	Norma	N° de muestras por (espécimen)	N° de ensayos a realizar	Total, de muestras ensayadas
Contenido de Humedad	MTC E 108/ ASTM D2216	3	1	3
Análisis Granulométrico	MTC E 107/ ASTM C136	3	1	3
Límites de Consistencia	NTP E 111/ ASTM D4318	7	1	7
Proctor Modificado	MTC E 115/ ASTM D1557	4	1	4
CBR	NTP E 132/ ASTM D1883	4	2	8
TOTAL				25

Nota: Ensayos que se realizaran para determinar la incorporación de CHP al 5%, 7.5% y 10%

Materiales, instrumentos y métodos

En la investigación realizada; el método utilizado fue el de la observación directa, el cual consiste en estudiar y tomar datos de cada uno de los ensayos contemplados, guiándonos principalmente por los protocolos proporcionados por la Universidad Privada Del Norte, los cuales siguen los lineamientos establecidos en las normas del Manual de Ensayo de Materiales del MTC, edición 2016.

El instrumento o los instrumentos utilizados para dicho estudio son las normas establecidas por el MTC, Manual de carreteras – Especificaciones técnicas para la construcción, la Norma Técnica Peruana y los protocolos del laboratorio de suelos de la

Universidad Privada del Norte. Esta investigación tuvo protocolos de ensayo en los cuales registramos y procesamos los datos, para luego determinar las propiedades físico mecánicas de nuestra muestra patrón; lo mismo aplicamos para la incorporación de ceniza de hoja de plátano en los porcentajes de 5%, 7.5% y 10%. Al final se realizaron los ensayos ya antes mencionados en la tabla 4, siguiendo las pautas establecidas en las guías del laboratorio de suelos. A continuación, se describen los materiales y procedimientos de cada ensayo para la realización de este estudio.

Contenido de Humedad MTC E 108 – ASTM D 2216. esta norma nos permite saber las pautas básicas para determinar la cantidad de agua contenido en un material; este modo operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a 110 ± 5 °C. (Manual de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

Procedimiento

- Se pesaron las taras para realizar el contenido de humedad.
- Se pesó muestra húmeda + tara.
- Luego se colocaron las muestras al horno por un tiempo de 24 horas.
- Se pesaron las muestras secas al horno.
- Se procedió a anotar dichos pesos, para luego calcular el contenido de humedad de los agregados.

Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado Norma MTC E 204 – ASTM 136. el objetivo de este ensayo es determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas del suelo, dicha norma nos brinda la guía para efectuar el análisis granulométrico de los suelos finos y suelos gruesos mediante tamizado, donde se describe el método para

determinar el porcentaje de suelo que pasa a través de la gama de diferentes tamices de malla cuadrada, hasta 74 mm (No. 200). (Manual de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

Para el ensayo de análisis granulométrico se necesitaron los siguientes materiales y equipos: Suelo, Juego de tamices de: 2" 1 ½", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 10, N° 20, N°40, N° 60, N° 100 Y N° 200, normalizados según NTP 339.128 –1999, Balanzas con aproximación de 0,1 gr y Horno de 110°C±5°C.

Procedimiento

- Secar la muestra al aire.
- Pesar la muestra seca.
- Pasar la muestra seca por el juego de tamices, agitando de forma manual.

Límites de Consistencia Norma MTC E 110 – 111 – ASTM D 4318. Este método de prueba se utiliza como componente de varios sistemas de clasificación de ingeniería para caracterizar la fracción de grano fino de los suelos; y especifica la fracción de partículas de los materiales de construcción. El límite líquido, el límite plástico y el índice de plasticidad de los suelos se usan ampliamente, solos o en combinación, para relacionarlos con otras propiedades del suelo, como la compresibilidad, la permeabilidad, la compactación, la contracción-hinchazón y la resistencia al corte. (Manual de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

Límite Líquido de un suelo (L.L.). Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, en el que el suelo se encuentra en el límite entre su estado líquido y plástico. Se especifica arbitrariamente como el contenido de humedad con el que las ranuras de separación de las dos mitades de la pasta se cierran a una distancia de 13 mm (1/2 pulgada) a lo largo de su base cuando se deja caer 25 veces la copa desde una altura de 1 cm. medido a una velocidad de dos veces por segundo. (Manual de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

Para el ensayo de límite líquido se necesitan los siguientes materiales y equipos: suelo seco al aire y que pasa la malla N°40, Malla N°40, Copa de Casagrande y ranurador o acanalador, Balanza con aproximación de 0.01 gr., Estufa de control de temperatura, Espátula, Probeta de 100 ml, Capsula de porcelana y Taras.

Procedimiento

- En una cápsula de porcelana mezclar el suelo con agua mediante una espátula hasta obtener una pasta uniforme.
- Colocar una porción de la pasta en la copa de Casagrande, nivelar mediante la espátula hasta obtener un espesor de 1cm.
- En el centro hacer una ranura con el acanalador de tal manera que la muestra queda dividida en dos partes.
- Elevar y caer la copa mediante la manivela a razón de 2 caídas por segundo hasta que las dos mitades de suelo se pongan en contacto que la parte inferior de la ranura y a lo largo de $\frac{1}{2}$ " (1.27cm) registrar el número de golpes.
- Mediante la espátula retirar la porción de suelo que se ha puesto en contacto en la parte inferior de la ranura y colocarlo en una tara para determinar su contenido de humedad.
- Retirar el suelo remanente de la copa de Casagrande y colocaren la cápsula de porcelana, agregar agua si el número de golpes del ensayo anterior ha sido alto, o agregar suelo si el número de golpes ha sido bajo. (El número de golpes debe estar comprendido entre 6 y 35).
- Dibujar la curva de fluidez en escala semilogarítmica, para determinar la ordenada correspondiente a los 25 golpes en la curva de fluidez, este valor será el límite líquido del suelo.

Límite Plástico (L.L.). El contenido mínimo de humedad en tiras de suelo de aproximadamente 1/8" (3,2 mm) de diámetro se puede formar haciendo rodar el suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio, esmerilado) que no se desmorone. El límite plástico es el valor medio de la humedad medida dos veces. Se expresa como porcentaje de humedad, aproximado como un número entero, y se calcula de la siguiente manera: (Manual de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

Para el ensayo de límite plástico se necesitaron los siguientes materiales y equipos: Una porción de la mezcla preparada para el límite líquido, Balanza con aproximación de 0.01 gr, Estufa de control de temperatura, Espátula, Cápsula de porcelana, Placa de vidrio y Taras.

Procedimiento

A la porción de mezcla preparada para el límite líquido agregamos el suelo seco de tal manera que la pasta baje su contenido de humedad, enrollar la muestra con la mano sobre la placa de vidrio hasta obtener cilindros de 3mm de diámetro y que presenten agrietamientos, determinar su contenido de humedad.

Proctor Modificado Norma MTC E 115 – ASTM D 157. Esta norma especifica un procedimiento de prueba de Proctor modificado en laboratorio en el que se determina la relación entre el peso unitario del suelo seco y su contenido de agua, y también el diámetro del molde a utilizar, por ejemplo 101,6 o 152,4 mm (4 o 6 pulgadas). y un pisón de 44,5 N (10 lbf), caída libre de 457 mm (18 in), con una energía de compactación de (2700 kN-m/m³ (56000 ft-lbf/ft³)). Esta prueba hace posible que se utilizan diferentes contenidos de agua para determinar el contenido de agua óptimo y el peso unitario seco máximo, seleccionados en orden ascendente, dentro del 2% de cada una de las muestras (w), por encima del contenido de agua óptimo y por debajo de los valores óptimos máximos. Dicho esto, el peso base seco máximo se basan en experiencias previas, o investigaciones establecidas con un rango de

valores para determinar el porcentaje de compactación necesario. (Manual de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

Para el ensayo de Proctor modificado se necesitaron los siguientes materiales y equipos: Muestra alterada seca aproximadamente 2 kg por molde, Equipo Proctor modificado (molde cilíndrico, placa de base y anillo de extensión), Pisón Proctor modificado, Balanza con precisión de 1gr, Estufa con control de temperatura, Probeta de 1000 ml, Recipiente de 6kg. de capacidad, Espátula, Taras identificadas.

Procedimiento

- Obtener aproximadamente 30 kg de muestra seca para el ensayo, de acuerdo al método a utilizar (método A, B o C).
- Preparar 5 muestras (cada una de ellas aproximadamente de 6 kg.) con una determinada cantidad de agua, de tal manera que el contenido de humedad de cada una de ellas varié aproximadamente en 1 ½” entre ellas.
- Ensamblar el molde cilíndrico con la placa de base y determinar el peso.
- Colocar el collar de extensión para colocar la muestra que se va a compactar.
- Compactar cada muestra en 5 capas y cada capa con 25 o 55 golpes (depende del método A, B o C), al terminar de compactar la última capa se retira el collar de extensión, en enrasa con la espátula y se determina la densidad húmeda.
- Determinar el contenido de humedad de cada muestra compactada, utilizando muestras representativas de la parte superior e inferior.
- Determinar la densidad seca de cada muestra.
- Dibujar la curva de compactación en escala natural, los datos de contenido de humedad se registran en el eje de abscisas y los datos de densidad seca en el eje de ordenadas.

- Determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

Tabla 11

M

DESCRIPCIÓN e MÉTODO	UND	PROCTOR MODIFICADO		
		A	B	C
PARÁMETROS A CONSIDERAR o		%Ret. Acum. N°4 ≤20%	% Ret. Acum.3/8" ≤ 20%	% Ret. Acum.3/4" ≤ 30%
			% Ret. Acum.N°4 ≥ 20%	% Ret. Acum.3/8" ≥ 20%
Tipo de material utilizado d		Pasante malla N°4	Pasante malla3/8"	Pasante malla3/4"
<hr/>				
N° De Capas	n	5	5	5
N° De Golpes	N	25	25	56
Diámetro De Molde	cm	10.16 ⁺ 0.04 ₋	10.16 ⁺ 0.04 ₋	15.24 ⁺ 0.07 ₋
Altura Del Molde	cm	11.64 ⁺ 0.05 ₋	11.64 ⁺ 0.05 ₋	11.64 ⁺ 0.05 ₋
Volumen Del Molde	cm ³	944 ⁺ 0.15 ₋	944 ⁺ 0.15 ₋	2124 ⁺ 0.25 ₋
Peso Del Martillo	kg	4.54 ⁺ 0.01 ₋	4.54 ⁺ 0.01 ₋	4.54 ⁺ 0.01 ₋
Altura Caída Del Martillo l	cm	45.72 ⁺ 0.16 ₋	45.72 ⁺ 0.16 ₋	45.72 ⁺ 0.16 ₋
Diámetro Del Martillo	cm	5.08 ⁺ 0.025 ₋	5.08 ⁺ 0.025 ₋	5.08 ⁺ 0.025 ₋
Energía De Compactación	Kg/cm	27.485	27.485	27.485

nsayo de Proctor Modificado.

Nota. Elección del método según granulometría obtenida en el estudio, Norma MTC E115.

Se utilizo el método A, por lo que usamos el molde Proctor de diámetro promedio 101,6 ± 0,4 mm con una altura de 116,4 ± 0,5mm y un volumen de 944 ± 25 cm³, donde se coloca la muestra de material humedecido, en 5 capas compactando con 25 golpes cada capa con la ayuda de un pisón para determinar su densidad húmeda. Dicho pisón o martillo es manual el cual tiene una caída libre desde una altura de 457,2 ± 1,6 mm de la superficie de espécimen, la masa del pisón será 4,54 ± 0,01 kg.

California Bearing Ratio – CBR Norma MTC E 132 - ASTM D 1883. Describe el procedimiento de prueba utilizado para determinar el índice de resistencia del suelo conocido como índice de soporte, conocido como California Bearing Ratio [CBR]. La prueba generalmente se realiza en suelo preparado en laboratorio, cuya humedad y densidad han sido determinadas; pero también se puede realizar de manera similar en muestras inalteradas tomadas del suelo. Este método de prueba se utiliza para evaluar la resistencia potencial de la subrasante, la subbase y los materiales base, incluidos los materiales reciclados, para su uso en pavimentos de carreteras y pistas de aterrizaje. Los valores de CBR obtenidos en esta prueba forman parte integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles. Este índice se utiliza para evaluar la capacidad de soporte del suelo de la subrasante y la capa base, la capa de subbase y la capa afirmativa. Consta de tres etapas, ensayo de compactación CBR, hinchamiento y ensayo de carga penetración” (Manuel de Ensayos de Materiales MTC, 2016).

Para el ensayo de CBR se necesitaron los siguientes materiales y equipos: Muestra alterada seca Papel filtro, Equipo CBR (3 moldes cilíndricos con placa de base y collar de extensión, 3 discos espaciadores, 3 placas de expansión, 3 sobrecargas cada una de 4.5 kg. de peso y 3 trípodes), Pisón Proctor modificado, Balanza con precisión de 1 gr, Diales de expansión, Estufa con control de temperatura, Probeta de 1000 ml, Recipiente de 6kg. de capacidad, Espátula, Taras identificadas.

Procedimiento

- Preparar la muestra con el contenido óptimo de humedad determinado en el ensayo de compactación Proctor modificado.
- Compactar la muestra en 5 capas en cada uno de los 3 moldes CBR, el primero con 12 golpes, el segundo con 26 golpes y el tercero con 55 golpes por capa.

- Determinar la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras de cada molde.
- Invertir las muestras de tal manera que la superficie libre quede en la parte superior cuando se ensambla nuevamente los moldes en sus placas de base.
- Colocar sobre cada muestra el papel filtro, la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión.
- Colocar los tres moldes debidamente equipados en un tanque de agua durante 4 días (96 horas), registrar las lecturas de expansión cada 24 horas.
- Después de los 4 días sacar los moldes del tanque de agua y de cada uno de ellos retirar el dial, el trípode, la sobrecarga y la placa de expansión, dejarlos drenar durante 15 minutos.
- Colocar la sobrecarga en cada molde, llevar a la prensa hidráulica, proceder al ensayo de penetración aplicando un pisón a una velocidad de 0.05 pulg/min., registrar las lecturas de carga de cada muestra en las siguientes lecturas de penetración.
- Dibujar las 03 curvas esfuerzo – deformación correspondiente a las muestras de cada molde, en escala natural, el valor de la penetración se registrará en el eje de las abscisas y los valores de los esfuerzos en el eje de ordenadas, NOTA: algunas veces es necesario corregir la curva y cambiar el origen de las coordenadas.
- Determinar los esfuerzos correspondientes a 0.1” y 0.2” de penetración de cada una de las curvas esfuerzo – deformación.
- Determinar los índices de CBR para 0.1” y 0.2” de penetración, los cuales se obtienen dividiendo cada valor de esfuerzo correspondiente a 0.1” y 0.2” de la muestra ensayada entre el esfuerzo patrón correspondiente a 0.1” y 0.2”.

- Dibujar las dos curvas densidad seca versus CBR correspondiente a 0.1” y 0.2” de penetración.
- El índice CBR de diseño será el menor valor obtenido correspondiente al 95 % de densidad seca máxima.

Procedimientos para la elaboración de la investigación

A continuación, se describe la secuencia de actividades que se realizaron para desarrollar la investigación.

Procedimientos para la obtención del material:

1. Se procedió a la obtención de la muestra del suelo por medio de 3 calicatas en la trocha del Centro Poblado Inguro - Caserío el Limón (Jaén), para luego poder determinar sus características en estado natural y con la adición de la ceniza de hoja de plátano en el laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte.
2. Se recolectó las hojas de plátano de un sembrío de plátanos en una hacienda llamada Lucila, ubicada a un kilómetro y medio aproximadamente de las muestras de suelo de la vía Centro Poblado Inguro-Caserío El Limón, se recolectó un total de 20 sacos grandes de hojas de plátano para todos los ensayos.
3. Se procedió a la calcinación de la hoja de plátano en un horno artesanal de barro casero para la obtención de la ceniza de hoja de plátano, por recomendación de los encargados del laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte, luego esta ceniza se tamizó en el tamiz N° 50 para que esté homogenizada y poder ser combinada con el suelo natural en los porcentajes de 5%, 7.5% y 10%.

Procedimientos para la recolección de datos:

Luego de trasladar el material del suelo al laboratorio se empezó con los ensayos respectivos:

1. Se determinó el contenido de humedad del suelo según la norma NTP 339.160 – 2001.
2. Se determinó el análisis granulométrico del suelo según la norma NTP 339.128 – 1999.
3. Se determinó los límites de consistencia (Límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad) según la norma NTP 339.129 – 1999.
4. Se realizaron las muestras de Proctor del material combinado con 0% de CHP del peso total de la muestra con porcentajes de agua que varíe entre un 2% entre ellas según la Norma Técnica Peruana para determinar la curva de compactación.
5. Se realizaron las muestras de Proctor del material combinado con 5 % de CHP del peso total de la muestra con porcentajes de agua que varíe entre un 2% entre ellas según la Norma Técnica Peruana para determinar la curva de compactación.
6. Se realizaron las muestras de Proctor del material combinado con 7.5% de CHP del peso total de la muestra con porcentajes de agua que varíe entre un 2% entre ellas según la Norma Técnica Peruana para determinar la curva de compactación.
7. Se realizaron las muestras de Proctor del material combinado con 10% de CHP del peso total de la muestra con porcentajes de agua que varíe entre un 2% entre

ellas según la Norma Técnica Peruana para determinar la curva de compactación.

8. Luego se obtuvo la curva de compactación mediante el contenido de humedad y la densidad seca de cada muestra de Proctor.
9. Se determinó el contenido óptimo de humedad mediante la curva de compactación y se procedió a realizar las muestras de CBR.
10. Se realizaron las muestras de CBR del material combinado con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo de Proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 12, 26 y 55 golpes por cada muestra.
11. Se tomaron las muestras de CBR del material combinado con 0% de CHP del peso total de la muestra con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo de Proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 12,26 y 55 golpes por cada muestra.
12. Se realizaron las muestras de CBR del material combinado con 5% de CHP del peso total de la muestra con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo de Proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 12,26 y 55 golpes por cada muestra.
13. Se realizaron las muestras de CBR del material combinado con 7.5% de CHP del peso total de la muestra con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo de Proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 12, 26 y 55 golpes por cada muestra.
14. Se realizaron las muestras de CBR del material combinado con 10% de CHP del peso total de la muestra con el porcentaje óptimo obtenido en el ensayo

de Proctor modificado con 3 muestras de 5 capas cada una de 12, 26 y 55 golpes por cada muestra.

15. Una vez realizado cada muestra de CBR se procede a sumergirlos en agua por un periodo de 96 horas (04 días) tomando lectura de la deformación de hinchamiento que esta sufre cada 24 horas (1 día). Al cuarto día retiramos la muestra y la ensayamos para hallar la carga de penetración de la muestra y tomamos lectura de las deformaciones. Este proceso se repite para cada muestra de CBR que se tenga que realizar.

Procesamiento de datos para el análisis de información

La información obtenida mediante los diferentes ensayos realizados, se llevaron a un computador, para realizar el trabajo de gabinete. En donde se ordenaron y analizaron los datos mediante hojas de cálculo y gráficos comparativos para analizar los resultados obtenidos. El procesamiento de datos inicia cuando se detecta una problemática, la cual no permite identificar las variables necesarias para el predicamento de nuestro proyecto, después se realiza la excavación de calicatas de un metro y medio a nivel de subrasante para de esta manera obtener las muestras de suelos, in situ, las cuales analizarían para conocer su condición en la que se encuentra la subrasante de la vía Centro Poblado Inguro - Caserío el Limón (Jaén), posterior a ello se realizaran los estudio respectivos para mejorar la subrasante de dicho lugar, mediante la expansión de suelos y su capacidad portante los cuales son: contenido de humedad del suelo, análisis granulométrico, Límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR, todo ello se realizará bajo los estándares de seguridad y calidad de ASTM y NTP, obteniendo los resultados para poder concluir y discutir las hipótesis planteadas en un inicio de la presente investigación.

La definición de la **validez** está basada en las evidencias que respaldan de manera práctica o teórica los resultados obtenidos de las diversas pruebas o los instrumentos para la medición de las variables de estudio (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 215). Para esta investigación se contaron con instrumentos de recolección de datos validados con el Manual de Carreteras - Especificaciones técnicas generales para la construcción, la Norma Técnica Peruana y los Protocolos de laboratorio de UPN.

Según Rangel Y Giler (2010) La **confiabilidad** es un instrumento de medición cuyo propósito es calcular el grado de precisión o exactitud en el cual se emplea un instrumento o equipo de diferentes ocasiones arrojando siempre resultados coherentes de manera confiable.

Para garantizar la confiabilidad los instrumentos que se utilizaron cumplieron con los estándares de calidad, también tuvieron una ficha técnica que certifique su calidad del instrumento. Tuvimos en cuenta el tamaño de muestra y el número de muestras mínimas exigidas en los ensayos de acuerdo a la norma técnica. Todos los protocolos y fichas fueron firmadas por los ingenieros responsables del laboratorio de UPN.

El **aspecto ético** está regido por las características de una persona como son; la moral, las costumbres y el carácter cotidiano. La ética está basada en normativas y reglamentos en la cual las personas pueden escoger cómo deberán de llevar su vida de una manera correcta o incorrecta (Mohammad Naghi, 2013).

De acuerdo a lo mencionado podemos garantizar que el contenido de la presente investigación fue obtenido de manera original y autentica, para dicho propósito se adjuntaron los resultados desarrollados en el Laboratorio de suelos de la Universiada Privada del Norte y también las referencias de las bibliografías consultadas en la investigación.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

El presente capítulo muestra los resultados obtenidos de ensayos realizados en el laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte y los cuales fueron:

Contenido de Humedad (MTC E 108 – ASTM D 2216)

Los resultados del contenido de humedad se muestran en la tabla 12, donde las muestras de suelo analizadas arrojaron en promedio un contenido de humedad del 17.03%.

Tabla 12

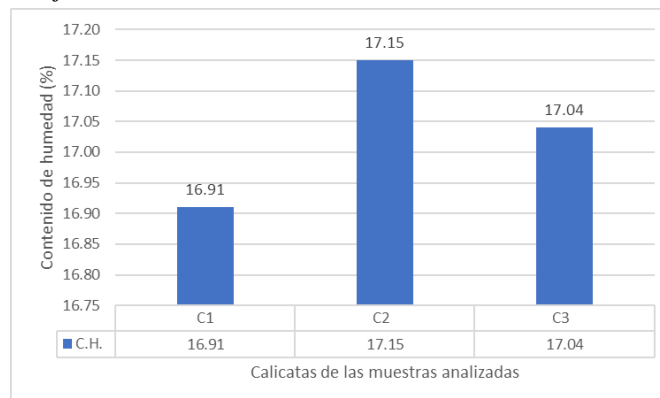
Contenido de humedad de las 3 calicatas analizadas

Calicata	Muestra	C. H. (%)	C. H. Promedio (%)	C.H. Promedio del Suelo
C1	1	16.85	16.91	17.03
	2	16.96		
	3	16.91		
C2	1	17.03	17.15	
	2	17.27		
	3	17.15		
C3	1	16.99	17.04	
	2	17.07		
	3	17.06		

Nota: Esta tabla muestra los contenidos de humedad de las muestras, dándonos un contenido de humedad promedio del suelo de 17.03%.

Figura 15

Porcentajes de contenido de humedad de las muestras analizadas



Nota: El grafico representa el porcentaje que pasa vs. El diámetro de partículas de la calicata

Análisis Granulométrico (NTP 339.128-1999)

Lo que nos muestra el análisis granulométrico, lo vemos en la tabla 14, el análisis de estos resultados se realizó por los métodos AASHTO y SUCS; en el método AASHTO clasificó al suelo en la categoría de suelo arcilloso perteneciente al grupo A-7, y por tanto está dentro de la categoría de subrasante pobre según el MTC y el método SUCS, clasificó al suelo está en la categoría CL perteneciente a las arcillas de baja a mediana plasticidad.

Tabla 13

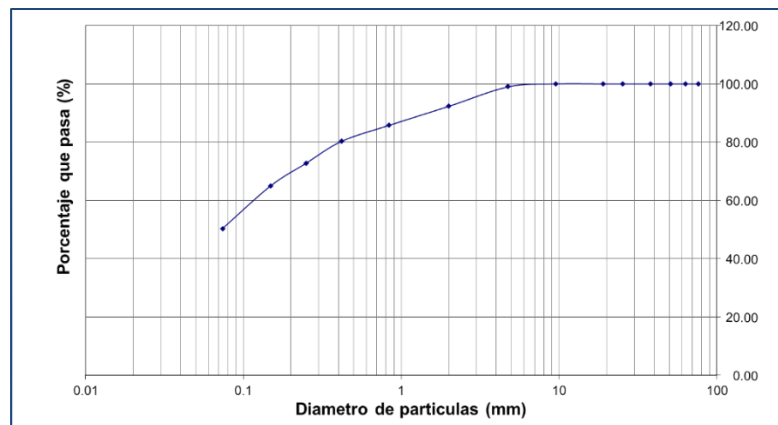
Granulometría Por Tamizado En Seco de las calicatas

N° de tamiz	% que pasa		
	C1	C2	C3
N°4	98.99	99.19	98.95
N°10	92.29	92.61	92.22
N°20	85.78	86.12	85.63
N°30	82.24	82.75	82.03
N°40	80.30	80.99	80.22
N°60	72.74	73.53	72.54
N°100	64.96	65.48	64.63
N°200	50.34	50.86	50.22
Cazoleta	0.00	0.00	0.00

Nota: Esta tabla muestra al análisis granulométrico según como se va reteniendo el suelo arcilloso en las mallas.

Figura 16

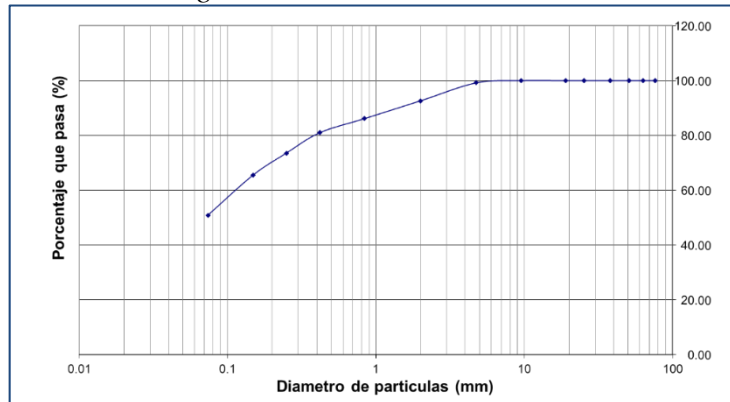
Curva de análisis granulométrico Calicata C1



Nota: El gráfico representa el porcentaje que pasa vs. El diámetro de partículas de la calicata 1.

Figura 17

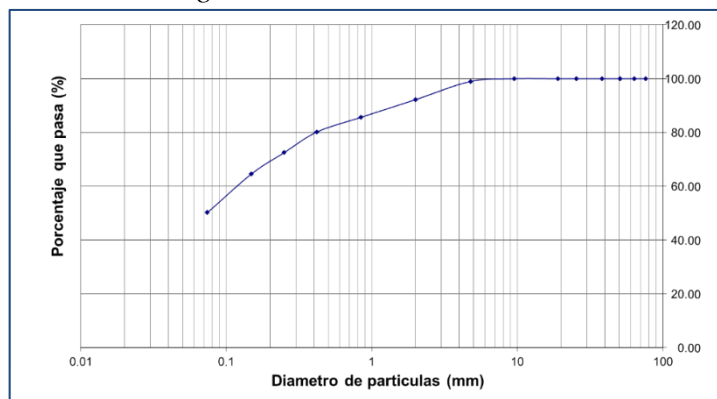
Curva de análisis granulométrico Calicata C2



Nota: El gráfico representa el porcentaje que pasa vs. El diámetro de partículas de la calicata 2.

Figura 18

Curva de análisis granulométrico Calicata C3



Nota: El gráfico representa el porcentaje que pasa vs. El diámetro de partículas de la calicata 3.

Tabla 14

Resumen de Clasificación de suelo mediante SUCS y AASHTO.

CALICATA	C-01	C-02	C-03
Prof.	1.50 m	1.50 m	1.50 m
Progresiva (km)	km 3+000	km 4+000	km 5+000
Malla N° 10	92.29%	92.61%	92.22%
Malla N° 40	80.30%	80.99%	80.22 %
Malla N° 200	50.34%	50.86%	50.22%
Límite Líquido	42.23	44.96	40.17
Límite Plástico	24.33	24.54	24.38
Índice de Plasticidad	17.90	20.42	15.79
SUCS	CL	CL	CL
AASHTO	A-7-6(7)	A-7-6(8)	A-4(6)

Nota: Esta tabla muestra todas las clasificaciones de las muestras de estudio.

Límites de consistencia (NTP 339.129-1999)

Los resultados de los límites de consistencia lo podemos ver en la tabla 15, donde se puede apreciar un comportamiento diferente en la plasticidad, los cuales disminuyen en proporción directa al contenido de ceniza de hoja de plátano para porcentajes del 5% y el 7.5%; sin embargo, para el 10% de CHP los índices de plasticidad tienen a elevarse.

Tabla 15

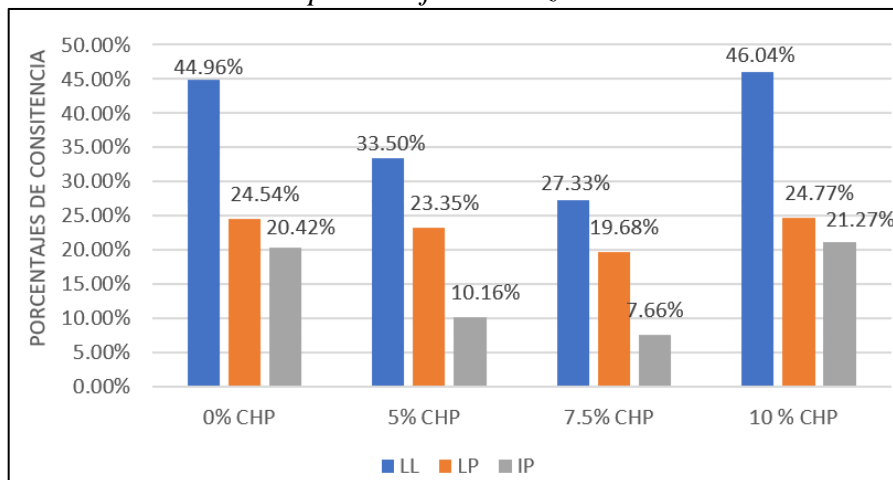
Cuadro comparativo de límites de consistencia

LIMITES DE CONSISTENCIA				
%CHP	0.00	5.00	7.50	10.00
LL	44.96%	33.50%	27.33%	46.04%
LP	24.54%	23.35%	19.68%	24.77%
IP	20.42%	10.16%	7.66%	21.27%

Nota: Esta tabla muestra cómo son los límites de consistencia en cada porcentaje de ceniza de hoja de plátano.

Figura 19

Límites de consistencia vs porcentaje de ceniza



Nota: El gráfico representa los porcentajes de consistencia de acuerdo al contenido de ceniza.

Tabla 16

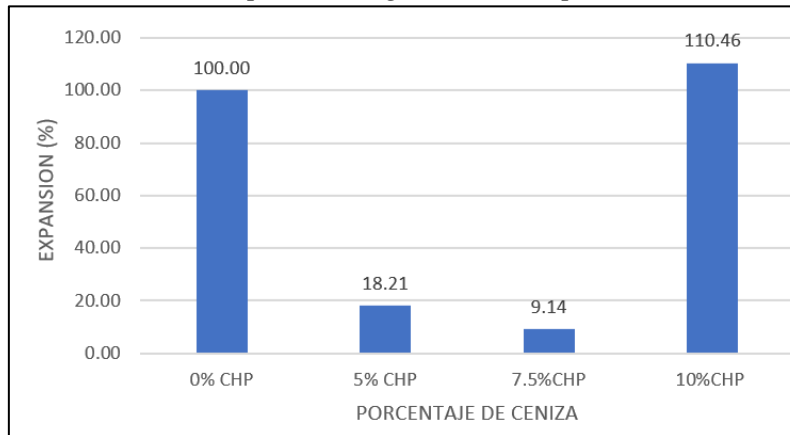
Resultados de la expansión del suelo

% CHP	IP	$S = 60 * K * IP^{2.44}$
0.00	20.42	3.40
5.00	10.16	0.62
7.50	7.66	0.31
10.00	21.27	3.75

Nota: Esta tabla muestra cómo es la expansión del suelo en cada porcentaje de CHP.

Figura 20

Variación de la expansión según índice de plasticidad



Nota: El gráfico representa la expansión de acuerdo al porcentaje de ceniza

Ensayo Proctor (NTP 339.141-1999)

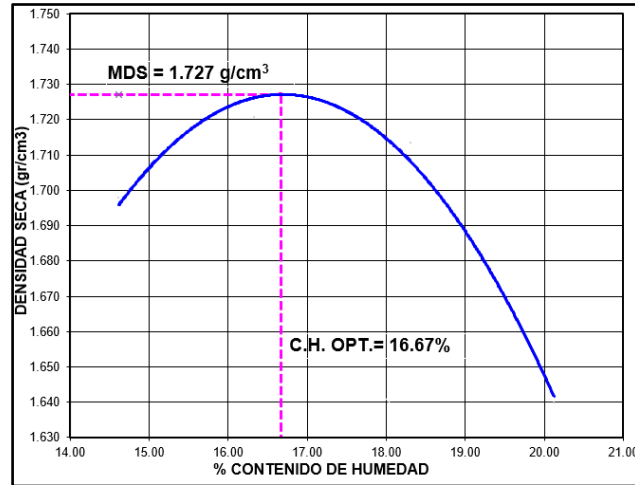
Tabla 17

Resultados del ensayo Proctor con 0%CHP

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO									
DESCRIPCIÓN		1		2		3		4	
Peso Molde	gr	3982.25		3982.25		3982.25		3982.25	
Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5876.00		5930.00		5955.00		5899.00	
Peso Muestra Húmeda	gr	1893.75		1947.75		1972.75		1916.75	
Volumen Muestra húmeda	cm3	973		973		973		973	
Densidad húmeda; Dh	gr/cm3	1.946		2.002		2.027		1.970	
Recipiente		a	b	a	b	a	b	a	b
Peso Recipiente	gr	27.42	28.12	27.42	27.19	27.1	28.1	27.4	28.1
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	133.77	132.25	115.87	115.84	132.9	133.2	132.2	115.8
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	120.20	118.98	103.45	103.40	116.25	117.77	114.25	101.84
Peso del Agua	gr	13.57	13.27	12.42	12.44	16.25	16.37	17.55	14.70
Peso Muestra seca	gr	92.8	90.9	76.0	76.2	88.8	89.3	87.3	73.0
Contenido de Humedad W%	%	14.63	14.60	16.34	16.32	18.30	18.34	20.11	20.13
Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	14.62		16.33		18.32		20.12	
Densidad Seca; Ds	gr/cm3	1.698		1.721		1.713		1.640	

Nota: Esta tabla muestra cómo cambia la densidad seca de acuerdo al contenido de humedad.

Figura 21
Curva de compactación con 0%CHP



Nota: El gráfico representa la ubicación de la máxima densidad seca y el contenido de humedad óptimo.

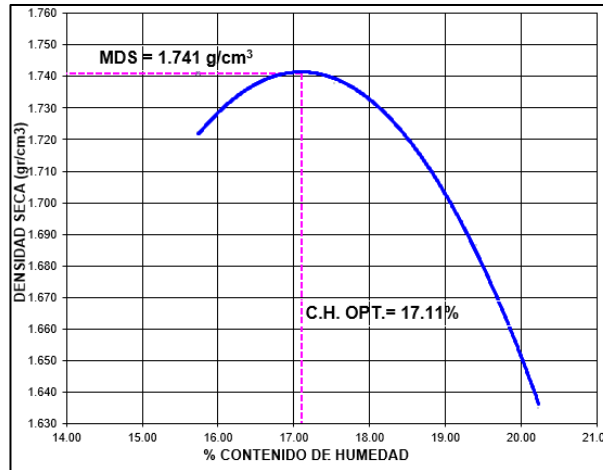
Tabla 18

Resultados del ensayo Proctor con 5%CHP

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO									
DESCRIPCIÓN		1		2		3		4	
Peso Molde	gr	3982.25		3982.25		3982.25		3982.25	
Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5922.00		5970.00		5942.00		5895.00	
Peso Muestra Húmeda	gr	1939.75		1987.75		1959.75		1912.75	
Volumen Muestra húmeda	cm3	973		973		973		973	
Densidad húmeda; Dh	gr/cm3	1.993		2.043		2.014		1.966	
Recipiente		a	b	a	b	a	b	a	b
Peso Recipiente	gr	27.42	28.1	27.4	27.19	27.1	28.1	27.4	28.1
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	132.2	115.	115.	115.8	132.	133.	132.	115.
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	118.0	103.	102.	102.6	115.	116.	114.	101.
Peso del Agua	gr	14.25	11.9	13.1	13.24	17.0	17.1	17.6	14.7
Peso Muestra seca	gr	90.6	75.8	75.3	75.4	88.0	88.5	87.2	73.0
Contenido de Humedad W%	%	15.73	15.7	17.5	17.56	19.4	19.4	20.2	20.2
Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	15.74		17.54		19.42		20.24	
Densidad Seca; Ds	gr/cm3	1.722		1.738		1.686		1.635	

Nota: Esta tabla muestra cómo cambia la densidad seca de acuerdo al contenido de humedad.

Figura 22
Curva de compactación con 5 %CHP



Nota: El gráfico representa la ubicación de la máxima densidad seca y el contenido de humedad óptimo.

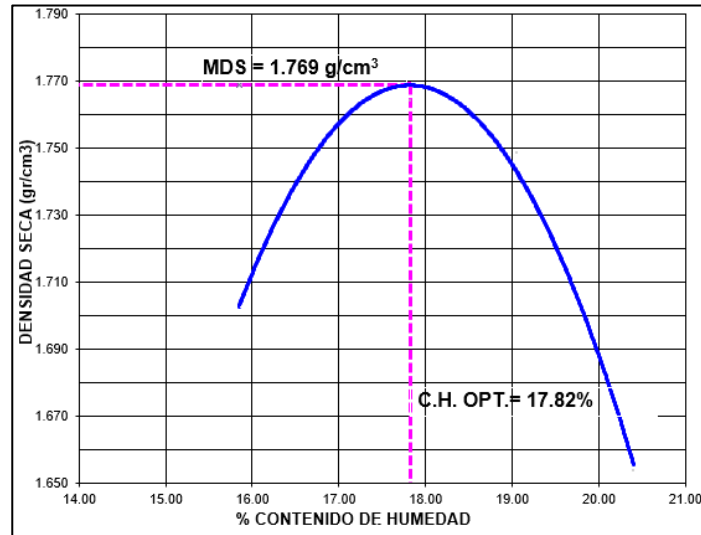
Tabla 19
Resultados del ensayo Proctor con 7.5%CHP

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO									
DESCRIPCIÓN		1		2		3		4	
Peso Molde	gr	3982.25		3982.25		3982.25		3982.25	
Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5903.00		6005.00		6008.00		5920.00	
Peso Muestra Húmeda	gr	1920.75		2022.75		2025.75		1937.75	
Volumen Muestra húmeda	cm3	973		973		973		973	
Densidad húmeda; Dh	gr/cm3	1.974		2.079		2.082		1.991	
Recipiente		a	b	a	b	a	b	a	b
Peso Recipiente	gr	27.19	28.12	27.19	27.19	27.19	28.12	27.42	28.12
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	132.4	115.9	116.1	116.0	132.2	133.7	132.2	115.8
		0	0	5	3	5	7	5	4
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	118.0	103.9	102.6	102.6	115.4	116.8	114.4	100.9
		0	0	8	0	2	8	8	8
Peso del Agua	gr	14.40	12.00	13.47	13.43	16.83	16.89	17.77	14.86
Peso Muestra seca	gr	90.8	75.8	75.5	75.4	88.2	88.8	87.1	72.9
Contenido de Humedad W%	%	15.86	15.84	17.84	17.81	19.08	19.03	20.41	20.40
Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	15.85		17.83		19.05		20.40	
Densidad Seca; Ds	gr/cm3	1.704		1.764		1.749		1.654	

Nota: Esta tabla muestra como cambia la densidad seca de acuerdo al contenido de humedad.

Figura 23

Curva de compactación con 7.5 %CHP



Nota: El gráfico representa la ubicación de la máxima densidad seca y el contenido de humedad óptimo.

Tabla 20

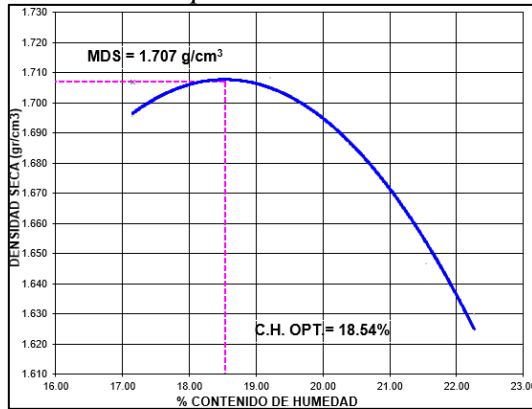
Resultados del ensayo Proctor con 10% de CHP

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO									
DESCRIPCIÓN		1		2		3		4	
Peso Molde	gr	3982.25		3982.25		3982.25		3982.25	
Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5915.00		5964.00		5930.00		5921.00	
Peso Muestra Húmeda	gr	1932.75		1981.75		1947.75		1938.75	
Volumen Muestra húmeda	cm ³	973		973		973		973	
Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	1.986		2.037		2.002		1.992	
Recipiente		a	b	a	b	a	b	a	b
Peso Recipiente	gr	28.1	27.4	27.4	27.19	27.1	28.1	27.4	28.
		2	2	2		9	2	2	12
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	132.	115.	115.	115.8	132.	133.	132.	115
		25	84	87	4	25	77	25	.84
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	117.	102.	101.	101.5	113.	115.	113.	99.
		00	90	60	6	60	06	20	84
Peso del Agua	gr	15.2	12.9	14.2	14.28	18.6	18.7	19.0	16.
		5	4	7		5	1	5	00
Peso Muestra seca	gr	88.9	75.5	74.2	74.4	86.4	86.9	85.8	71.
									7
Contenido de Humedad W%	%	17.1	17.1	19.2	19.20	21.5	21.5	22.2	22.
		6	4	4		8	2	1	31
Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	17.15		19.22		21.55		22.26	
Densidad Seca; Ds	gr/cm ³	1.695		1.708		1.647		1.630	

Nota: Esta tabla muestra cómo cambia la densidad seca de acuerdo al contenido de humedad.

Figura 24

Curva de compactación con 10%CHP



Nota: El gráfico representa la ubicación de la máxima densidad seca y el contenido de humedad óptimo.

Tabla 21

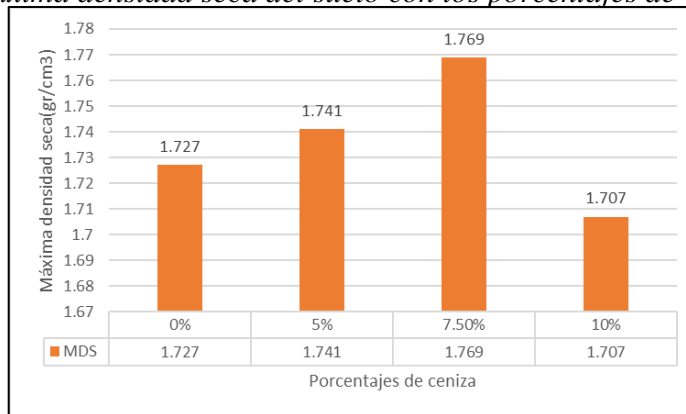
Resultados del ensayo Proctor del suelo con los porcentajes de CHP

Proctor modificado del suelo con los porcentajes de ceniza					
Proctor modificado	% de CHP				
	UND	0%	5%	7.5%	10%
Método de compactación		A	A	A	A
Máxima densidad seca	gr/cm ³	1.727	1.741	1.769	1.707
Contenido de humedad óptimo	%	16.67	17.11	17.82	18.54

Nota: Esta tabla muestra cómo cambia la máxima densidad seca y el contenido óptimo de humedad según los porcentajes de cenizas de hojas de plátano.

Figura 25

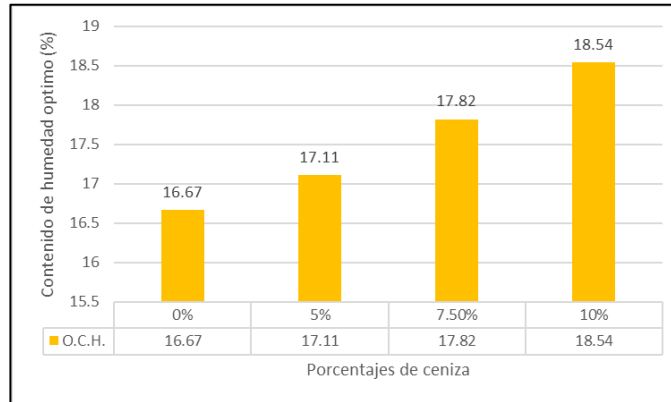
Máxima densidad seca del suelo con los porcentajes de CHP



Nota: El gráfico representa la máxima densidad seca según los porcentajes de cenizas de hojas de plátano.

Figura 26

Contenido óptimo de humedad del suelo con los porcentajes de CHP



Nota: El grafico representa la ubicación de la máxima densidad seca y el contenido de humedad optimo.

Ensayo CBR (NTP 339.145-1999)

Tabla 22

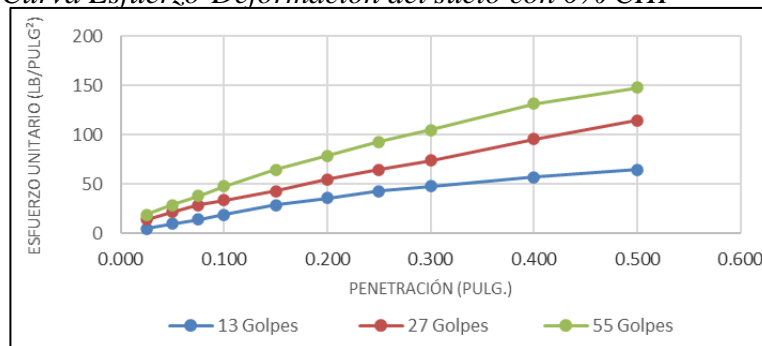
Resultados del ensayo de carga -penetración con 0%CHP

CARGA - PENETRACIÓN										
PENETRACIÓN		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Car ga			Car ga	Esfuerzo		Car ga	Esfuerzo	
mm	Pulg	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	6.80	0.34	4.78	20.41	1.01	14.33	27.22	1.34	19.11
1.27	0.050	13.61	0.67	9.55	30.62	1.51	21.50	40.82	2.02	28.66
1.91	0.075	20.41	1.01	14.33	40.82	2.02	28.66	54.43	2.69	38.22
2.54	0.100	27.22	1.34	19.11	47.63	2.35	33.44	68.04	3.36	47.77
3.81	0.150	40.82	2.02	28.66	61.24	3.02	42.99	91.85	4.53	64.49
5.08	0.200	51.03	2.52	35.83	78.24	3.86	54.94	112.26	5.54	78.82
6.35	0.250	61.24	3.02	42.99	91.85	4.53	64.49	132.68	6.55	93.15
7.62	0.300	68.04	3.36	47.77	105.46	5.21	74.04	149.69	7.39	105.10
10.16	0.400	81.65	4.03	57.32	136.08	6.72	95.54	187.11	9.24	131.37
12.70	0.50	91.85	4.53	64.49	163.29	8.06	114.65	210.92	10.41	148.09

Nota: Esta tabla muestra cómo cambia la carga de acuerdo a los moldes.

Figura 27

Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 0% CHP



Nota: El grafico representa el esfuerzo unitario de acuerdo a los golpes de penetración.

Tabla 23

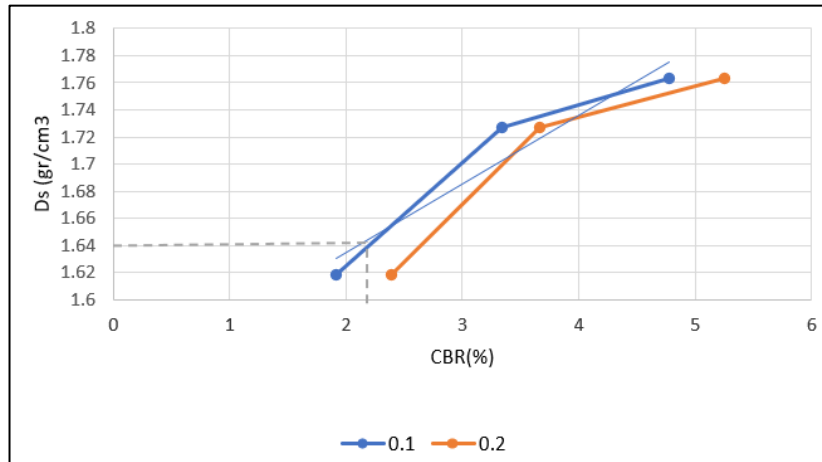
Resultados de CBR con 0% de CHP a 0.1 y 0.2 pulgadas

MOLDE N°	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
Penetración	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "
Esfuerzo Terreno (lb/pulg ²)	19.11	35.83	33.44	54.94	47.77	78.82
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	1.91	2.39	3.34	3.66	4.78	5.25
Ds (gr/cm ³)	1.618	1.618	1.727	1.727	1.763	1.763

Nota: Esta tabla muestra cómo cambia el CBR de acuerdo a los moldes

Figura 28

Curva de CBR- Densidad Seca con 0% de CHP



Nota: El grafico representa los valores de los resultados de la curva de CBR- Densidad seca de acuerdo a las cargas de penetración de 0.1 y 0.2 pulgadas

Tabla 24

Resultados del ensayo de carga -penetración con 5%CHP

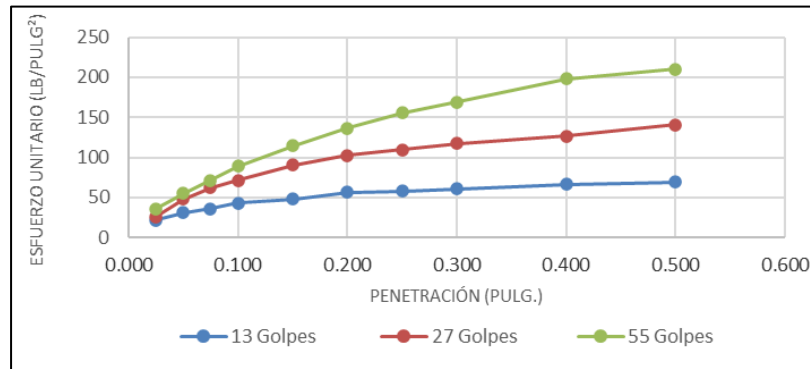
PENETRACIÓN		CARGA – PENETRACIÓN								
		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Car	Esfuerzo		Car	Esfuerzo		Car	Esfuerzo	
Mm	Pulg	ga	kg/cm ²	Lb/pl ²	ga	kg/cm ²	Lb/pl ²	ga	kg/cm ²	Lb/pl ²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	30.62	1.51	21.50	37.42	1.85	26.27	51.03	2.52	35.83
1.27	0.050	44.23	2.18	31.05	68.04	3.36	47.77	78.24	3.86	54.94
1.91	0.075	51.03	2.52	35.83	88.45	4.37	62.10	102.06	5.04	71.66
2.54	0.100	61.24	3.02	42.99	102.06	5.04	71.66	126.89	6.26	89.09
3.81	0.150	68.04	3.36	47.77	128.59	6.35	90.29	163.29	8.06	114.65
5.08	0.200	80.97	4.00	56.85	146.28	7.22	102.71	194.59	9.61	136.62
6.35	0.250	82.67	4.08	58.04	156.49	7.72	109.87	221.13	10.92	155.25
7.62	0.300	86.75	4.28	60.91	166.70	8.23	117.04	240.86	11.89	169.11
10.16	0.400	94.57	4.67	66.40	180.30	8.90	126.59	282.36	13.94	198.25

12.70 0.50 98.66 4.87 69.27 200.71 9.91 140.92 299.37 14.78 210.19

Nota: Esta tabla muestra cómo cambia la carga de acuerdo a los moldes

Figura 29

Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 5% CHP



Nota: El grafico representa el esfuerzo unitario de acuerdo a los golpes de penetración.

Tabla 25

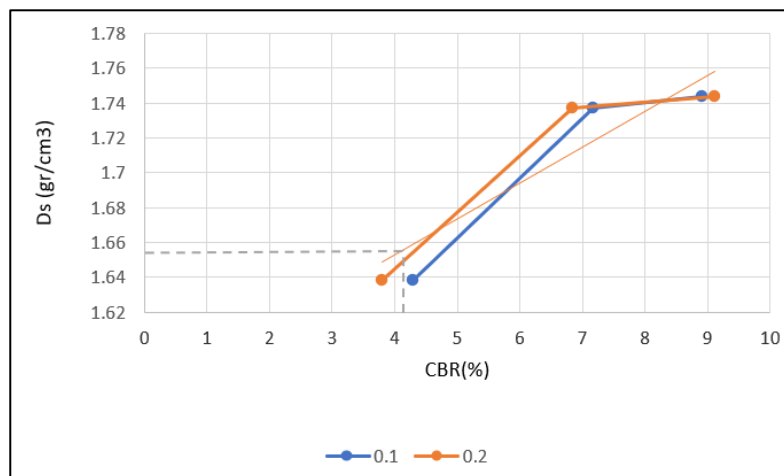
Resultados de CBR con 5% de CHP a 0.1 y 0.2 pulgadas

MOLDE N°	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
Penetración	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "
Esfuerzo Terreno (lb/pulg²)	42.99	56.85	71.66	100.32	89.09	136.62
Esfuerzo Patrón (lb/pulg²)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	4.30	3.79	7.17	6.85	8.91	9.11
Ds (gr/cm³)	1.638	1.638	1.737	1.737	1.744	1.744

Nota: Esta tabla muestra cómo cambia el CBR de acuerdo a los moldes.

Figura 30

Curva de CBR- Densidad Seca con 5% de CHP



Nota: El grafico representa los valores de los resultados de la curva de CBR-Densidad seca de acuerdo a las cargas de penetración de 0.1 y 0.2 pulgadas

Tabla 26

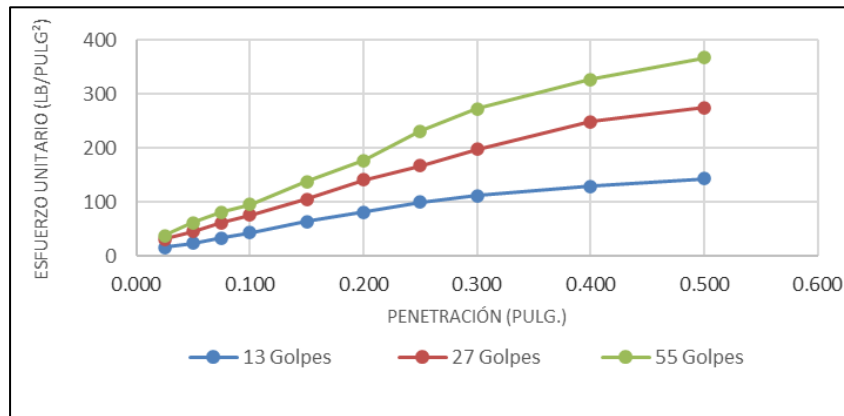
Ensayo de carga -penetración con 7.5%CHP

PENETRACIÓN		MOLDE N° 01				MOLDE N° 02			MOLDE N° 03	
		Car ga	Esfuerzo		Car ga	Esfuerzo		Car ga	Esfuerzo	
Mm	Pulg	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	23.81	1.18	16.72	44.23	2.18	31.05	54.43	2.69	38.22
1.27	0.050	34.02	1.68	23.89	64.64	3.19	45.38	88.45	4.37	62.10
1.91	0.075	47.63	2.35	33.44	88.45	4.37	62.10	115.67	5.71	81.21
2.54	0.100	61.24	3.02	42.99	108.86	5.37	76.43	136.08	6.72	95.54
3.81	0.150	91.85	4.53	64.49	149.69	7.39	105.10	197.31	9.74	138.54
5.08	0.200	115.67	5.71	81.21	200.71	9.91	140.92	251.74	12.43	176.75
6.35	0.250	142.88	7.05	100.32	238.14	11.76	167.20	329.99	16.29	231.69
7.62	0.300	159.89	7.89	112.26	282.36	13.94	198.25	387.82	19.14	272.29
10.16	0.400	183.71	9.07	128.98	353.80	17.46	248.41	466.07	23.01	327.23
12.70	0.50	204.12	10.08	143.31	391.22	19.31	274.68	523.90	25.86	367.83

Nota: Esta tabla muestra cómo cambia la carga de acuerdo a los moldes.

Figura 31

Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 7.5% de CHP



Nota: El grafico representa el esfuerzo unitario de acuerdo a los golpes de penetración.

Tabla 27

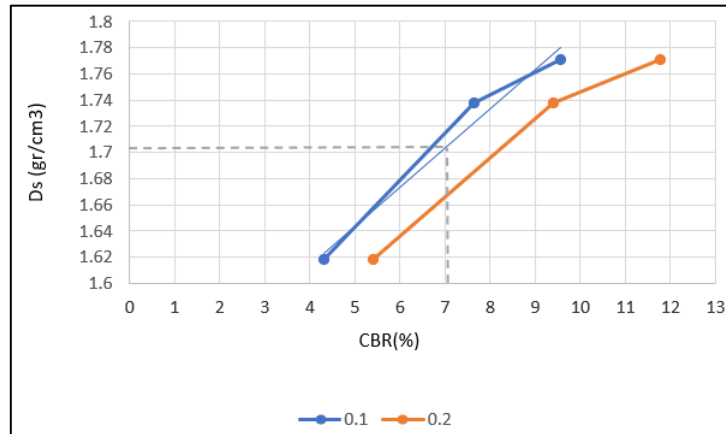
CBR con 7.5% CHP a 0.1 y 0.2 pulgadas

MOLDE N°	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
Penetración	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "
Esfuerzo Terreno (lb/pulg ²)	42.99	81.21	76.43	140.92	95.54	176.75
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	4.30	5.41	7.64	9.39	9.55	11.78
Ds (gr/cm ³)	1.618	1.618	1.738	1.738	1.771	1.771

Nota: Esta tabla muestra cómo cambia el CBR de acuerdo a los moldes.

Figura 32

Curva de CBR- Densidad Seca con 7.5% de CHP



Nota: El grafico representa los valores de los resultados de la curva de CBR- Densidad seca de acuerdo a las cargas de penetración de 0.1 y 0.2 pulgadas

Tabla 28

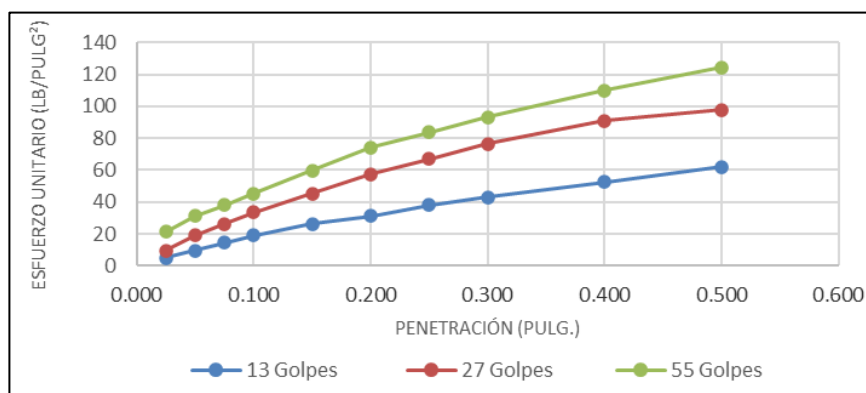
Resultados de ensayo carga -penetración con 10% de CHP

PENETRACIÓN		CARGA -								
PENETRACIÓN		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
mm	Pulg	Carga kg	Esfuerzo		Carga kg	Esfuerzo		Carga kg	Esfuerzo	
			kg/cm ²	Lb/pl ²		kg/cm ²	Lb/pl ²		kg/cm ²	Lb/pl ²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	6.80	0.34	4.78	13.61	0.67	9.55	30.62	1.51	21.50
1.27	0.050	13.61	0.67	9.55	27.22	1.34	19.11	44.23	2.18	31.05
1.91	0.075	20.41	1.01	14.33	37.42	1.85	26.27	54.43	2.69	38.22
2.54	0.100	27.22	1.34	19.11	47.63	2.35	33.44	64.64	3.19	45.38
3.81	0.150	37.42	1.85	26.27	64.64	3.19	45.38	85.05	4.20	59.71
5.08	0.200	44.23	2.18	31.05	81.65	4.03	57.32	105.46	5.21	74.04
6.35	0.250	54.43	2.69	38.22	95.25	4.70	66.88	119.07	5.88	83.60
7.62	0.300	61.24	3.02	42.99	108.86	5.37	76.43	132.68	6.55	93.15
10.16	0.400	74.84	3.69	52.55	129.27	6.38	90.76	156.49	7.72	109.87
12.70	0.500	88.45	4.37	62.10	139.48	6.89	97.93	176.90	8.73	124.20

Nota: Esta tabla muestra cómo cambia la carga de acuerdo a los moldes

Figura 33

Curva Esfuerzo-Deformación del suelo con 10% de CHP



Nota: El grafico representa el esfuerzo unitario de acuerdo a los golpes de penetración.

Tabla 29

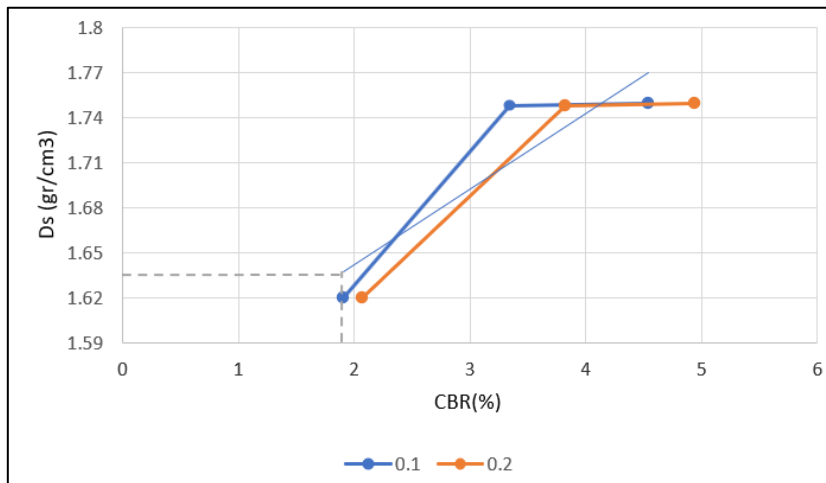
Resultado de CBR con 10%CHP a 0.1 y 0.2 pulgadas

MOLDE N°	MOLDE N° 01		MOLDE N° 02		MOLDE N° 03	
Penetración	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "
Esfuerzo Terreno (lb/pulg ²)	19.11	31.05	33.44	57.32	45.38	74.04
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	1.91	2.07	3.34	3.82	4.54	4.94
Ds (gr/cm ³)	1.620	1.620	1.748	1.748	1.749	1.749

Nota: Esta tabla muestra cómo cambia el CBR de acuerdo a los moldes

Figura 34

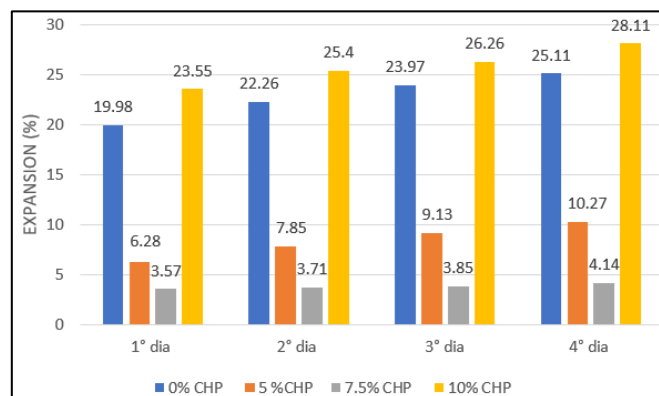
Curva de CBR- Densidad Seca con 10% de CHP



Nota: El grafico representa los valores de los resultados de la curva de CBR- Densidad seca de acuerdo a las cargas de penetración de 0.1 y 0.2 pulgadas

Figura 35

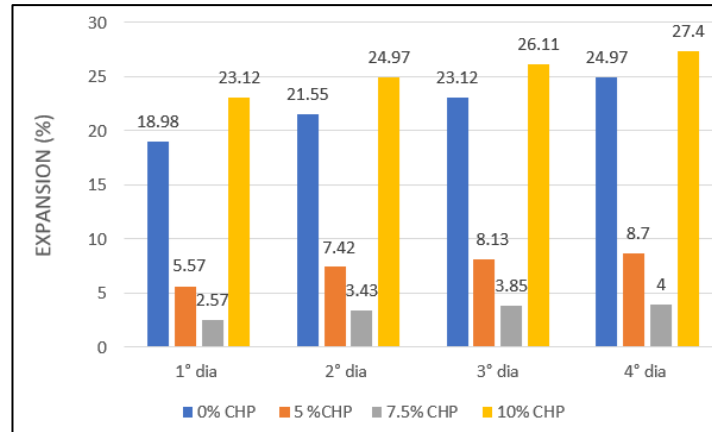
Expansión para molde 1, según porcentaje de ceniza



Nota: El grafico representa la expansión del molde 1 a medida que pasa los días.

Figura 36

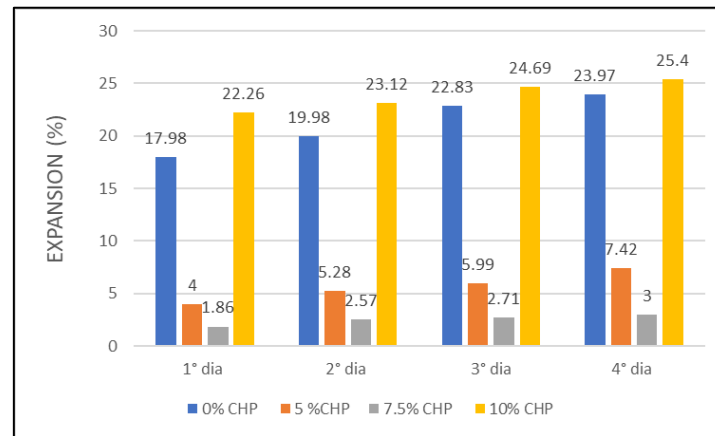
Expansión para molde 2, según porcentaje de ceniza



Nota: El grafico representa la expansión del molde 2 a medida que pasa los días.

Figura 37

Expansión para molde de 3, según porcentaje de ceniza



Nota: El grafico representa la expansión del molde 3 a medida que pasa los días.

Tabla 30

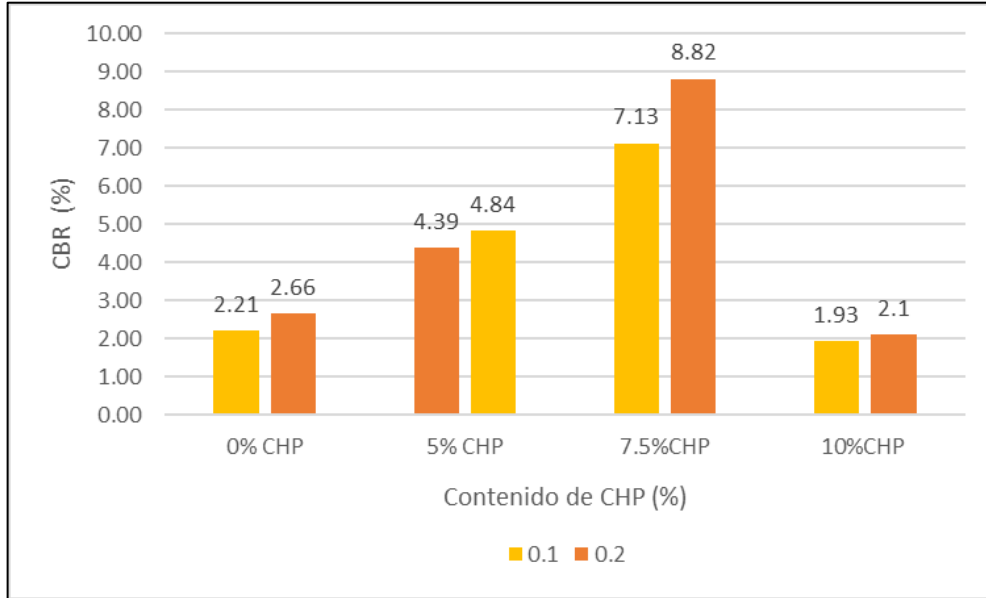
Resultado de CBR del suelo con las cenizas de hojas de plátano

CBR del suelo según el porcentaje de ceniza								
Porcentaje de CHP	0%		5%		7.5%		10%	
Penetración	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "	0.1 "	0.2 "
Esfuerzo Patrón (lb/pulg ²)	1000	1500	1000	1500	1000	1500	1000	1500
DSM (gr/cm ³)	1.723	1.723	1.723	1.742	1.723	1.799	1.723	1.710
DSM 95% (gr/cm ³)	1.653	1.653	1.653	1.661	1.653	1.678	1.653	1.610
CBR 100 %	3.79	4.20	8.08	8.03	10.06	12.36	3.28	3.63
CBR 95 %	2.21	2.66	4.84	4.39	7.13	8.84	1.93	2.10
CBR de Diseño (%)	2.21		4.39		7.13		1.93	

Nota: Esta tabla muestra cómo cambia el CBR de acuerdo a los porcentajes de CHP.

Figura 38

Comparación del CBR al 95% de MDS en 0.1" y 0.2" de penetración, según porcentaje de ceniza



Nota: El grafico representa la comparación de CBR al 95% de MDS en 0.1" y 0.2" a medida que aumenta el porcentaje de ceniza.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Limitaciones

En cuanto a las limitaciones que se tuvo en este estudio fue principalmente la obtención de la hoja de plátano, ya que para acceder a los sembríos de plátano fue un poco complicado porque algunos propietarios de allí no dejan recolectar sus hojas sin previo permiso de alguna autoridad del lugar o simplemente porque no desean que entremos a sus cultivos.

Después de desechar esta opción se logró encontrar un sembrío de plátanos en una hacienda llamada Lucila, ubicada a kilómetro y medio aproximadamente de la zona de recolección de muestra de suelo a estudiar, vía centro poblado Inguro-Caserío El Limón (Jaén), donde recolectamos las hojas de plátano necesarias para los ensayos de laboratorio.

En el procedimiento de incinerar las hojas de plátano, no se pudo hacer en laboratorio ya que no contaban con el equipo que se llama Mufla, que sirve para incinerar materiales que se llevan a laboratorio, es por eso que se obtuvo la ceniza mediante un horno artesanal de barro, por recomendación de los encargados del laboratorio de la Universidad Privada del Norte.

Al incinerar las hojas plátano nos dimos cuenta que no nos daba mucha ceniza las hojas recolectas, eso que era una cantidad considerable, es por eso que se tuvo que recolectar más hojas de plátano para que alcance la ceniza necesaria para todos los ensayos de laboratorio, se recolectó en total 20 costales de hoja de plátano, un equivalente a 20 Kg, para realizar todos los ensayos requeridos para el trabajo de investigación.

Al ver lo mencionado anteriormente se optó por realizar los ensayos necesarios para este tipo de trabajos de tesis, es decir, realizar los ensayos para mejorar las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos y tener cuidado al realizar cada uno de estos ensayos porque para hacer otra recolección de hojas de plátano retrasaba un poco los ensayos.

En el laboratorio de suelos, no se encontró con diales de expansión y tinas suficientes para realizar los ensayos de hinchamiento del CBR es por eso que se tuvo que alquilar nanómetros y tinas de otro laboratorio para llevar a cabo los ensayos correspondiente de los porcentajes de ceniza faltantes dentro de la universidad, ya que solo cuentan solo con 3 diales de expansión y 2 tinas de sumergimiento para este ensayo, es por eso que se tuvo que alquilar 9 diales de expansión y 2 tinas más para los ensayos de porcentajes de ceniza faltantes. Esto se realizó en previa coordinación de los encargados de laboratorio para no retrasar mucho los ensayos de CBR y así

poder terminar con el tiempo requerido para estos ensayos, y también ellos revisaron que los diales y tinas alquiladas estén en óptimas condiciones para estos ensayos de hinchamiento del CBR.

Por último, en cuanto a los resultados, no se llegó a obtener una categoría de subrasante muy buena o buena, solo se logró llegar a la categoría de subrasante regular, que también es adecuada para la construcción, ya que el suelo arcilloso estudiado era muy expansivo y con baja capacidad portante ubicada en la categoría de subrasante inadecuada (Ver tabla 8), todo esto lo explicaremos más adelante en las conclusiones.

Discusión de resultados

Los resultados del mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos con los diferentes porcentajes de ceniza de hoja de plátano se presentan en dos criterios: en el primer criterio se analiza los resultados de la expansión obtenidos de los límites de consistencia y los registros de expansión y en el segundo criterio los resultados de la capacidad portante obtenidos del ensayo de CBR.

A continuación, presentamos el análisis del contenido de humedad y el análisis granulométrico del suelo para pasar a discutir los resultados de la expansión y capacidad portante:

Contenido de humedad:

Los resultados del contenido de humedad en la tabla 12 indican el contenido de humedad de las 3 calicatas obtenidas en la muestra de este estudio C1, C2 Y C3, sus valores fueron de 16.91%, 17.15% y 17.04% y las cuales nos da un contenido de humedad del 17.03% de promedio del suelo arcilloso que estudiamos en este trabajo de investigación.

Análisis granulométrico:

Los resultados del análisis granulométrico mostrados en la tabla 13 indican la siguiente clasificación del suelo de las 3 calicatas:

En la calicata C1 por el método AASHTO el material se clasificó como suelo arcilloso perteneciente al grupo A-7, cuyo índice de grupo es 7 y por tanto está dentro de la categoría de subrasante pobre según el MTC. Por su parte por el método SUCS, el suelo se clasificó en la categoría CL perteneciente a las arcillas de baja a mediana plasticidad.

En cuanto a la calicata C2 por el método AASHTO el material se clasificó como suelo arcilloso perteneciente al grupo A-7, cuyo índice de grupo es 8 y está dentro de la categoría de

subrasante pobre según el MTC. Por el método SUCS, el suelo se clasificó en la categoría CL, arcillas de baja a mediana plasticidad.

La calicata C3 por el método AASHTO el material se clasificó como suelo arcilloso perteneciente al grupo A-7, cuyo índice de grupo es 6 y está dentro de la categoría de subrasante pobre según el MTC. En SUCS, el suelo se clasificó en la categoría CL, arcillas de baja a mediana plasticidad.

En el cuadro resumen de la clasificación del suelo por los métodos AASHTO y SUCS de la tabla 14, se determinó que en la C-1, C-2 y C-3 más de la mitad de muestra del suelo pasan por la malla N° 200 (apertura 0.074 mm) por lo tanto se clasificó como suelo (CL); por lo que la C-2 fue estimada como el suelo más deficiente con los valores correspondientes L.L.=44.96%, L.P.=20.54%, Índice de Plasticidad IP=20.42%, por lo que se clasificó como arcillas de baja a mediana plasticidad (CL), dicha calicata C2, se consideró como el suelo de muestra, porque es el suelo más deficiente entre las 3 calicatas, el cual será combinado con los porcentajes de 5%, 7.5% y 10% de ceniza de hoja de plátano para el trabajo de investigación.

Límites de consistencia:

La tabla 15 muestra los resultados obtenidos con respecto a la relación que existe entre los límites de consistencia y los niveles de ceniza de hoja de plátano, muestran una reducción proporcional de los límites de consistencia con el remplazo de la ceniza con los contenidos de 5% y 7.5%; no obstante, con el remplazo del 10% se observa un leve incremento con respecto a los límites de consistencia de la muestra del suelo natural.

En la figura 19 podemos apreciar que el límite líquido se redujo en un 11.46% y 17.63% con el contenido de ceniza de hoja de plátano de 5% y 7.5% respectivamente, y un leve incremento de 1.08% con el contenido de 10% de CHP; en comparación con otros estudios donde se indica que el límite líquido se redujo en 4.75% y 10.39% con el contenido de ceniza de 3% y 5% de tallo de banano y aumentó en 0.73% con el contenido de ceniza de 7%, en el trabajo de Corrales (2021), “Estabilización de subrasantes blandas con cenizas de tallos de banano en zonas tropicales, avenida Manu, Salvación, Madre de Dios”.

De igual manera, los resultados de la plasticidad muestran una reducción del 1.19% y 4.86% para el contenido de 5% y 7.5% de ceniza de hoja de plátano respectivamente y un incremento del 0.23% para el 10% de ceniza. Demostrando que el mejor comportamiento de la plasticidad del suelo se logró con un porcentaje del 7.5% de CHP; comparando con otros estudios

donde se indica que la plasticidad genera una reducción del 0.09% y 1.06% para el contenido de ceniza de 3% y 5% de tallo de banano y logró un aumento de 0.18% con el contenido de ceniza de 7%, en el trabajo de Corrales (2021), donde evalúa la estabilización de subrasantes blandas con cenizas de tallos de banano en zonas tropicales, avenida Manu, Salvación, Madre de Dios.

Finalmente, en la tabla 15 también podemos ver que los resultados sobre los límites de consistencia demuestran un mejor comportamiento para las muestras de 5% y 7.5% de ceniza de hoja de plátano, pero no para las muestras de 10%, que presenta un incremento, este comportamiento podría deberse por las propiedades físico-químicas de la ceniza de hoja de plátano que al reaccionar con el suelo produce una reacción puzolánica que provoca una disminución de los límites de consistencia, también demostradas en estudios anteriores.

Expansión:

Los resultados del análisis de la expansión se realizaron en base a dos consideraciones para esta investigación; primero consistió en analizar el índice de plasticidad como resultado de los límites de consistencia y segundo consistió en analizar los registros de expansión tomadas del trípode de expansión del equipo de CBR.

En la tabla 16, donde aplicando la ecuación 6 tenemos que el potencial de expansión del suelo natural corresponde al nivel medio, es decir, es un suelo de mediana expansión según la tabla N°4 y vemos que al agregar 5% de CHP el suelo pasa a nivel bajo de potencial de expansión, lo mismo sucede al agregar 7.5% de CHP el suelo se sigue manteniendo en baja expansión, pero al agregar 10% de CHP el suelo vuelve al estado de mediana expansión; por lo cual nos damos cuenta que el mejor comportamiento en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo arcilloso lo obtenemos con el contenido de ceniza de hoja plátano del 7.5%, ya que con ese porcentaje logramos la máxima disminución del potencial de expansión para una mejor estabilización de suelos arcillosos de la zona.

Los resultados de la expansión de la figura 20 muestran una reducción de la expansión del 81.79% y 90.86% con las muestras de 5%CHP y 7.5%CHP respectivamente y un incremento del 10.46% con la muestra de 10%CHP, en comparación con otros estudios nos damos cuenta que sucede lo mismo comportamiento pero en diferentes proporciones, se reportaron una reducción de la expansión del 78.79% y 87.67% con las muestras de 4% y 4.5% de la combinación de cenizas de cascara de caña de azúcar y hoja de plátano y un incremento 8.76% con la muestra de 5% de la combinación de sus cenizas en el trabajo de Contreras (2022), donde analiza el mejoramiento de

subrasante utilizando cenizas de cáscara de caña de azúcar y hoja de plátano en calle 1 del AA.HH. Francisco Bolognesi, Ancash.

En los contenidos de ceniza de hoja de plátano entre 5% y 7.5%, la expansión disminuye progresivamente, sin embargo, un incremento de ceniza superior e igual al 10%, provoca un aumento del índice de plasticidad y por ende de un incremento en la expansión. La disminución de la expansión es inducida por el aumento de la ceniza, este fenómeno se debe por incremento proporcional del agua respecto del incremento de la ceniza lo que provocaría la formación de grandes vacíos con agua atrapada que impedirían una mezcla uniforme entre la ceniza y el suelo razón por la cual disminuye los límites de consistencia y por ende la expansión.

Comparando con el trabajo de More, S & Ydrogo, E. (2019), “Estabilización de la subrasante en suelos adicionando la resina de plátano en el tramo Cacatachi – Chirapa, 2019”, añadió resina de plátano en los porcentajes de 1.25%, 2.5% y 5.00% para mejorar los suelos arcillosos, en el cual se obtuvo como resultado de la muestra patrón, un CBR al 95% de 3.6% y al 100% un CBR de 5.5%, asimismo las dosificaciones de resina añadidas se obtuvieron una reducción de la expansión del 52.79% y 61.86%, en tal sentido, tiene un comportamiento similar a la incorporación de cenizas de hojas de plátano en los porcentajes de 5%, 7.5% y 10% es por eso que al incorporar progresivamente los porcentajes de material de plátano la expansión disminuye, logrando mejorar las propiedades del suelo en estudio.

Registro de expansión:

En los registros de expansión los resultados se muestran en las figuras 35,36 y 37, donde la mayor expansión con los moldes de 12 golpes es de 25.11 % al final del sumergido para la muestra del suelo natural. Las muestras 5%CHP y 7.5%CHP reportan una reducción de 14.84% y 20.97% respectivamente; sin embargo, con 10%CHP se evidencia un incremento de la expansión del 3.00%.

En los moldes de 26 golpes con 0%CHP, la expansión llega a 24.97% al final del sumergido, las muestras con 5%CHP y 7.5%CHP reportan una reducción de 16.27% y 20.97% respectivamente; sin embargo, con el incremento del 10%CHP se evidencia una subida de la expansión del 2.43%.

Para los moldes de 55 golpes la expansión llega a 23.97% de expansión al final del sumergido y las muestras con 5%CHP y 7.5%CHP reportan una reducción de 16.55% y 20.97% respectivamente; sin embargo, con el incremento del 10%CHP se evidencia una subida de la

expansión del 1.43%

Podemos ver en las figuras 36 y 37 que las muestras que mejor se comportan con la expansión son las de 5%CHP y 7.5%CHP pertenecientes a los moldes de 26 y 55 golpes, que al igual que en el análisis de la expansión por índice de plasticidad aquí también se reporta una reducción en el potencial de expansión para la muestra de 5%CHP y 7.5%CHP; sin embargo, con el incremento del 10%CHP se evidencia una subida de la expansión.

Al analizar el estudio de Sánchez (2021), sobre “Evaluación de la fibra de plátano en las propiedades mecánicas de la subrasante en suelos arcillosos, La Palma, Tumbes”, encontramos el mismo comportamiento en el potencial de expansión, la disminución de expansión se debe a la reacción que se produce entre la CHP y la arcilla ya que, en presencia de agua, se formarían algunas propiedades cementantes que lograrían estabilizar el suelo contra la hinchazón.

Capacidad portante:

En la figura 38 se muestran los valores de la capacidad portante del suelo, donde podemos apreciar que los valores máximos de CBR se lograron con un contenido del 5 % y 7.5 % de ceniza de hoja de plátano; el CBR se incrementó de 2.21% a 4.39% para un contenido de ceniza del 5%; de igual forma para un contenido de ceniza del 7.5%, el CBR se incrementó de 2.21% a 7.13%; pero al igual que en la expansión para un contenido del 10% de ceniza, el CBR disminuyó de 2.21% a 1.93%.

Al considerar el estudio hecho por Chura (2019) sobre Capacidad Soporte (CBR) De Suelo Arcilloso Con Extracto De Tallo De Plátano En La Carretera Huallanda - Santa Rosa, Jaén, de acuerdo en sus resultados obtenidos en el ensayo de CBR al 95 % (DMS) a 0.1'' se demuestra que la capacidad soporte (CBR) de suelos arcillosos de dicha carretera en la provincia de Jaén, Cajamarca; aumenta a medida que se incrementa extracto de tallo de plátano en 2.5 % y 5 %, el CBR aumenta en aprox. 1%; sin embargo a medida que se incrementa en 7.5 % y 10 %, el CBR empieza a disminuir, en comparación con la ceniza de hoja de plátano donde se reportó un similar funcionamiento en las propiedades mecánicas del suelo, un incremento de un 2.18% y 4.92% con un contenido de suelo-ceniza de 5% y 7.5%, y una disminución de 0.28% del CBR con el contenido de suelo-ceniza del 10%. Este comportamiento puede ser debido a la formación gradual de compuestos parecidos al cemento en la mezcla, provocado por la reacción puzolánica entre la ceniza y el suelo.

Implicancias

Este estudio sirve como base para futuras investigaciones sobre mejoramiento de subrasantes en suelos arcillosos; se puede realizar una investigación adicionando otros porcentajes similares a la investigación o con otras cenizas que tengan parecidos componentes físico-químicos de la ceniza de hoja de plátano y así con estas nuevas ideas poder satisfacer los requerimientos de calidad para una subrasante de suelo arcilloso dada por las Normas técnicas peruanas y el Manual de carreteras- Especificaciones técnicas generales para la construcción.

Esta investigación también nos sirve como un precedente de que las hojas de plátano aportan de manera significativa la reducción de contaminación en el proceso de estabilización de suelos, ayuda como un material subrasante ideal para algunos proyectos o construcciones en zonas donde haiga bastantes sembríos de plátanos y donde el suelo sea muy arcilloso y necesiten mejorar sus propiedades mecánicas, estos lugares más están en parte selva, tal como se ha hecho esta investigación en Inguro-Jaén, que es parte de ceja de selva.

Para llevar esta investigación a una realización en campo se tiene que hacer en un tramo de carretera conformando una capa de subrasante con adición de 7.5% de CHP del peso del material arcilloso, siguiendo el siguiente procedimiento: Primero, es la preparación del suelo, el suelo se escarifica y se coloca en capas acordes con el mezclador a utilizar. El suministro y almacenamiento de ceniza de hoja de plátano debe hacerse tomando en cuenta los criterios de movilidad de la obra. Segundo, es el extendido de la ceniza, en nuestro caso estudiado es el 7.5% de CHP, realizando la adición y extendido de la cantidad de ceniza calculada previamente. Tercero, es la disgregación y mezclado, con la motoniveladora o estabilizadora se disgrega la ceniza. Este proceso de mezclado del suelo se debe realizar hasta lograr la homogeneidad. Durante el mezclado la ceniza empieza a reacciones con el suelo, modificando sus características e iniciando la primera etapa de la estabilización, que es la hidratación, donde se adiciona el agua calculada, y se mezcla hasta conseguir el contenido de humedad óptimo, luego se pasa a la

segunda etapa de la estabilización, que es la maduración del suelo, luego de mezclada y conformada la capa, se procederá a su estacionamiento por un periodo de 24 o 72 horas para que se realice la maduración del suelo. Cuarto, es la compactación, se debe realizar la compactación mecánica y humidificación del suelo hasta conseguir las densidades necesarias, además de la nivelación del suelo, donde se afine la superficie. Quinto, es el curado, para evitar la evaporación del agua contenido en la masa suelo-ceniza e inmediatamente después de terminada la capa se aplicará sobre la superficie un riego de material bituminoso, el que no deberá ser inferior a 0.3 L/m² de asfalto residual. Otra opción es mantener el riego del suelo con agua para evitar la pérdida de humedad y así seguir favoreciendo las reacciones puzolánicas. En ambos casos se debe evitar preferentemente ingresar tránsito pesado durante las primeras 72 horas después de terminar la superficie de trabajo ya que esto también permite que se desarrollen favorablemente las reacciones. Mantener la superficie humedecida también es una práctica recomendable para alcanzar los mayores beneficios de la aplicación.

Conclusiones

✓ Se pudo constatar la hipótesis de este estudio, pero para los porcentajes de 5%, 7.5% de ceniza de hoja de plátano, ya que con estos niveles de ceniza tiende a disminuir el potencial de expansión en 16.55% y 20.97%, e incrementar la capacidad portante en 2.18% y 4.92% respectivamente; sin embargo, para el contenido de ceniza de hoja de plátano del 10% ocurre todo lo contrario, el potencial de expansión aumenta en 1.43% y la capacidad portante disminuye en 0.28%, por lo tanto se determinó que la incorporación de las Cenizas de Hoja de Plátano (CHP) en 7.5%, influye de manera positiva en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de la subrasante en suelos arcillosos recolectado de la vía del centro poblado Inguero- Caserío El Limon, es por eso que la cenizas de hojas de plátano es un estabilizador económico, sustentable que aumenta las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos para ser usada como sub rasante.

✓ Se determinó que el potencial de expansión de la subrasante del suelo arcilloso antes de la incorporación de cenizas de hoja de plátano es de mediana expansión según los límites de consistencia (según la categoría de potencial de expansión de la tabla N°4), dando un registro de expansión de 23.97% y la capacidad portante de la subrasante antes de la incorporación de la ceniza de hoja de plátano es de 2.21%, por lo tanto, dicho suelo se encuentra dentro de la categoría de subrasante inadecuada (según las categorías del MTC) ya que su CBR es menor al 3% (Ver tabla 8), y por ende es una subrasante mala para la construcción que necesita alguna estabilización para el buen funcionamiento de carreteras para los proyectos de ejecución.

✓ El potencial de expansión disminuye progresivamente para contenidos de ceniza de hoja de plátano de 5% y 7.5%, disminuye de mediana expansión a baja expansión (ver tabla N°4), bajando su registro de expansión de 23.97% a 7.42% para el contenido de CHP de 5%, de igual forma para un contenido de CHP del 7.5% el potencial de expansión pasa a la categoría de baja expansión y su registro de expansión se reduce de 23.97% a 3%; sin embargo, un incremento de CHP al 10%, provoca un aumento del potencial de expansión, regresando a la categoría de mediana expansión, aumentando su registro de registro de expansión de 23.97% a 24.69%; por consiguiente el mejor porcentaje de CHP para la disminución del potencial de expansión con esta clase de cenizas es de 7.5%; la máxima densidad seca para un tratamiento suelo arcilloso con CHP es 1.769g/cm³ y el óptimo contenido de humedad es de 17.82%.

✓ En la capacidad portante se concluyó que los valores máximos de CBR se lograron con un contenido del 5% y 7.5 % de ceniza; el CBR se incrementó de 2.21% a 4.39% para un contenido de CHP del 5%; de igual forma para un contenido de CHP del 7.5%, el CBR se incrementó de 2.21% a 7.13%; pero, al igual que en la expansión para un contenido del 10% de CHP, el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo baja porque su CBR disminuyó de 2.21% a 1.93%. Por lo tanto, la muestra de suelo con un contenido del 5% de ceniza presenta un

mejoramiento en las propiedades mecánicas del suelo ya que el CBR llega a 4.39% y por consiguiente subiendo al suelo a la categoría de subrasante pobre, según la tabla 8, categorías de subrasantes. Por su parte la muestra de suelo con contenido de 7.5% de ceniza mostró un mejor comportamiento con respecto a la anterior ya que el CBR llegó a 7.13% convirtiendo el suelo de una subrasante inadecuada a una subrasante regular y por tanto buena para la construcción, pero para la muestra del suelo con contenido de 10% de ceniza el comportamiento del suelo baja ya que el CBR llega a 1.93%, manteniendo al suelo en la categoría de subrasante inadecuada, de acuerdo a la tabla número 8.

Referencias

- Aguirre, G. A., & Fuel, J. F. (2021). *Mejoramiento de las propiedades mecánicas de los suelos finos mediante la adición de residuos sólidos provenientes de fibras vegetales*. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/38614>
- Aishwarya, G., & Manasa, M. (2019). *Performance evaluation of subgrade soil stabilized using mango dry leaves ash*. 10(5), 6.
- Apolinario Alache, W. J., & Flores Reinoso, E. D. (2022). *Estabilización de suelos de baja capacidad portante utilizando concha del coco seco, ceniza de la cáscara de maní para la estructura de los pavimentos a nivel de la subrasante* [BachelorThesis, Guayaquil: ULVR, 2022.]. <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/5646>
- Arias, F. (2014). *El proyecto de investigación, 6ta Edición* Fidas G. Arias FREELIBROS.ORG. https://www.academia.edu/23573985/El_proyecto_de_investigaci%C3%B3n_6ta_Edici%C3%B3n_Fidas_G_Arias_FREELIBROS_ORG
- Bui, H., Hussain, M., Levacher, D., Bui, H., Hussain, M., & Levacher, D. (2022). *Recycling of Tropical Natural Fibers in Building Materials*. En *Natural Fiber*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.102999>
- Cabía, K. G., & Espinoza, G. A. (2021). *Análisis de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos usando fibra de cabuya y bambú, Las Moras – Huánuco 2021*. Universidad César Vallejo. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3097943>
- Champi Lunasco, K. G., & Garcia Angulo, J. (2022). *Estabilización de subrasante con adición de ceniza de tusa de maíz y cáscara de maní en la carretera IC-1110171, Ica-2022*. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/98857>

- Chura J. (2019). *Capacidad Soporte (CBR) De Suelo Arcilloso Con Extracto De Tallo De Plátano En La Carretera Huallanda - Santa Rosa, Jaén*. Repositorio Institucional - UNJ. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/235?locale=es>
- Ciceris, N. J. P., & Colorado, H. M. F. (2019). *Correlación entre la resistencia al corte en suelos cohesivos por medio del viscosímetro rotacional, compresión encofinada y corte directo*. 139.
- Contreras S. (2022). *Mejoramiento de subrasante utilizando cenizas de cáscara de caña de azúcar y hoja de plátano en calle 1 del AA.HH. Francisco Bolognesi, Ancash – 2022*. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/112750>
- Corrales J. (2021). *Estabilización de subrasantes blandas con cenizas de tallos de banano en zonas tropicales, avenida Manu, Salvación, Madre de Dios 2021*. Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/90918>
- Cuervo, H. A., & Barragán, C. A. (2019). Análisis del comportamiento físico mecánico de la adición de ceniza de cascarilla de arroz de la variedad blanco a un suelo areno-arcilloso [Thesis]. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/6488>
- Delgado Rivera, C. A., & Mormontoy Peñalba, V. D. (2021). *Estabilización de suelos arcillosos con adición de ceniza de mazorca de maíz y cal*. <http://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/4587>
- Eslami, A., Mohammadi, H., & Mirabi Banadaki, H. (2022). *Palm fiber as a natural reinforcement for improving the properties of traditional adobe bricks*. *Construction and Building Materials*, 325, 126808. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126808>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2018). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

- Landa Alarcón, J. Y. (2019). *Mejoramiento de suelos arcillosos en subrasante mediante el uso de cenizas volantes de bagazo de caña de azúcar y cal.*
- Llamoga L. (2016). Evaluación Del Potencial De Expansión Y Capacidad Portante De Suelos Arcillosos Usados En Subrasantes Al Adicionar Ceniza De Cascarilla De Arroz, Cajamarca 2016. Repositorio Institucional - UPN. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/11195>
- More García, S. M., & Ydrogo Gonzáles, E. del C. (2019). *Estabilización de la subrasante en suelos adicionando la resina de plátano en el tramo Cacatachi – Chirapa, 2019.* Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/46162>
- Peláez, J. D., & Benites, J. C. (2020). *Mejoramiento de las propiedades mecánicas en la subrasante de suelos arenosos adicionando ceniza de cáscara de arroz y cal.* Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57379>
- Pérez Quispe, V., & Taípe Sedano, M. E. (2018). *INFLUENCIA DEL TIPO DE ESPÉCIMEN EN LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DEL SUELO MEDIANTE ENSAYOS TRIAXIALES.* Repositorio Institucional - UNH. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2431>
- Sánchez K. (2021). *Evaluación de la fibra de plátano en las propiedades mecánicas de la subrasante en suelos arcillosos, La Palma, Tumbes-2021.* Repositorio Institucional - UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/86460>
- Tamayo, M. T., & Tamayo. (2012). *El proceso de la investigación científica.* https://books.google.com.cu/books/about/El_proceso_de_la_investigaci%C3%B3n_cient%C3%ADf.html?id=BhymmEqkJwC&redir_esc=y
- Tseganeh, A. B., & Quezon, E. T. (2022). *Prediction of Subgrade Strength from Index Properties of Expansive Soil Stabilized with Bagasse Ash and Calcined Termite Clay Powder Using*

Artificial Neural Network and Regression. Advances in Civil Engineering, 2022, e9186567.

<https://doi.org/10.1155/2022/9186567>

Vargas Rimac, J. A. (2020). *Estabilización de suelos de subrasante usando el relave minero de Ticapampa en la carretera EMP.PE 3n (Catac) – túnel Kahuish – Chavin de Huantar – San Marcos – EMP.PE – 14a (Succha) – 2017.*

ANEXOS

ANEXO N° 1. Tablas y figuras complementarias

Tabla 31

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnicas e instrumentos
Ceniza de hoja de plátano	Resultado de la quema de residuos vegetales de origen vegetal y no es modificada por ningún compuesto químico, conserva de esta forma sus propiedades de ceniza. (Cuervo Camacho & Barragán Garzón, 2019).	Incorporación de la ceniza de hoja de plátano para mejorar de las propiedades mecánicas de la subrasante	Porcentaje de incorporación	5% 7.5% 10%	Observación directa
Propiedades mecánicas de la subrasante	Propiedades que ofrecen estabilidad de la subrasante debe tener la capacidad de soportar las cargas transmitidas por la estructura del pavimento. (Ramón, B. 2013)	Potencial de expansión y capacidad portante de la subrasante mejoradas por medio de la incorporación de un porcentaje de cenizas de hojas de plátano	Mejora de las propiedades	Contenido de humedad LL LP IP Proctor modificado Capacidad portante (CBR)	Ensayo de laboratorio Ficha de resultados
					<i>Matriz de operacionalización de variables</i>
					<i>Nota. Matriz de operacionalización de variables en el mejoramiento de propiedades mecánicas por</i>
<i>medio</i>	<i>de</i>	<i>las</i>	<i>cenizas</i>	<i>de</i>	<i>hoja de plátano.</i>

Tabla 32

Problema de investigación	Objetivos de investigación	Variable	Dimensiones	Indicadores	Diseño de investigación
¿La Incorporación de ceniza de hoja de plátano, en los porcentajes de 5%, 7.5% y 10%, mejorará las propiedades mecánicas de la subrasante en suelos arcillosos, Jaén 2022?	Incorporar ceniza de hoja de plátano, en los porcentajes de 5%, 7.5% y 10%, para mejorar las propiedades mecánicas de la subrasante en suelos arcillosos, Jaén 2022	Ceniza de hoja de plátano	Porcentaje de incorporación	5% 7.50% 10%	
Problemas específicos ¿Como es el potencial de expansión y la capacidad portante de la subrasante en suelos arcillosos antes de la incorporación de ceniza de hoja de plátano? ¿Cambiará el potencial de expansión del suelo arcilloso, al adicionar los porcentajes de 5%,7.5 % y 10% de ceniza de hoja de plátano? ¿Cambiará la capacidad portante del suelo arcilloso, al adicionar los porcentajes de 5%, 7.5% y 10% de ceniza de hoja de plátano	Objetivos específicos Determinar el potencial de expansión y la capacidad portante de la subrasante en suelos arcillosos antes de la incorporación de ceniza de hoja de plátano. Determinar el potencial de expansión del suelo arcilloso, al adicionar los porcentajes de 5%,7.5 % y 10% de ceniza de hoja de plátano Determinar la capacidad portante del suelo arcilloso, al adicionar los porcentajes de 5%, 7.5% y 10% de ceniza de hoja de plátano	Independiente Propiedades mecánicas de la subrasante Dependiente	Mejora de las propiedades	Potencial de expansión y Capacidad portante (CBR)	Investigación pre experimental, exploratoria

Matriz de consistencia

Nota. Matriz de consistencia de los parámetros de mejoramiento de suelos arcillosos.

Tabla 33
Contenido de humedad Calicata C1

CONTENIDO DE HUMEDAD				
DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
Identificación del recipiente o Tara		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del Recipiente	gr	75.00	161.00	148.30
Recipiente + Suelo Húmedo	gr	500.30	595.10	563.90
Recipiente + Suelo Seco	gr	438.98	532.15	503.79
Peso del Agua	gr	61.32	62.95	60.11
Peso Suelo Seco	gr	363.98	371.15	355.49
Porcentaje de humedad	%	16.85	16.96	16.91
Promedio Porcentaje Humedad	%		16.91	

Nota: Esta tabla muestra el contenido de humedad en cada muestra de suelo.

Tabla 34
Contenido de humedad Calicata C2

CONTENIDO DE HUMEDAD				
DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
Identificación del recipiente o Tara		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del Recipiente	gr	75.00	161.00	148.30
Recipiente + Suelo Húmedo	gr	507.30	600.10	565.90
Recipiente + Suelo Seco	gr	444.39	535.42	504.77
Peso del Agua	gr	62.91	64.68	61.13
Peso Suelo Seco	gr	369.39	374.42	356.47
Porcentaje de humedad	%	17.03	17.27	17.15
Promedio Porcentaje Humedad	%		17.15	

Nota: Esta tabla muestra el contenido de humedad en cada muestra de suelo.

Tabla 35
Contenido de humedad Calicata C3

CONTENIDO DE HUMEDAD				
DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
Identificación del recipiente o Tara		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del Recipiente	gr	75.00	161.00	148.30
Recipiente + Suelo Húmedo	gr	501.30	596.10	564.90
Recipiente + Suelo Seco	gr	439.38	532.66	504.19
Peso del Agua	gr	61.92	63.44	60.71
Peso Suelo Seco	gr	364.38	371.66	355.89
Porcentaje de humedad	%	16.99	17.07	17.06
Promedio Porcentaje Humedad	%		17.04	

Nota: Esta tabla muestra el contenido de humedad en cada muestra de suelo.

Tabla 36
Granulometría Por Tamizado En Seco Calicata C1

Malla	Abertura	P.R.	% RP	% RA	% que
Nº4	4,76	4.79	1.01	1.01	98.99
Nº10	2	31.90	6.70	7.71	92.29
Nº20	0,84	31.01	6.51	14.22	85.78
Nº30	0,59	16.83	3.54	17.76	82.24
Nº40	0,42	9.25	1.94	19.70	80.30
Nº60	0,25	36.00	7.56	27.26	72.74
Nº100	0,15	37.02	7.78	35.04	64.96
Nº200	0,074	69.59	14.62	49.66	50.34
Cazole ta	0.01	239.67	50.34	100.00	0.00

Nota: Esta tabla muestra el análisis granulométrico de los suelos arcillosos analizados por los números de tamices.

Tabla 37
Granulometría Por Tamizado En Seco Calicata C2

malla	Abert ura	P.R	% RP	% RA	% que
Nº4	4,76	3.80	0.81	0.81	99.19
Nº10	2	30.90	6.58	7.39	92.61
Nº20	0,84	30.46	6.49	13.88	86.12
Nº30	0,59	15.83	3.37	17.25	82.75
Nº40	0,42	8.26	1.76	19.01	80.99
Nº60	0,25	35.00	7.46	26.47	73.53
Nº100	0,15	37.79	8.05	34.52	65.48
Nº200	0,074	68.59	14.62	49.14	50.86
Cazoleta	0.01	238.67	50.86	100.00	0.00

Nota: Esta tabla muestra el análisis granulométrico de los suelos arcillosos analizados por los números de tamices.

Tabla 38

Granulometría Por Tamizado En Seco Calicata C3

mallá	Aber tura	P. R.	% RP	% RA	% que
Nº4	4,76	5.01	1.05	1.05	98.95
Nº10	2	32.20	6.73	7.78	92.22
Nº20	0,84	31.50	6.59	14.37	85.63
Nº30	0,59	17.20	3.60	17.97	82.03
Nº40	0,42	8.65	1.81	19.78	80.22
Nº60	0,25	36.70	7.68	27.46	72.54
Nº100	0,15	37.80	7.91	35.37	64.63
Nº200	0,074	68.90	14.41	49.78	50.22
Cazoleta	0.01	240.16	50.22	100.00	0.00

Nota: Esta tabla muestra el análisis granulométrico de los suelos arcillosos analizados por los números de tamices.

Tabla 39

Límite líquido Calicata C1

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)				
DESCRIPCION	U	1	2	3
	N D			
Identificación de Recipiente		LL1	LL2	LL3
Suelo Húmedo + Recipiente	gr	64.42	63.9	64.4
Suelo Seco + Recipiente	gr	56.2	54.41	51.3
Peso de Recipiente	gr	30.21	30.23	30.29
Peso del Agua	gr	8.22	9.49	13.10
Peso Suelo Seco	gr	25.99	24.18	21.01
Número de Golpes	N	32.00	24.00	18.00
Contenido de Humedad	%	31.63	39.25	62.35

Nota: Esta tabla muestra los límites de consistencia de cada muestra de estudio.

Tabla 40

Límite plástico Calicata C1

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)				
DESCRIPCIÓN	U	1	2	3
	N D			
identificación de Recipiente		LP1	LP2	LP3
Suelo Húmedo + Tara	gr	33.64	33.2	32.4
Suelo Seco + Tara	gr	32.96	32.61	32
Peso de Tara	gr	30.24	30.21	30.29
Peso del Agua	gr	0.68	0.59	0.40
Peso Suelo Seco	gr	2.72	2.40	1.71
Contenido de Humedad	%	25.00	24.58	23.39
Promedio Limite Plástico		24.33		

Nota: Esta tabla muestra los límites de consistencia de cada muestra de estudio.

Tabla 41

Límite líquido Calicata C2

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)				
DESCRIPCION	UN D	1	2	3
Identificación de Recipiente		LL1	LL2	LL3
Suelo Húmedo + Recipiente	gr	64.43	63.96	64.3
Suelo Seco + Recipiente	gr	56.1	54.47	51.4
Peso de Recipiente	gr	30.29	30.27	30.3
Peso del Agua	gr	25.81	24.20	21.10
Peso Suelo Seco	gr	8.33	9.49	12.90
Número de Golpes	N	33.00	26.00	19.00
Contenido de Humedad	%	32.27	39.21	61.14

Nota: Esta tabla muestra los límites de consistencia de cada muestra de estudio.

Tabla 42

Límite plástico Calicata C2

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)				
DESCRIPCIÓN	U N D	1	2	3
Identificación de Recipiente		LP1	LP2	LP3
Suelo Húmedo + Tara	gr	33.59	33.24	32.5
Suelo Seco + Tara	gr	32.96	32.63	32.05
Peso de Tara	gr	30.26	30.28	30.2
Peso del Agua	gr	2.70	2.35	1.85
Peso Suelo Seco	gr	0.63	0.61	0.45
Contenido de Humedad	%	23.33	25.96	24.32
Promedio Limite Plástico			24.54	

Nota: Esta tabla muestra los límites de consistencia de cada muestra de estudio.

Tabla 43

Límite líquido Calicata C3

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)				
DESCRIPCION	UN D	1	2	3
Identificación de Recipiente		LL1	LL2	LL3
Suelo Húmedo + Recipiente	gr	66.5	67.9	69.8
Suelo Seco + Recipiente	gr	58.53	56.9	55.4
Peso de Recipiente	gr	30.25	30.3	30.2
Peso del Agua	gr	28.28	26.60	25.20
Peso Suelo Seco	gr	7.97	11.00	14.40
Número de Golpes	N	32.00	24.00	18.00
Contenido de Humedad	%	28.18	41.35	57.14

Nota: Esta tabla muestra los límites de consistencia de cada muestra de estudio.

Tabla 44
Límite plástico Calicata C3

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)				
DESCRIPCIÓN	U N D	1	2	3
		identificación de Recipiente		LP1
Suelo Húmedo + Tara	gr	33.6	33.22	32.5
Suelo Seco + Tara	gr	32.96	32.63	32.05
Peso de Tara	gr	30.26	30.28	30.2
Peso del Agua	gr	0.64	0.59	0.45
Peso Suelo Seco	gr	2.70	2.35	1.85
Contenido de Humedad	%	23.70	25.11	24.32
Promedio Limite Plástico			24.38	

Nota: Esta tabla muestra los límites de consistencia de cada muestra de estudio.

Tabla 45
Clasificación según AASHTO Calicata C1

CLASIFICACIÓN AASHTO				
Parámetros Usados			Determinación del Índice de Grupo IG	
% Que Pasa la Malla N° 200		50.34		
% Que Pasa la Malla N° 40		80.30		
% Que Pasa la Malla N° 10		92.29	a =	15.3 4
Límite Líquido	LL =	42.23%	b =	35.3 4
Límite Plástico	LP =	24.33%	c =	2.23
Índice de Plasticidad:	IP =	17.90%	d =	7.90
Tipo de Suelo:	Material Limo Arcilloso			
Clasificación de Suelos:	A - 7			
Suelo:	A - 7 - 6	(7)		
Tipo de Material:	Suelo Arcilloso			
Terreno de Fundación:	Regular a Malo			

Nota: Esta tabla muestra la clasificación del suelo según AASHTO de acuerdo a los parámetros establecidos.

Tabla 46
Clasificación según SUCS Calicata C1

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C. S		
Parámetros Usados		
% Que Pasa la Malla N° 200		50.34
Límite Líquido	LL =	42.23%
Límite Plástico	LP =	24.33%
Índice de Plasticidad	IP =	17.90%
Tipo de Suelo Según su Granulometría:		Suelo Fino
		Baja Plasticidad
Tipo de Simbología:		Simbología Normal
Tipo de Suelo:		CL, ML, OL
Suelo:		CL
<i>Características del Suelo:</i>	CL	Arcillas inorgánicas de plasticidadbaja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.

Nota: Esta tabla muestra como es la clasificación del suelo según SUCS de acuerdo a las características mecánicas del suelo.

Tabla 47
Clasificación según AASHTO Calicata C2

CLASIFICACIÓN AASHTO				
Parámetros Usados			Determinación del Índice de Grupo IG	
% Que Pasa la Malla N° 200		50.86		
% Que Pasa la Malla N° 40		80.99		
% Que Pasa la Malla N° 10		92.61	a =	15.8 6
Límite Líquido	LL =	44.96%	b =	35.8 6
Límite Plástico	LP =	24.54%	c =	4.96
Índice de Plasticidad:	IP =	20.42%	d =	10.4 2
Tipo de Suelo:		Material Limo Arcilloso		
Clasificación de Suelos:		A - 7		
Suelo:		A - 7 - 6		
Tipo de Material:		Suelo Arcilloso		
Terreno de Fundación:		Regular a Malo		

Nota: Esta tabla muestra la clasificación del suelo según AASHTO de acuerdo a los parámetros establecidos.

Tabla 48
Clasificación según SUCS Calicata C2

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C. S		
Parámetros Usados		
% Que Pasa la Malla N° 200		50.86
Límite Líquido	LL =	44.96%
Límite Plástico	LP =	24.54%
Índice de Plasticidad	IP =	20.42%
Tipo de Suelo Según su Granulometría:		Suelo Fino Baja Plasticidad
Tipo de Simbología:		Simbología Normal
Tipo de Suelo:		CL, ML, OL
Suelo:		CL Arcillas inorgánicas de plasticidadbaja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.
Características del Suelo:	CL	

Nota: Esta tabla muestra como es la clasificación del suelo según SUCS de acuerdo a las características mecánicas del suelo.

Tabla 49
Clasificación según AASHTO Calicata C3

CLASIFICACIÓN AASHTO			
Parámetros Usados			Determinación del Índice de Grupo IG
% Que Pasa la Malla N° 200		50.2	
		2	
% Que Pasa la Malla N° 40		80.2	
		2	
% Que Pasa la Malla N° 10		92.2	
		2	a = 15.22
Límite Líquido	LL =	40.17%	b = 35.22
Límite Plástico	LP =	24.38%	c = 0.17
Índice de Plasticidad:	IP =	15.79%	d = 5.79
Tipo de Suelo:		Material Limo Arcilloso	
Clasificación de Suelos:		A - 7	
Suelo:		A - 7 - 6 (6)	
Tipo de Material:		Suelo Arcilloso	
Terreno de Fundación:		Regular a Malo	

Nota: Esta tabla muestra la clasificación del suelo según AASHTO de acuerdo a los parámetros establecidos.

Tabla 50
Clasificación según SUCS Calicata C3

CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C. S	
Parámetros Usados	
% Que Pasa la Malla N° 200	50.22
Límite Líquido	LL = 40.17%
Límite Plástico	LP = 24.38%
Índice de Plasticidad	IP = 15.79%
Tipo de Suelo Según su Granulometría:	Suelo Fino
Tipo de Simbología:	Baja Plasticidad Simbología Normal
Tipo de Suelo:	CL, ML, OL
Suelo:	CL
<i>Características del Suelo:</i>	Arcillas inorgánicas de plasticidadbaja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras.

Nota: Esta tabla muestra como es la clasificación del suelo según SUCS de acuerdo a las características mecánicas del suelo.

Tabla 51
Ensayo de Límite líquido con 0% de CHP

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)				
DESCRIPCION	UN D	1	2	3
Identificación de Recipiente		LL1	LL2	LL3
Suelo Húmedo + Recipiente	gr	64.43	63.96	64.3
Suelo Seco + Recipiente	gr	56.1	54.47	51.4
Peso de Recipiente	gr	30.29	30.27	30.3
Peso del Agua	gr	25.81	24.20	21.10
Peso Suelo Seco	gr	8.33	9.49	12.90
Número de Golpes	N	33.00	26.00	19.00
Contenido de Humedad	%	32.27	39.21	61.14

Nota: Esta tabla muestra los límites de consistencia de cada muestra de estudio.

Tabla 52
Ensayo de Límite plástico con 0% de CHP

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)				
DESCRIPCIÓN	UN D	1	2	3
identificación de Recipiente		LP1	LP2	LP3
Suelo Húmedo + Tara	gr	33.59	33.24	32.5
Suelo Seco + Tara	gr	32.96	32.63	32.05
Peso de Tara	gr	30.26	30.28	30.2
Peso del Agua	gr	2.70	2.35	1.85
Peso Suelo Seco	gr	0.63	0.61	0.45
Contenido de Humedad	%	23.33	25.96	24.32
Promedio Limite Plástico			24.54	

Nota: Esta tabla muestra los límites de consistencia de cada muestra de estudio.

Tabla 53
Ensayo de límites de consistencia con 5% de CHP

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)				
DESCRIPCION	UN D	1	2	3
Identificación de Recipiente		LL1	LL2	LL3
Suelo Húmedo + Recipiente	gr	66.50	67.90	69.80
Suelo Seco + Recipiente	gr	60.15	58.94	58.00
Peso de Recipiente	gr	30.25	30.30	30.20
Peso del Agua	gr	29.90	28.64	27.80
Peso Suelo Seco	gr	6.35	8.96	11.80
Número de Golpes	N	36.00	27.00	19.00
Contenido de Humedad	%	21.24	31.28	42.45

Nota: Esta tabla muestra los límites de consistencia de cada muestra de estudio.

Tabla 54
Ensayo de límite plástico con 5% de CHP

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)				
DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
identificación de Recipiente		LP1	LP2	LP3
Suelo Húmedo + Tara	gr	33.62	33.10	32.49
Suelo Seco + Tara	gr	32.98	32.57	32.05
Peso de Tara	gr	30.23	30.21	30.24
Peso del Agua	gr	2.75	2.36	1.81
Peso Suelo Seco	gr	0.64	0.53	0.44
Contenido de Humedad	%	23.27	22.46	24.31
Promedio Limite Plástico			23.35	

Nota: Esta tabla muestra los límites de consistencia de cada muestra de estudio.

Tabla 55
Ensayo de límite líquido con 7.5% de CHP

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)				
DESCRIPCION	UN D	1	2	3
Identificación de Recipiente		LL1	LL2	LL3
Suelo Húmedo + Recipiente	gr	61.8	66.7	67.5
Suelo Seco + Recipiente	gr	57	58.1	58
Peso de Recipiente	gr	30.23	30.29	30.29
Peso del Agua	gr	4.80	8.60	9.50
Peso Suelo Seco	gr	26.77	27.81	27.71
Número de Golpes	N	33.00	24.00	19.00
Contenido de Humedad	%	17.93	30.92	34.28

Nota: Esta tabla muestra los límites de consistencia de cada muestra de estudio.

Tabla 56

Ensayo de límite plástico con 7.5% de CHP

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)				
DESCRIPCIÓN	UN D	1	2	3
Identificación de Recipiente		LP1	LP2	LP3
Suelo Húmedo + Tara	gr	33.5	33.08	32.4
Suelo Seco + Tara	gr	32.98	32.6	32.05
Peso de Tara	gr	30.24	30.22	30.29
Peso del Agua	gr	0.52	0.48	0.35
Peso Suelo Seco	gr	2.74	2.38	1.76
Contenido de Humedad	%	18.98	20.17	19.89
Promedio Limite Plástico			19.68	

Nota: Esta tabla muestra los límites de consistencia de cada muestra de estudio.

Tabla 57

Ensayo de límite líquido con 10% de CHP

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)				
DESCRIPCION	UN D	1	2	3
Identificación de Recipiente		LL1	LL2	LL3
Suelo Húmedo + Recipiente	gr	69.1	69	71
Suelo Seco + Recipiente	gr	59.76	56.5	55.16
Peso de Recipiente	gr	30.29	30.3	30.25
Peso del Agua	gr	29.47	26.23	24.91
Peso Suelo Seco	gr	9.34	12.50	15.84
Número de Golpes	N	33.00	24.00	18.00
Contenido de Humedad	%	31.69	47.66	63.59

Nota: Esta tabla muestra los límites de consistencia de cada muestra de estudio.

Tabla 58

Ensayo de límite plástico con 10% de CHP

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)				
DESCRIPCIÓN	U N D	1	2	3
Identificación de Recipiente		LP1	LP2	LP3
Suelo Húmedo + Tara	gr	33.7	33.2	32.5
Suelo Seco + Tara	gr	33	32.62	32.07
Peso de Tara	gr	30.27	30.28	30.27
Peso del Agua	gr	2.73	2.34	1.80
Peso Suelo Seco	gr	0.70	0.58	0.43
Contenido de Humedad	%	25.64	24.79	23.89
Promedio Limite Plástico			24.77	

Nota: Esta tabla muestra los límites de consistencia de cada muestra de estudio.

Tabla 59
Resultados del ensayo CBR con 0% de CHP

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR										
DESCRIPCIÓN	UN D	1			2			3		
N° Golpes		5			5			5		
N° Golpes por Capa		1 3			27			55		
Condición de Muestra		Antes	Desp u.	Antes	Desp u.	Antes	Desp u.	Antes	Desp u.	
Peso Molde	gr	6946.00	6946.00	7158.00	7158.00	7205.00	7205.00	7205.00	7205.00	
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	11343	11500	11844	11950	11972	11972	11972	12100	
Peso Muestra húmeda	gr	4397.00	4554.00	4686.00	4792.00	4767.00	4767.00	4767.00	4895.00	
Volumen Muestra húmeda	cm ³	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61	
Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	1.89	1.96	2.02	2.06	2.05	2.05	2.05	2.11	
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	27.42	28.12	27.42	27.19	27.19	28.12	27.42	28.12	27.42
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	132.25	115.84	115.87	115.84	132.25	133.77	132.25	115.84	132.25
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	117.05	103.10	100.75	103.08	117.10	116.00	117.45	103.45	114.60
Peso del Agua	gr	15.20	12.74	15.12	12.76	15.15	17.77	14.80	12.39	17.65
Peso Muestra Seca	gr	89.63	74.98	73.33	75.89	89.91	87.88	90.03	75.33	87.18
Contenido de Humedad; W%	%	16.96	16.99	20.62	16.81	16.85	20.22	16.44	16.45	20.25
Promedio Contenido de Humedad	%	16.97		20.62	16.83		20.22	16.44		20.25
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	1.618		1.626	1.727		1.716	1.763		1.753

Nota: Esta tabla muestra como es la compactación de acuerdo a la densidad máxima seca de las muestras estudiadas.

Tabla 60
Resultados del hinchamiento con 0% CHP

ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
Horas	Días	Lectura Deform a.	Hinchamiento		Lectura Deform a.	Hinchamiento		Lectura Deform a.	Hinchamiento	
		mm	mm	%	mm	mm	%	mm	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0	0.000	0.00	0
24	1	1.400	35.560	19.98	1.330	33.782	18.98	1.260	32.00	17.98
48	2	1.560	39.624	22.26	1.510	38.354	21.55	1.400	35.56	19.98
72	3	1.680	42.672	23.97	1.620	41.148	23.12	1.600	40.64	22.83
96	4	1.760	44.704	25.11	1.750	44.450	24.97	1.680	42.67	23.97

Nota: Esta tabla muestra como es el comportamiento del suelo de acuerdo a su expansión.

Tabla 61
Resultados de ensayo de CBR con 5%CHP

CALIFORNIA BEARING RATIO – CBR										
DESCRIPCIÓN	UN D	1		2		3				
N° Golpes		5		5		5				
N° Golpes por Capa		1 3		27		55				
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.			
Peso Molde	gr	6946.00	6946.0 0	7158.00	7158.0 0	7205.00	7205.0 0			
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	11402	11600	11882	12100	11950	12150			
Peso Muestra húmeda	gr	4456.00	4654.0 0	4724.00	4942.0 0	4745.00	4945.0 0			
Volumen Muestra húmeda	cm ³	2322.61	2322.6 1	2322.61	2322.6 1	2322.61	2322.6 1			
Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	1.92	2.00	2.03	2.13	2.04	2.13			
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	27.4 2	28.1 2	27.42	27.1 9	27.1 9	28.12	27.4 2	28.1 2	27.42
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	132. 25	115. 84	115.87	115. 84	132. 25	133.77	132. 25	115. 84	132.25
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	116. 80	103. 10	101.00	102. 70	117. 10	116.00	116. 40	103. 45	115.00
Peso del Agua	gr	15.4 5	12.7 4	14.87	13.1 4	15.1 5	17.77	15.8 5	12.3 9	17.25
Peso Muestra Seca	gr	89.3 8	74.9 8	73.58	75.5 1	89.9 1	87.88	88.9 8	75.3 3	87.58
Contenido de Humedad; W%	%	17.2 9	16.9 9	20.21	17.4 0	16.8 5	20.22	17.8 1	16.4 5	19.70
Promedio Contenido de Humedad	%	17.14		20.21	17.13		20.22	17.13		19.70
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	1.638		1.667	1.737		1.770	1.744		1.779

Nota: Esta tabla muestra como es la compactación de acuerdo a la densidad máxima seca de las muestras estudiadas.

Tabla 62
Resultados del hinchamiento con 5% CHP

ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
Horas	Días	Lectura Deform a.	Hinchamiento mm	%	Lectura Deform a.	Hinchamiento mm	%	Lectura Deform a.	Hinchamiento mm	%
0	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.00	0
24	1	0.44	11.176	6.28	0.39	9.906	5.57	0.28	7.11	4.00
48	2	0.55	13.970	7.85	0.52	13.208	7.42	0.37	9.40	5.28
72	3	0.64	16.256	9.13	0.57	14.478	8.13	0.42	10.67	5.99
96	4	0.72	18.288	10.27	0.61	15.494	8.70	0.52	13.21	7.42

Nota: Esta tabla muestra como es el comportamiento del suelo de acuerdo a su expansión.

Tabla 63

Ensayo de CBR con 7.5 % CHP

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR										
DESCRIPCIÓN	UN D	1		2		3				
N° Golpes		5		5		5				
N° Golpes por Capa		1 3		27		55				
Condición de Muestra		Antes	Despu	Antes	Despu	Antes	Despu	Antes	Despu	
Peso Molde	gr	6946.00	6946.0 0	7158.00	7158.0 0	7205.00	7205.00	7205.00	7205.00	
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	11375	11500	11918	12100	12055	12250	12055	12250	
Peso Muestra húmeda	gr	4429.00	4554.0 0	4760.00	4942.0 0	4850.00	5045.00	4850.00	5045.00	
Volumen Muestra húmeda	cm 3	2322.61	2322.6 1	2322.61	2322.6 1	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61	
Densidad húmeda; Dh	gr/cm 3	1.91	1.96	2.05	2.13	2.09	2.17	2.09	2.17	
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1- A	1-B	1-C	2-A	2- B	2-C	3- A	3- B	3-C
Peso Recipiente	gr	27.4 2	28.1 2	27.42	27.1 9	27.1 9	28.12	27.4 2	28.1 2	27.42
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	133. 50	115. 84	117.00	117. 00	132. 25	134.00	133. 60	115. 84	133.0 0
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	117. 40	102. 60	102.00	103. 20	116. 50	117.00	116. 94	103. 00	116.0 0
Peso del Agua	gr	16.1 0	13.2 4	15.00	13.8 0	15.7 5	17.00	16.6 6	12.8 4	17.00
Peso Muestra Seca	gr	89.9 8	74.4 8	74.58	76.0 1	89.3 1	88.88	89.5 2	74.8 8	88.58
Contenido de Humedad; W%	%	17.8 9	17.7 8	20.11	18.1 6	17.6 4	19.13	18.6 1	17.1 5	19.19
Promedio Contenido de Humedad	%	17.83		20.11	17.90		19.13	17.88		19.19
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm 3	1.618		1.632	1.738		1.786	1.771		1.822

Nota: Esta tabla muestra como es la compactación de acuerdo a la densidad máxima seca de las muestras estudiadas.

Tabla 64

Resultados del hinchamiento con 7.5%CHP

ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULA DO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
Horas	Días	Deform a.	mm	%	Deform a.	mm	%	Deform a.	mm	%
0	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.00	0
24	1	0.25	6.350	3.57	0.18	4.572	2.57	0.13	3.30	1.86
48	2	0.26	6.604	3.71	0.24	6.096	3.43	0.18	4.57	2.57
72	3	0.27	6.858	3.85	0.27	6.858	3.85	0.19	4.83	2.71
96	4	0.29	7.366	4.14	0.28	7.112	4.00	0.21	5.33	3.00

Nota: Esta tabla muestra como es el comportamiento del suelo de acuerdo a su expansión.

Tabla 65
Ensayo CBR con 10% de CHP

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR										
DESCRIPCIÓN	UND	1			2			3		
N° Golpes		5			5			5		
N° Golpes por Capa		13			27			55		
Condición de Muestra		Antes	Despu		Antes	Despu		Antes	Despu	
Peso Molde	gr	6946.00	6946.00		7158.00	7158.00		7205.00	7205.00	
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	11410	11566		11973	12169		12025	12179	
Peso Muestra húmeda	gr	4464.00	4620.00		4815.00	5011.00		4820.00	4974.00	
Volumen Muestra húmeda	cm ³	2322.61	2322.61		2322.61	2322.61		2322.61	2322.61	
Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	1.92	1.99		2.07	2.16		2.08	2.14	
CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1- A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	27.42	28.12	27.42	27.19	27.19	28.12	27.42	28.12	27.42
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	135.00	115.80	117.00	118.00	132.20	134.00	135.00	115.80	133.10
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	118.10	102.00	101.00	104.00	115.50	115.00	118.00	102.10	115.00
Peso del Agua	gr	16.90	13.80	16.00	14.00	16.70	19.00	17.00	13.70	18.10
Peso Muestra Seca	gr	90.68	73.88	73.58	76.81	88.31	86.88	90.58	73.98	87.58
Contenido de Humedad; W%	%	18.64	18.68	21.75	18.23	18.91	21.87	18.77	18.52	20.67
Promedio Contenido de Humedad	%	18.66		21.75	18.57		21.87	18.64		20.67
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	1.620		1.634	1.748		1.770	1.749		1.775

Nota: Esta tabla muestra como es la compactación de acuerdo a la densidad máxima seca de las muestras estudiadas.

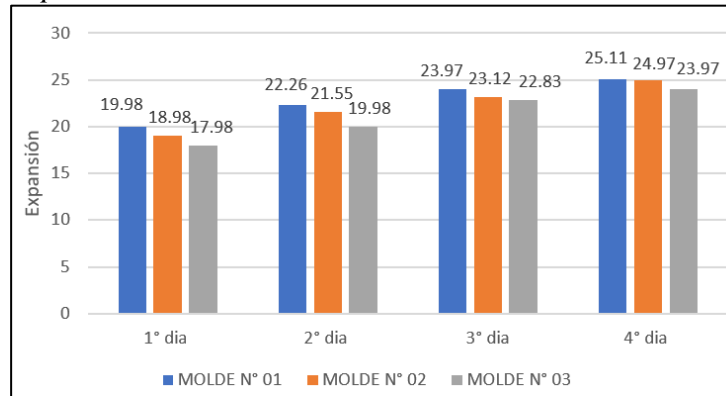
Tabla 66
Resultados del hinchamiento con 10% de CHP

ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
Horas	Días	Lectura Deform a.	Hinchamiento mm	%	Lectura Deform a.	Hinchamiento mm	%	Lectura Deform a.	Hinchamiento mm	%
0	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.00	0
24	1	1.65	41.910	23.55	1.62	41.148	23.12	1.56	39.62	22.26
48	2	1.78	45.212	25.40	1.75	44.450	24.97	1.62	41.15	23.12
72	3	1.84	46.736	26.26	1.83	46.482	26.11	1.73	43.94	24.69
96	4	1.97	50.038	28.11	1.92	48.768	27.40	1.78	45.21	25.40

Nota: Esta tabla muestra como es el comportamiento del suelo de acuerdo a su expansión.

Figura 39

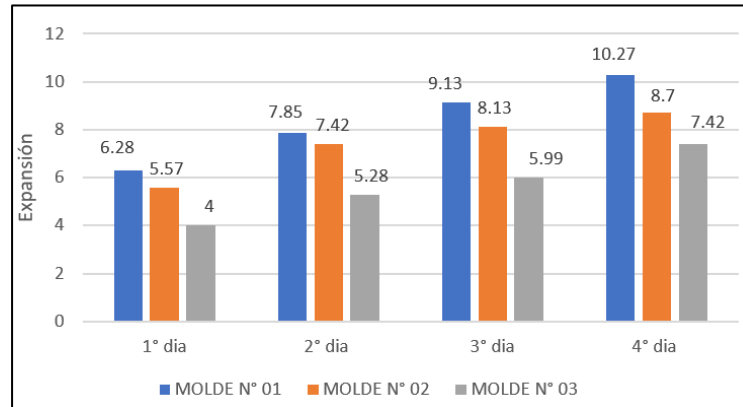
Expansión del suelo con 0%CHP



Nota: El grafico representa la expansión del suelo con 0% de CHP a medida que pasa los días.

Figura 40

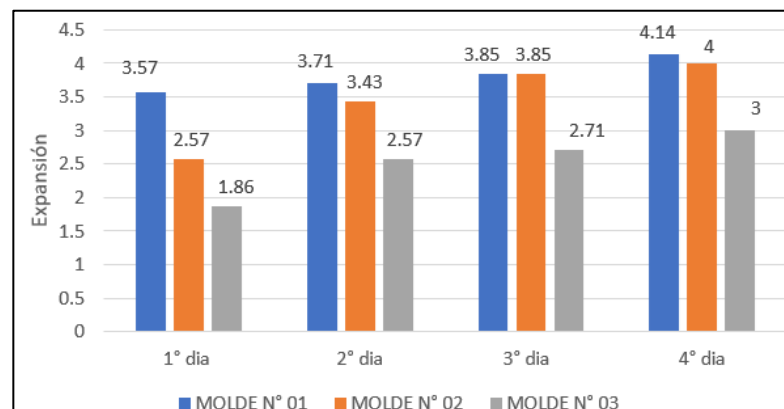
Expansión del suelo con 5 %CHP



Nota: El grafico representa la expansión del suelo con 5% de CHP a medida que pasa los días.

Figura 41

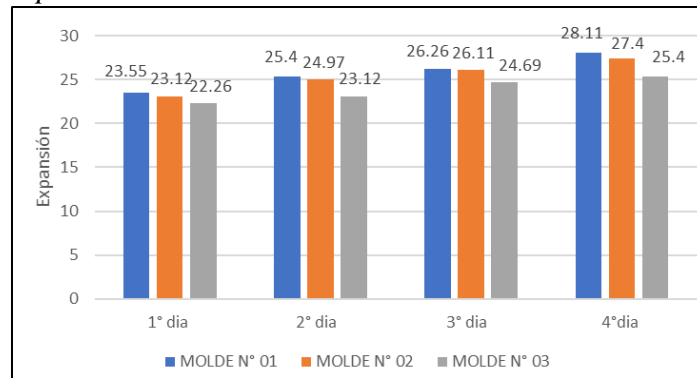
Expansión del suelo con 7.5% de CHP



Nota: El grafico representa la expansión del suelo con 7.5% de CHP a medida que pasa los días.

Figura 42

Expansión del suelo con 10% de CHP



Nota: El grafico representa la expansión del suelo con 10% de CHP a medida que pasa los días.

Tabla 67

Taxonomía de la planta del plátano

Taxonomía	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Zingiberales
Familia	Musaceae
Género	Musa
Especie	Musa paradisiaca L.

Nota: Recuperado de Herrera, V. (2011).

Tabla 68

Ejemplo de presupuesto con material de préstamo y presupuesto con resina de plátano de la tesis “Estabilización de la subrasante en suelos adicionando la resina de plátano en el tramo Cacatachi – Chirapa, 2019”

Descripción	Unid.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial(S/.)
Presupuesto mejorado con material de préstamo				1'392,939.92
Obras Provisionales				
Cartel De Obra (4.80 X 2.80ml)	unid	1.00	643.05	643.05
Movilización Y Desmovilización De Maquinaria Y Equipo	glb	1.00	10,500.00	10,500.00
Obras Preliminares				
Limpieza De Terreno Manual	m2	24,000.00	0.25	6,000.00
Trazo Y Replanteo Topográfico	km	4.00	827.13	3,308.52
Movimiento De Tierras				
Corte de Material Suelto	m3	50,742.66	3.52	178,614.16
Conformación de terraplenes con material préstamo	m3	13,475.64	4.07	54,845.85
Conformacion y perfilado de cunetas	m	8,000.00	0.97	7,760.00
Mejoramiento de suelos a nivel de sub rasante con material de préstamo.	m3	6,000.00	106.55	639,300.00
Pavimento				
Afirmado	m3	4,800.00	22.32	107,136.00
Transporte				
Transporte De Material Excedente De 120m A 1000m	m3	60,891.19	6.32	384,832.33
Presupuesto con el 2.5% resina de plátano				628,765.99
Obras Provisionales				
Cartel De Obra (4.80 X 2.80ml)	unid	1.00	643.05	643.05
Movilizacion Y Desmovilización De Maquinaria Y Equipo	glb	1.00	10,500.00	10,500.00
Obras Preliminares				

Limpieza De Terreno Manual	m2	24,000.00	0.25	6,000.00
Trazo Y Replanteo Topográfico	km	4.00	827.13	3,308.52
Movimiento De Tierras				
Corte de material suelto	m3	50,742.66	3.52	178,614.16
Conformación de terraplenes con material con el 2.5% de resina de plátano.	m3	13,475.64	2.55	34,362.88
Conformación y perfilado de cunetas	m	8,000.00	0.97	7,760.00
Mejoramiento de suelos a nivel de Sub Rasante con el 2.5% de resina de plátano.	m3	4,800.00	10	48,000.00
Pavimento				
Afirmado	m3	3,600.00	20.82	74,952.00
Transporte				
Transporte De Material Excedente De 120m A 1000m	m3	37,642.30	7.03	264,625.37

Nota. En la tabla 68 se observa el presupuesto de la carretera Cacatachi – Chirapa que comprende 4km mejorando la subrasante con material de préstamo, un presupuesto de S/ 1'392,939.92 soles y con la adición de la resina de plátano un presupuesto de S/ 628,765.99 soles. Se puede notar que hay una diferencia de S/ 764,173.93 soles ya que estabilizar la carretera Cacatachi- Chirapa de 4 km con la resina de plátano resultó ser económica y rentable en un 45.14%; y en nuestro caso disminuiría más el costo ya que la utilización de la hoja de plátano es más económica que la resina de plátano, tal vez reduciendo el costo de una obra a un 50% o 60%.

Figura 43

Daño en las vías causado por un mal manejo de suelos arcillosos



Figura 44

Daño en las carreteras por la metamorfosis de los suelos arcillosos



Figura 45

Efectos de los cambios en la tensión superficial y las fuerzas de la arcilla

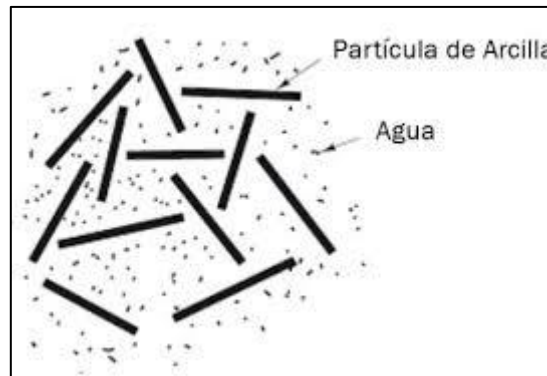


Figura 46

Contracción de las interfaces de las partículas de la arcilla por secado

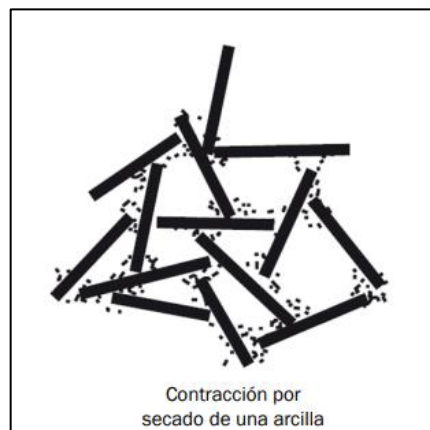


Figura 47

Hinchamiento de arcilla por succión de agua disponible

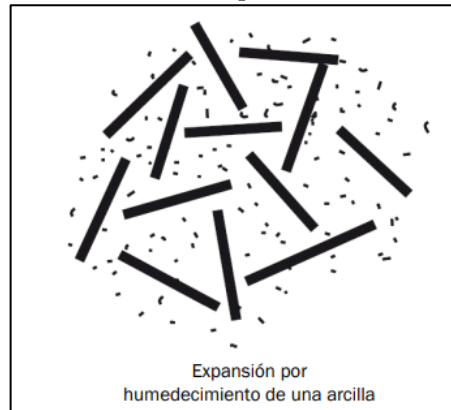


Figura 48

Mejoramiento del suelo arcilloso mediante cenizas

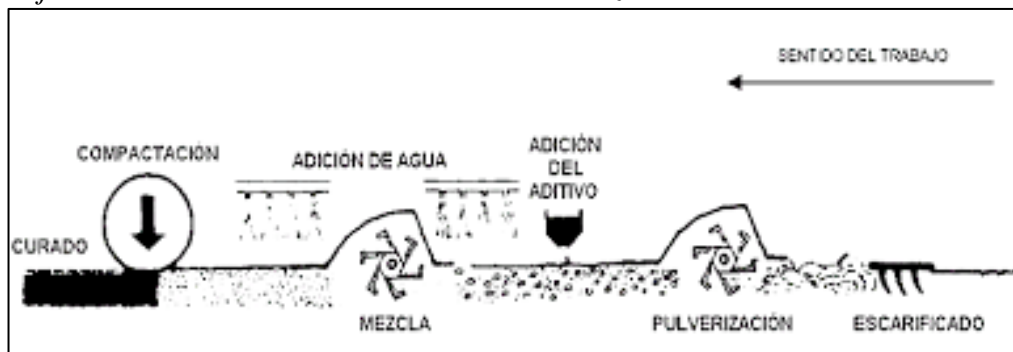


Figura 49

Ubicación política de la zona de estudio



Figura 50

Ubicación geográfica de la población beneficiada.



Figura 51

Ubicación geográfica de la zona de estudio



Figura 52
Partes de la planta de plátano

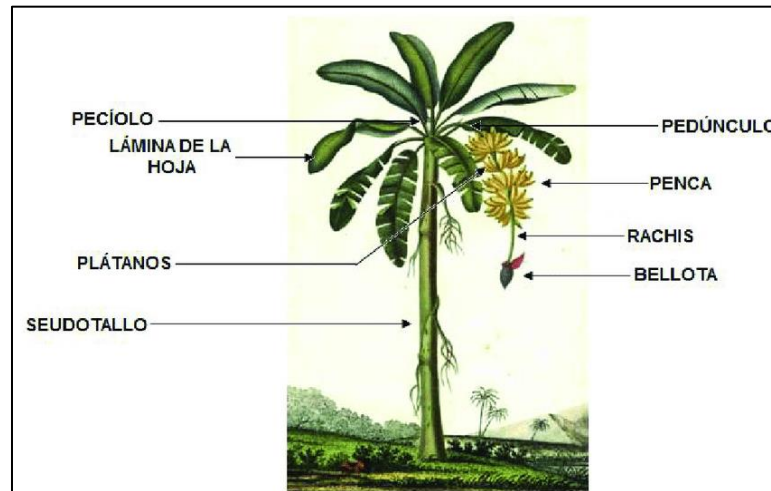


Figura 53
Mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos con cenizas de hojas de plátano



Figura 54

Comportamiento de las partículas en el mejoramiento de suelos con cenizas

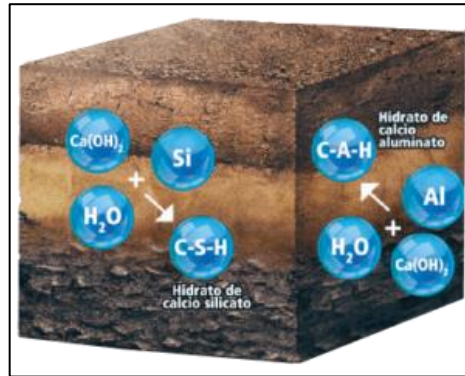


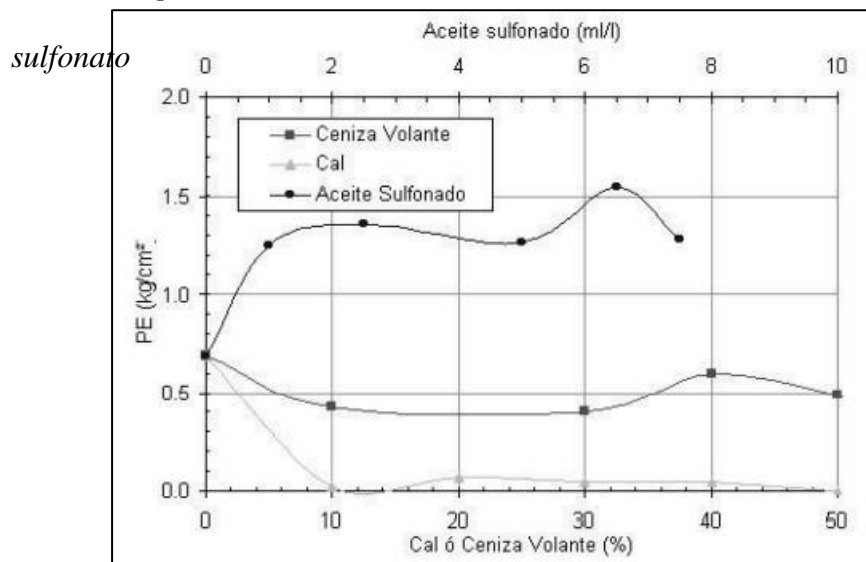
Figura 55

Estabilización de suelos arcillosos con cenizas



Figura 56

Comparación de la Estabilización de suelos arcillosos con cenizas, cal o aceite sulfonado



ANEXO N° 2. Panel fotográfico

Figura 57

Preparación de la calicata para la recolección de muestra



Figura 58

Obtención de la muestra mediante la calicata de metro y medio de profundidad



Figura 59

Recolección de las hojas de plátano



Figura 60

Traslado de las hojas de plátano



Figura 61

Proceso de incineración de las hojas de plátano en el horno artesanal de barro.



Figura 62

Ceniza resultante de las hojas de plátano



Figura 63

Preparación del suelo arcilloso para hacer el ensayo de contenido de humedad



Figura 64

Tamizado de las muestras a realizar para el análisis granulométrico



Figura 65

Preparación de los límites de consistencia con 0% de ceniza de hoja de plátano



Figura 66

Preparación de los límites de consistencia con 10% de ceniza de hoja de plátano



Figura 67

Suelo natural sin incorporación de ceniza de hoja de plátano



Figura 68

Suelo combinado con 5% de ceniza de hoja de plátano



Figura 69

Suelo combinado con 7.5% de ceniza de hoja de plátano



Figura 70

Suelo combinado con 10% de ceniza de hoja de plátano



Figura 71

Realizando el ensayo de Proctor modificado en el laboratorio de suelos de la universidad



Figura 72

Preparación de los moldes para el ensayo de hinchamiento del CBR



Figura 73

Ensayo de hinchamiento con 0% de CHP



Figura 74

Ensayo de hinchamiento con 5% de CHP



Figura 75

Ensayo de hinchamiento con 7.5 % de CHP



Figura 76

Ensayo de hinchamiento con 10% de CHP



Figura 77

Preparación de los moldes con 0% de CHP para el ensayo de carga- penetración



Figura 78

Preparación de los moldes con 5% de CHP para el ensayo de carga- penetración



Figura 79

Preparación de los moldes con 7.5% de CHP para el ensayo de carga- penetración



Figura 80

Preparación de los moldes con 10% de CHP para el ensayo de carga- penetración



Figura 81

Toma de datos en los protocolos de la universidad del ensayo carga-penetración



Figura 82

Realizando el ensayo de carga-penetración con el señor Víctor, encargado del laboratorio de suelos.



ANEXOS 3: Protocolos.



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD
NORMA:	MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127
TESIS:	"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

CALICATA:	C-1	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén		COLOR DE MATERIAL: Marrón Claro		
FECHA DE MUESTREO:	18/02/2023	RESPONSABLE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza			
FECHA DE ENSAYO:	28/02/2023	REVISADO POR: Jorge Luis Hoyos Martínez			

Temperatura de Secado

60 °C / 110 °C / Ambiente

Método

Horno 110 ± 5 °C

CONTENIDO DE HUMEDAD

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
B	Peso del Recipiente	gr	75.00	161.00	148.30
C	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	500.30	595.10	563.90
D	Recipiente + Suelo Seco	gr	438.98	532.15	503.79
E	Peso del Agua (Ww) C - B	gr	61.32	62.95	60.11
F	Peso Suelo Seco (Ws) D - B	gr	363.98	371.15	355.49
W%	Porcentaje de humedad (E / F) * 100	%	16.85	16.96	16.91
G	Promedio Porcentaje Humedad	%	16.91		

$$(W\%) = \frac{Ww}{Ws} * 100$$

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:

CONTENIDO DE HUMEDAD

NORMA:

MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127

TESIS:

"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

CALICATA:	C-2	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén		COLOR DE MATERIAL: Marrón Claro		
FECHA DE MUESTREO:	18/02/2023		RESPONSABLE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza		
FECHA DE ENSAYO:	28/02/2023		REVISADO POR: Jorge Luis Hoyos Martínez		

Temperatura de Secado

Método

60 °C / 110 °C / Ambiente

Horno 110 ± 5 °C

CONTENIDO DE HUMEDAD

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
B	Peso del Recipiente	gr	75.00	161.00	148.30
C	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	507.30	600.10	565.90
D	Recipiente + Suelo Seco	gr	444.39	535.42	504.77
E	Peso del Agua (Ww) C - B	gr	62.91	64.68	61.13
F	Peso Suelo Seco (Ws) D - B	gr	369.39	374.42	356.47
W%	Porcentaje de humedad (E / F) * 100	%	17.03	17.27	17.15
G	Promedio Porcentaje Humedad	%	17.15		

$$(W\%) = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO: CONTENIDO DE HUMEDAD

NORMA: MTC E 108 / ASTM D2216 / NTP 339.127

TESIS: "INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

CALICATA:	C-3	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén		COLOR DE MATERIAL: Marrón Claro		
FECHA DE MUESTREO:	18/02/2023	RESPONSABLE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza			
FECHA DE ENSAYO:	28/02/2023	REVISADO POR: Jorge Luis Hoyos Martínez			

Temperatura de Secado Método

60 °C / 110 °C / Ambiente

Horno 110 ± 5 °C

CONTENIDO DE HUMEDAD

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación del recipiente o Tara		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
B	Peso del Recipiente	gr	75.00	161.00	148.30
C	Recipiente + Suelo Húmedo	gr	501.30	596.10	564.90
D	Recipiente + Suelo Seco	gr	439.38	532.66	504.19
E	Peso del Agua (Ww) C - B	gr	61.92	63.44	60.71
F	Peso Suelo Seco (Ws) D - B	gr	364.38	371.66	355.89
W%	Porcentaje de humedad (E / F) * 100	%	16.99	17.07	17.06
G	Promedio Porcentaje Humedad	%	17.04		

$$(W\%) = \frac{Ww}{Ws} * 100$$

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO EN SECO
NORMA:	MTC E 107 / ASTM D421
TESIS:	"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

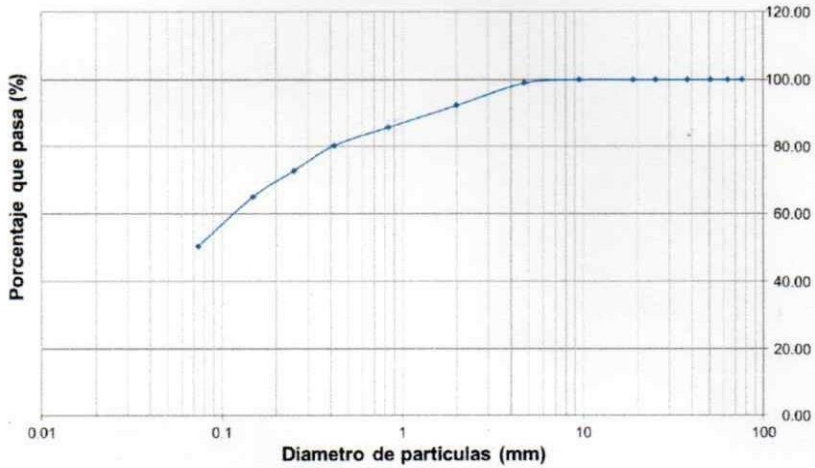
CALICATA:	C- 1	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén		COLOR DE MATERIAL: Marrón Claro		
FECHA DE MUESTREO:	18/02/2023		RESPONSABLE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza		
FECHA DE ENSAYO:	28/02/2023		REVISADO POR: Jorge Luis Hoyos Martínez		

Peso muestra seca, Ws 476.06 gr

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO EN SECO

malla	Abertura	P.R.	% RP	% RA	% que
Nº4	4,76	4.79	1.01	1.01	98.99
Nº10	2	31.90	6.70	7.71	92.29
Nº20	0,84	31.01	6.51	14.22	85.78
Nº30	0,59	16.83	3.54	17.76	82.24
Nº40	0,42	9.25	1.94	19.70	80.30
Nº60	0,25	36.00	7.56	27.26	72.74
Nº100	0,15	37.02	7.78	35.04	64.96
Nº200	0,074	69.59	14.62	49.66	50.34
Cazoleta	0.01	239.67	50.34	100.00	0.00

CURVA GRANULOMETRICA



Cu=	3.45	Cc=	1.14
-----	------	-----	------

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO EN SECO
NORMA:	MTC E 107 / ASTM D421
TESIS:	"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

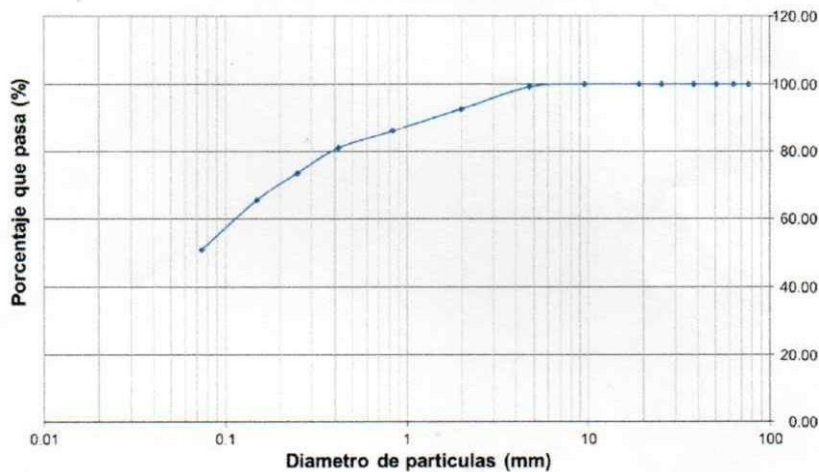
CALICATA:	C-2	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén	COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro		
FECHA DE MUESTREO:	18/02/2023	RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza		
FECHA DE ENSAYO:	28/02/2023	REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez		

Peso muestra seca, Ws 469.30 gr

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO EN SECO

mall	Abertura	P.R.	% RP	% RA	% que
Nº4	4,76	3.80	0.81	0.81	99.19
Nº10	2	30.90	6.58	7.39	92.61
Nº20	0,84	30.46	6.49	13.88	86.12
Nº30	0,59	15.83	3.37	17.25	82.75
Nº40	0,42	8.26	1.76	19.01	80.99
Nº60	0,25	35.00	7.46	26.47	73.53
Nº100	0,15	37.79	8.05	34.52	65.48
Nº200	0,074	68.59	14.62	49.14	50.86
Cazoleta	0.01	238.67	50.86	100.00	0.00

CURVA GRANULOMETRICA



Cu=	3.44	Cc=	1.13
-----	------	-----	------

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO MEDIANTE TAMIZADO EN SECO

NORMA: MTC E 107 / ASTM D421

TESIS: "INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

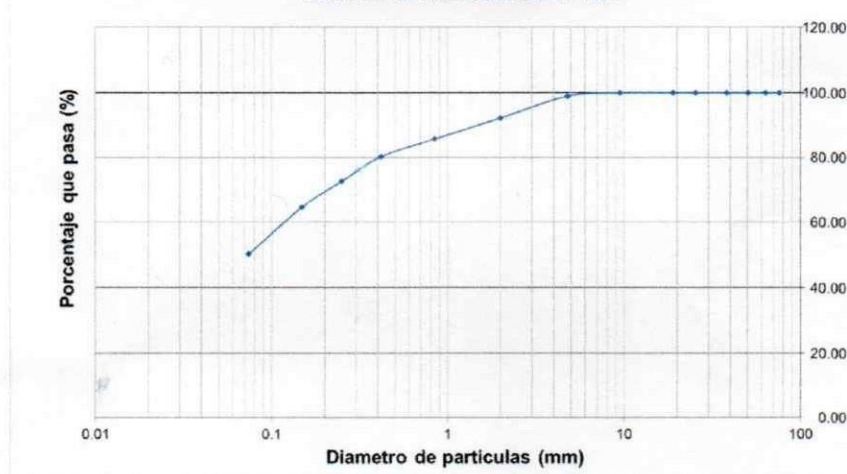
CALICATA:	C-3	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	18/02/2023			RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	28/02/2023			REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez

Peso muestra seca, Ws 478.12 gr

GRANULOMETRIA POR TAMIZADO EN SECO

malla	Abertura	P.R.	% RP	% RA	% que
Nº4	4,76	5.01	1.05	1.05	98.95
Nº10	2	32.20	6.73	7.78	92.22
Nº20	0,84	31.50	6.59	14.37	85.63
Nº30	0,59	17.20	3.60	17.97	82.03
Nº40	0,42	8.65	1.81	19.78	80.22
Nº60	0,25	36.70	7.68	27.46	72.54
Nº100	0,15	37.80	7.91	35.37	64.63
Nº200	0,074	68.90	14.41	49.78	50.22
Cazoleta	0.01	240.16	50.22	100.00	0.00

CURVA GRANULOMETRICA



Cu=	3.46	Cc=	1.15
-----	------	-----	------

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:

LÍMITES DE PLASTICIDAD

NORMA:

ASTM D4318 / NTP E339.130 – NTP E111

TESIS:

"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

CALICATA:	C-1	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos	
UBICACIÓN:	Jaén		COLOR DE MATERIAL:			Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	18/02/2023		RESPONSABLE:			Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	01/03/2023		REVISADO POR:			Jorge Luis Hoyos Martínez

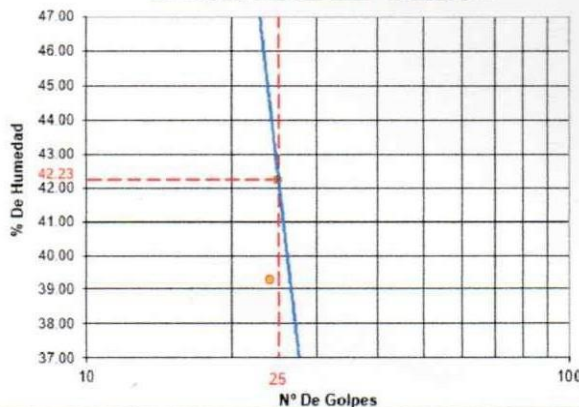
DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente		LL1	LL2	LL3
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	64.42	63.9	64.4
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	56.2	54.41	51.3
D	Peso de Recipiente	gr	30.21	30.23	30.29
E	Peso del Agua	gr	8.22	9.49	13.10
F	Peso Suelo Seco	gr	25.99	24.18	21.01
G	Número de Golpes	N	32.00	24.00	18.00
H	Contenido de Humedad	%	31.63	39.25	62.35

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	identificación de Recipiente		LP1	LP2	LP3
B	Suelo Húmedo + Tara	gr	33.64	33.2	32.4
C	Suelo Seco + Tara	gr	32.96	32.61	32
D	Peso de Tara	gr	30.24	30.21	30.29
E	Peso del Agua	gr	0.68	0.59	0.40
F	Peso Suelo Seco	gr	2.72	2.40	1.71
G	Contenido de Humedad	%	25.00	24.58	23.39
H	Promedio Limite Plástico		24.33		

DIAGRAMA DE FLUIDEZ - CALICATA 1



Límite Líquido:	LL =	42.23%
Límite Plástico:	LP =	24.33%
Índice de Plasticidad:	IP =	17.90%
Contenido de Humedad:	Wn =	16.91%
Grado de Consistencia:	Kw =	1.41

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:

LÍMITES DE PLASTICIDAD

NORMA:

ASTM D4318 / NTP E339.130 – NTP E111

TESIS:

"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

CALICATA:	C-2	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos	
UBICACIÓN:	Jaén		COLOR DE MATERIAL:			Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	18/02/2023		RESPONSABLE:			Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	01/03/2023		REVISADO POR:			Jorge Luis Hoyos Martínez

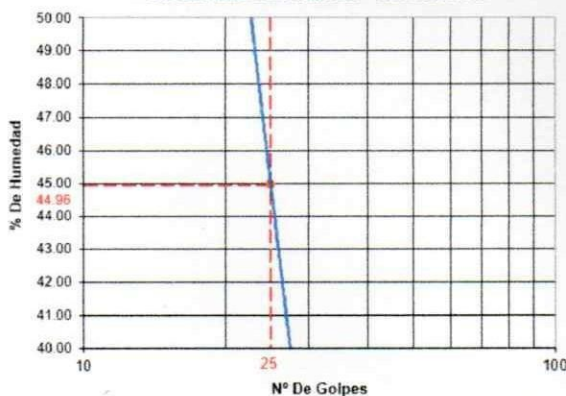
DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente		LL1	LL2	LL3
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	64.43	63.96	64.3
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	56.1	54.47	51.4
D	Peso de Recipiente	gr	30.29	30.27	30.3
E	Peso del Agua	gr	25.81	24.20	21.10
F	Peso Suelo Seco	gr	8.33	9.49	12.90
G	Número de Golpes	N	33.00	26.00	19.00
H	Contenido de Humedad	%	32.27	39.21	61.14

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	identificación de Recipiente		LP1	LP2	LP3
B	Suelo Húmedo + Tara	gr	33.59	33.24	32.5
C	Suelo Seco + Tara	gr	32.96	32.63	32.05
D	Peso de Tara	gr	30.26	30.28	30.2
E	Peso del Agua	gr	2.70	2.35	1.85
F	Peso Suelo Seco	gr	0.63	0.61	0.45
G	Contenido de Humedad	%	23.33	25.96	24.32
H	Promedio Limite Plástico		24.54		

DIAGRAMA DE FLUIDEZ - CALICATA 2



Límite Líquido:	LL =	44.96%
Límite Plástico:	LP =	24.54%
Índice de Plasticidad:	IP =	20.42%
Contenido de Humedad:	Wn =	17.15%
Grado de Consistencia:	Kw =	1.36

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:

LÍMITES DE PLASTICIDAD

NORMA:

ASTM D4318 / NTP E339.130 – NTP E111

TESIS:

"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

CALICATA:	C-3	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	18/02/2023		RESPONSABLE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza		
FECHA DE ENSAYO:	01/03/2023		REVISADO POR: Jorge Luis Hoyos Martínez		

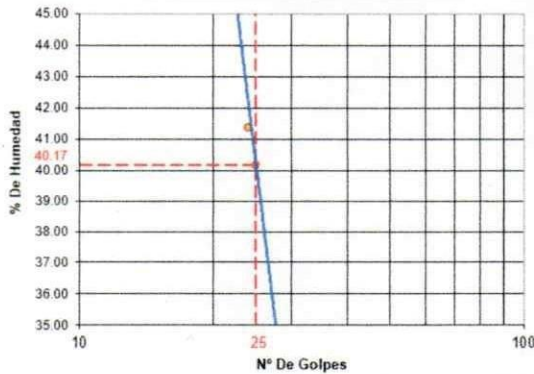
DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente		LL1	LL2	LL3
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	66.5	67.9	69.8
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	58.53	56.9	55.4
D	Peso de Recipiente	gr	30.25	30.3	30.2
E	Peso del Agua	gr	28.28	26.60	25.20
F	Peso Suelo Seco	gr	7.97	11.00	14.40
G	Número de Golpes	N	32.00	24.00	18:00
H	Contenido de Humedad	%	28.18	41.35	57.14

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	identificación de Recipiente		LP1	LP2	LP3
B	Suelo Húmedo + Tara	gr	33.6	33.22	32.5
C	Suelo Seco + Tara	gr	32.96	32.63	32.05
D	Peso de Tara	gr	30.26	30.28	30.2
E	Peso del Agua	gr	0.64	0.59	0.45
F	Peso Suelo Seco	gr	2.70	2.35	1.85
G	Contenido de Humedad	%	23.70	25.11	24.32
H	Promedio Limite Plástico		24.38		

DIAGRAMA DE FLUIDEZ - CALICATA 3



Límite Líquido:	LL = 40.17%
Límite Plástico:	LP = 24.38%
Índice de Plasticidad:	IP = 15.79%
Contenido de Humedad:	Wn = 17.04%
Grado de Consistencia:	Kw = 1.46

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:

LÍMITES DE PLASTICIDAD

NORMA:

ASTM D4318 / NTP E339.130 - NTP E111

TESIS:

"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 0% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	18/02/2023			RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	02/03/2023			REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez

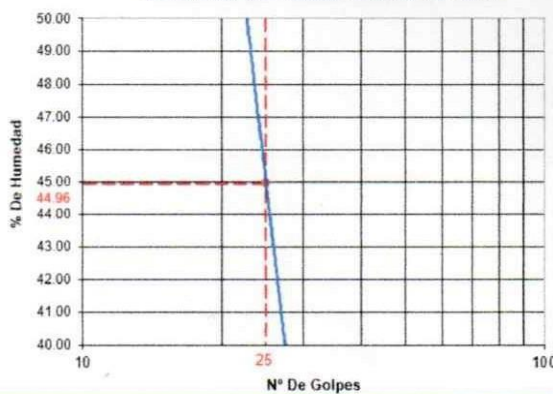
DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente		LL1	LL2	LL3
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	64.43	63.96	64.3
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	56.1	54.47	51.4
D	Peso de Recipiente	gr	30.29	30.27	30.3
E	Peso del Agua	gr	25.81	24.20	21.10
F	Peso Suelo Seco	gr	8.33	9.49	12.90
G	Número de Golpes	N	33.00	26.00	19:00
H	Contenido de Humedad	%	32.27	39.21	61.14

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente		LP1	LP2	LP3
B	Suelo Húmedo + Tara	gr	33.59	33.24	32.5
C	Suelo Seco + Tara	gr	32.96	32.63	32.05
D	Peso de Tara	gr	30.26	30.28	30.2
E	Peso del Agua	gr	2.70	2.35	1.85
F	Peso Suelo Seco	gr	0.63	0.61	0.45
G	Contenido de Humedad	%	23.33	25.96	24.32
H	Promedio Limite Plástico		24.54		

DIAGRAMA DE FUIDEZ CON 0% DE C.H.P



Límite Líquido:	LL =	44.96%
Límite Plástico:	LP =	24.54%
Índice de Plasticidad:	IP =	20.42%
Contenido de Humedad:	Wn =	17.15%
Grado de Consistencia:	Kw =	1.36

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	LÍMITES DE PLASTICIDAD
NORMA:	ASTM D4318 / NTP E339.130 – NTP E111
TESIS:	"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 5% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	18/02/2023			RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	02/03/2023			REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez

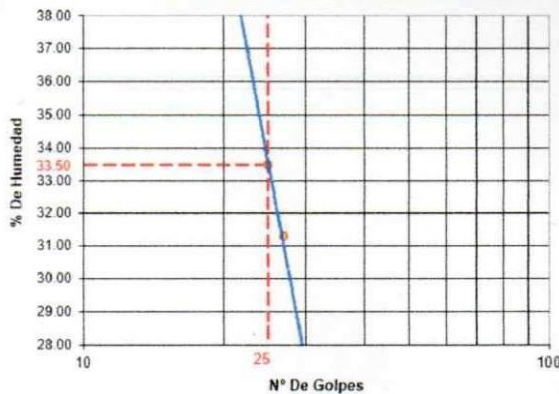
DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente		LL1	LL2	LL3
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	66.50	67.90	69.80
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	60.15	58.94	58.00
D	Peso de Recipiente	gr	30.25	30.30	30.20
E	Peso del Agua	gr	29.90	28.64	27.80
F	Peso Suelo Seco	gr	6.35	8.96	11.80
G	Número de Golpes	N	36.00	27.00	19.00
H	Contenido de Humedad	%	21.24	31.28	42:45

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	identificación de Recipiente		LP1	LP2	LP3
B	Suelo Húmedo + Tara	gr	33.62	33.10	32.49
C	Suelo Seco + Tara	gr	32.98	32.57	32.05
D	Peso de Tara	gr	30.23	30.21	30.24
E	Peso del Agua	gr	2.75	2.36	1.81
F	Peso Suelo Seco	gr	0.64	0.53	0.44
G	Contenido de Humedad	%	23.27	22.46	24.31
H	Promedio Limite Plástico		23.35		

DIAGRAMA DE FUIDEZ CON 5% DE C.H.P



Límite Líquido:	LL = 33.50%
Límite Plástico:	LP = 23.35%
Índice de Plasticidad:	IP = 10.16%
Contenido de Humedad:	W _n = 17.15%
Grado de Consistencia:	K _w = 1.61

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 21/04/2023	FECHA: 21/04/2023	FECHA: 21/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:

LÍMITES DE PLASTICIDAD

NORMA:

ASTM D4318 / NTP E339.130 – NTP E111

TESIS:

"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 7.5% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	18/02/2023			RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	03/03/2023			REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez

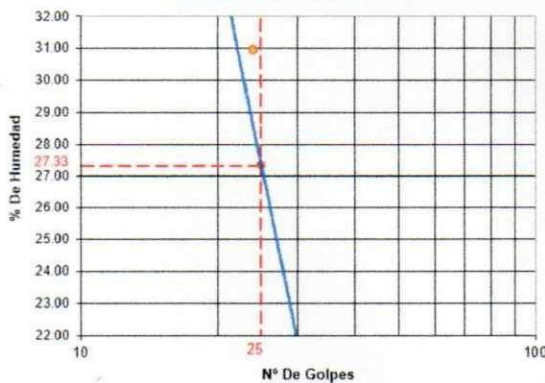
DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente		LL1	LL2	LL3
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	61.8	66.7	67.5
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	57	58.1	58
D	Peso de Recipiente	gr	30.23	30.29	30.29
E	Peso del Agua	gr	4.80	8.60	9.50
F	Peso Suelo Seco	gr	26.77	27.81	27.71
G	Número de Golpes	N	33.00	24.00	19.00
H	Contenido de Humedad	%	17.93	30.92	34.28

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	identificación de Recipiente		LP1	LP2	LP3
B	Suelo Húmedo + Tara	gr	33.5	33.08	32.4
C	Suelo Seco + Tara	gr	32.98	32.6	32.05
D	Peso de Tara	gr	30.24	30.22	30.29
E	Peso del Agua	gr	0.52	0.48	0.35
F	Peso Suelo Seco	gr	2.74	2.38	1.76
G	Contenido de Humedad	%	18.98	20.17	19.89
H	Promedio Limite Plástico		19.68		

DIAGRAMA DE FUIDEZ CON 7.5% DE C.H.P



Límite Líquido:	LL = 27.33%
Límite Plástico:	LP = 19.68%
Índice de Plasticidad:	IP = 7.66%
Contenido de Humedad:	Wn = 17.15%
Grado de Consistencia:	Kw = 1.33

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 21/04/2023	FECHA: 21/04/2023	FECHA: 21/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:

LÍMITES DE PLASTICIDAD

NORMA:

ASTM D4318 / NTP E339.130 – NTP E111

TESIS:

"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 10% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	18/02/2023			RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	03/03/2023			REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez

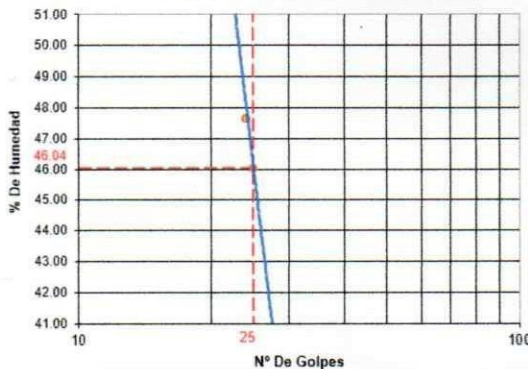
DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente		LL1	LL2	LL3
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	69.1	69	71
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	59.76	56.5	55.16
D	Peso de Recipiente	gr	30.29	30.3	30.25
E	Peso del Agua	gr	29.47	26.23	24.91
F	Peso Suelo Seco	gr	9.34	12.50	15.84
G	Número de Golpes	N	33.00	24.00	18.00
H	Contenido de Humedad	%	31.69	47.66	63.59

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	identificación de Recipiente		LP1	LP2	LP3
B	Suelo Húmedo + Tara	gr	33.7	33.2	32.5
C	Suelo Seco + Tara	gr	33	32.62	32.07
D	Peso de Tara	gr	30.27	30.28	30.27
E	Peso del Agua	gr	2.73	2.34	1.80
F	Peso Suelo Seco	gr	0.70	0.58	0.43
G	Contenido de Humedad	%	25.64	24.79	23.89
H	Promedio Limite Plástico		24.77		

DIAGRAMA DE FUIDEZ CON 10% DE C.H.P



Límite Líquido:	LL =	46.04%
Límite Plástico:	LP =	24.77%
Índice de Plasticidad:	IP =	21.27%
Contenido de Humedad:	Wn =	17.15%
Grado de Consistencia:	Kw =	1.36

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

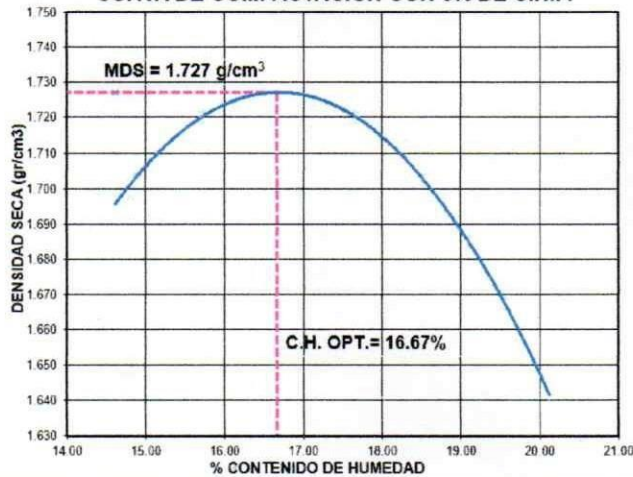
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141
TESIS:	"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 0% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	04/03/2023			RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	07/03/2023			REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

ID	DESCRIPCIÓN		1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	3982.25		3982.25		3982.25		3982.25	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5876.00		5930.00		5955.00		5899.00	
C	Peso Muestra Húmeda	gr	1893.75		1947.75		1972.75		1916.75	
D	Volumen Muestra húmeda	cm3	973		973		973		973	
F	Densidad húmeda; Dh	gr/cm3	1.946		2.002		2.027		1.970	
G	Recipiente		a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	27.42	28.12	27.42	27.19	27.19	28.12	27.42	28.12
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	133.77	132.25	115.87	115.84	132.25	133.77	132.25	115.84
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	120.20	118.98	103.45	103.40	116.00	117.40	114.70	101.14
K	Peso del Agua	gr	13.57	13.27	12.42	12.44	16.25	16.37	17.55	14.70
L	Peso Muestra seca	gr	92.8	90.9	76.0	76.2	88.8	89.3	87.3	73.0
M	Contenido de Humedad W%	%	14.63	14.60	16.34	16.32	18.30	18.34	20.11	20.13
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	14.62		16.33		18.32		20.12	
O	Densidad Seca; Ds	gr/cm3	1.698		1.721		1.713		1.640	

CURVA DE COMPACTACION CON 0% DE C.H.P.



Método de Compactación:	"A"	
Máxima Densidad Seca:	MDS =	1.727 gr/cm3
Contenido de humedad Óptimo:	C.H. OPT. =	16.67 %

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

NORMA:

MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141

TESIS:

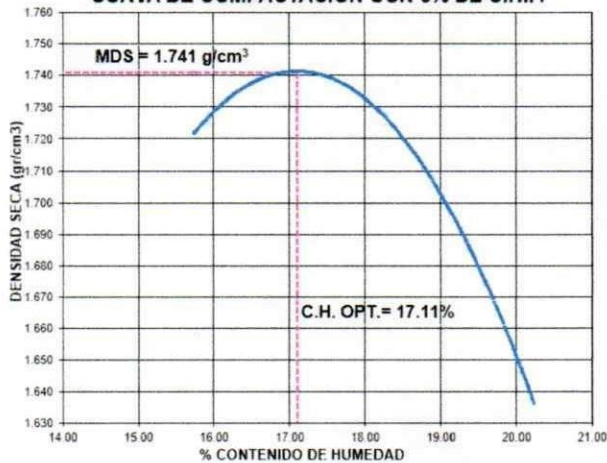
"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 5% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	04/03/2023			RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	08/03/2023			REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

ID	DESCRIPCIÓN		1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	3982.25		3982.25		3982.25		3982.25	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5922.00		5970.00		5942.00		5895.00	
C	Peso Muestra Húmeda	gr	1939.75		1987.75		1959.75		1912.75	
D	Volumen Muestra húmeda	cm ³	973		973		973		973	
F	Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	1.993		2.043		2.014		1.966	
G	Recipiente		a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	27.42	28.12	27.42	27.19	27.19	28.12	27.42	28.12
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	132.25	115.84	115.87	115.84	132.25	133.77	132.25	115.84
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	118.00	103.90	102.68	102.60	115.18	116.58	114.60	101.08
K	Peso del Agua	gr	14.25	11.94	13.19	13.24	17.07	17.19	17.65	14.76
L	Peso Muestra seca	gr	90.6	75.8	75.3	75.4	88.0	88.5	87.2	73.0
M	Contenido de Humedad W%	%	15.73	15.76	17.53	17.56	19.40	19.43	20.25	20.23
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	15.74		17.54		19.42		20.24	
O	Densidad Seca; D _s	gr/cm ³	1.722		1.738		1.686		1.635	

CURVA DE COMPACTACION CON 5% DE C.H.P.



Método de Compactación:	"A"
Máxima Densidad Seca:	MDS = 1.741 gr/cm ³
Contenido de humedad Optimo:	C.H. OPT. = 17.11 %

OBSERVACIONES:

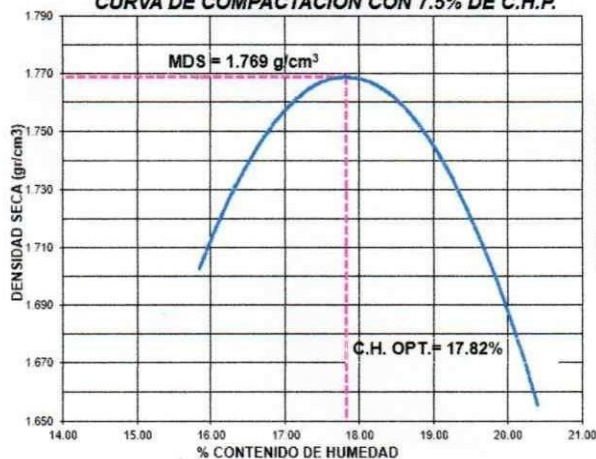
RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023

 UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE	LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
	PROTOCOLO			
	ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
	NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141		
TESIS:	"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"			
SUELO:	Con 7.5% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL: Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén		COLOR DE MATERIAL: Marrón Claro	
FECHA DE MUESTREO:	04/03/2023		RESPONSABLE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	
FECHA DE ENSAYO:	09/03/2023		REVISADO POR: Jorge Luis Hoyos Martínez	

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO



ID	DESCRIPCIÓN		1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	3982.25		3982.25		3982.25		3982.25	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5903.00		6005.00		6008.00		5920.00	
C	Peso Muestra Húmeda	gr	1920.75		2022.75		2025.75		1937.75	
D	Volumen Muestra húmeda	cm3	973		973		973		973	
F	Densidad húmeda; Dh	gr/cm3	1.974		2.079		2.082		1.991	
G	Recipiente		a		b		a		b	
H	Peso Recipiente	gr	27.19	28.12	27.19	27.19	27.19	28.12	27.42	28.12
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	132.40	115.90	116.15	116.03	132.25	133.77	132.25	115.84
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	118.00	103.90	102.68	102.60	115.42	116.88	114.48	100.98
K	Peso del Agua	gr	14.40	12.00	13.47	13.43	16.83	16.89	17.77	14.86
L	Peso Muestra seca	gr	90.8	75.8	75.5	75.4	88.2	88.8	87.1	72.9
M	Contenido de Humedad W%	%	15.86	15.84	17.84	17.81	19.08	19.03	20.41	20.40
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	15.85		17.83		19.05		20.40	
O	Densidad Seca; Ds	gr/cm3	1.704		1.764		1.749		1.654	

CURVA DE COMPACTACION CON 7.5% DE C.H.P.



Método de Compactación:	"A"	
Máxima Densidad Seca:	MDS =	1.769 gr/cm ³
Contenido de humedad Óptimo:	C.H. OPT. =	17.82 %

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

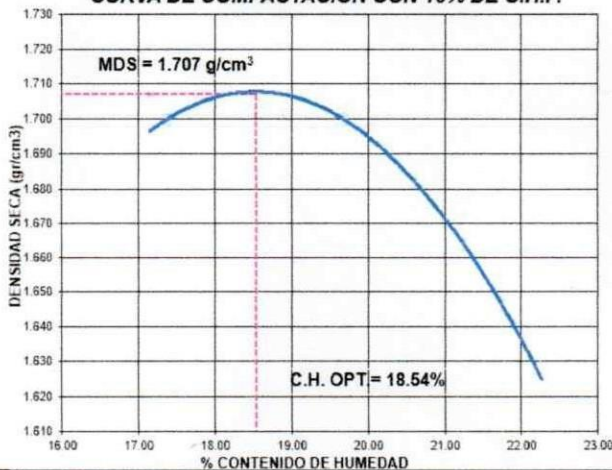
ENSAYO:	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO
NORMA:	MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141
TESIS:	"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 10% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	04/03/2023			RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	10/03/2023			REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez

COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO

ID	DESCRIPCIÓN		1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	3982.25		3982.25		3982.25		3982.25	
B	Peso Muestra Húmeda + Molde	gr	5915.00		5964.00		5930.00		5921.00	
C	Peso Muestra Húmeda	gr	1932.75		1981.75		1947.75		1938.75	
D	Volumen Muestra húmeda	cm3	973		973		973		973	
F	Densidad húmeda; Dh	gr/cm3	1.986		2.037		2.002		1.992	
G	Recipiente		a	b	a	b	a	b	a	b
H	Peso Recipiente	gr	28.12	27.42	27.42	27.19	27.19	28.12	27.42	28.12
I	Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	132.25	115.84	115.87	115.84	132.25	133.77	132.25	115.84
J	Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	117.00	102.90	101.60	101.56	113.60	115.06	113.20	99.84
K	Peso del Agua	gr	15.25	12.94	14.27	14.28	18.65	18.71	19.05	16.00
L	Peso Muestra seca	gr	88.9	75.5	74.2	74.4	86.4	86.9	85.8	71.7
M	Contenido de Humedad W%	%	17.16	17.14	19.24	19.20	21.58	21.52	22.21	22.31
N	Promedio Contenido de humedad Óptimo	%	17.15		19.22		21.55		22.26	
O	Densidad Seca; Ds	gr/cm3	1.695		1.708		1.647		1.630	

CURVA DE COMPACTACION CON 10% DE C.H.P.



Método de Compactación:	"A"
Máxima Densidad Seca:	MDS = 1.707 gr/cm3
Contenido de humedad Optimo:	C.H. OPT. = 18.54 %

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR

NORMA:

MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429

TESIS:

"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 0% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	04/03/2023			RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	14/03/2023			REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR

DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
N° Golpes		5		5		5	
N° Golpes por Capa		13		27		55	
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.
Peso Molde	gr	6946.00	6946.00	7158.00	7158.00	7205.00	7205.00
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	11343	11500	11844	11950	11972	12100
Peso Muestra húmeda	gr	4397.00	4554.00	4686.00	4792.00	4767.00	4895.00
Volumen Muestra húmeda	cm ³	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61
Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	1.89	1.96	2.02	2.06	2.05	2.11

CONTENIDO DE HUMEDAD

Ensayo	N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	27.42	28.12	27.42	27.19	27.19	28.12	27.42	28.12	27.42
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	132.25	115.84	115.87	115.84	132.25	133.77	132.25	115.84	132.25
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	117.05	103.10	100.75	103.08	117.10	116.00	117.45	103.45	114.60
Peso del Agua	gr	15.20	12.74	15.12	12.76	15.15	17.77	14.80	12.39	17.65
Peso Muestra Seca	gr	89.63	74.98	73.33	75.89	89.91	87.88	90.03	75.33	87.18
Contenido de Humedad; W%	%	16.96	16.99	20.62	16.81	16.85	20.22	16.44	16.45	20.25
Promedio Contenido de Humedad	%	16.97		20.62	16.83		20.22	16.44		20.25
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	1.618	1.626	1.727	1.716	1.763	1.753			

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
Horas	Días	Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
		Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%
0	0	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0	0.000	0.00	0
24	1	1.400	35.560	19.98	1.330	33.782	18.98	1.260	32.00	17.98
48	2	1.560	39.624	22.26	1.510	38.354	21.55	1.400	35.56	19.98
72	3	1.680	42.672	23.97	1.620	41.148	23.12	1.600	40.64	22.83
96	4	1.760	44.704	25.11	1.750	44.450	24.97	1.680	42.67	23.97

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR

NORMA:

MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429

TESIS:

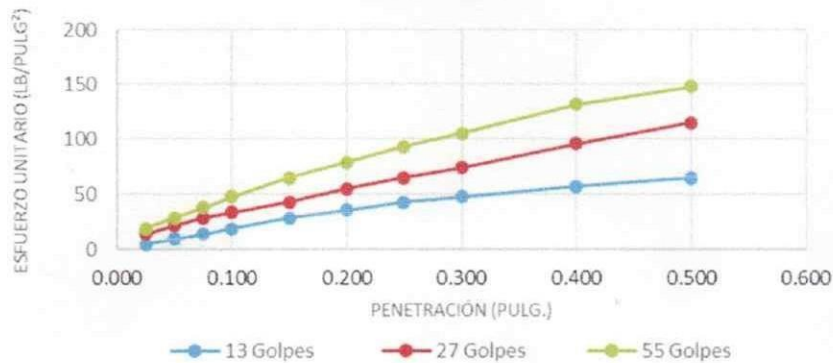
"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 0% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	04/03/2023			RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	18/03/2023			REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez

CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulg	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	6.80	0.34	4.78	20.41	1.01	14.33	27.22	1.34	19.11
1.27	0.050	13.61	0.67	9.55	30.62	1.51	21.50	40.82	2.02	28.66
1.91	0.075	20.41	1.01	14.33	40.82	2.02	28.66	54.43	2.69	38.22
2.54	0.100	27.22	1.34	19.11	47.63	2.35	33.44	68.04	3.36	47.77
3.81	0.150	40.82	2.02	28.66	61.24	3.02	42.99	91.85	4.53	64.49
5.08	0.200	51.03	2.52	35.83	78.24	3.86	54.94	112.26	5.54	78.82
6.35	0.250	61.24	3.02	42.99	91.85	4.53	64.49	132.68	6.55	93.15
7.62	0.300	68.04	3.36	47.77	105.46	5.21	74.04	149.69	7.39	105.10
10.16	0.400	81.65	4.03	57.32	136.08	6.72	95.54	187.11	9.24	131.37
12.70	0.500	91.85	4.53	64.49	163.29	8.06	114.65	210.92	10.41	148.09

CURVA ESFUERZO PENETRACION DEL SUELO CON 0% DE CHP



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR

NORMA:

MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429

TESIS:

"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 5% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén		COLOR DE MATERIAL: Marrón Claro		
FECHA DE MUESTREO:	04/03/2023		RESPONSABLE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza		
FECHA DE ENSAYO:	17/03/2023		REVISADO POR: Jorge Luis Hoyos Martínez		

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR

DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
N° Golpes		5		5		5	
N° Golpes por Capa		13		27		55	
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.
Peso Molde	gr	6946.00	6946.00	7158.00	7158.00	7205.00	7205.00
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	11402	11600	11882	12100	11950	12150
Peso Muestra húmeda	gr	4456.00	4654.00	4724.00	4942.00	4745.00	4945.00
Volumen Muestra húmeda	cm ³	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61
Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	1.92	2.00	2.03	2.13	2.04	2.13

CONTENIDO DE HUMEDAD

Ensayo	N°	1- A	1- B	1- C	2- A	2- B	2- C	3- A	3- B	3- C
Peso Recipiente	gr	27.42	28.12	27.42	27.19	27.19	28.12	27.42	28.12	27.42
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	132.25	115.84	115.87	115.84	132.25	133.77	132.25	115.84	132.25
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	116.80	103.10	101.00	102.70	117.10	116.00	116.40	103.45	115.00
Peso del Agua	gr	15.45	12.74	14.87	13.14	15.15	17.77	15.85	12.39	17.25
Peso Muestra Seca	gr	89.38	74.98	73.58	75.51	89.91	87.88	88.98	75.33	87.58
Contenido de Humedad; W%	%	17.29	16.99	20.21	17.40	16.85	20.22	17.81	16.45	19.70
Promedio Contenido de Humedad	%	17.14		20.21	17.13		20.22	17.13		19.70
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	1.638	1.667	1.737	1.770	1.744	1.779			

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
Horas	Días	Lectura Deforma.	Hinchamiento mm	Hinchamiento %	Lectura Deforma.	Hinchamiento mm	Hinchamiento %	Lectura Deforma.	Hinchamiento mm	Hinchamiento %
0	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.00	0
24	1	0.44	11.176	6.28	0.39	9.906	5.57	0.28	7.11	4.00
48	2	0.55	13.970	7.85	0.52	13.208	7.42	0.37	9.40	5.28
72	3	0.64	16.256	9.13	0.57	14.478	8.13	0.42	10.67	5.99
96	4	0.72	18.288	10.27	0.61	15.494	8.70	0.52	13.21	7.42

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR

NORMA:

MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429

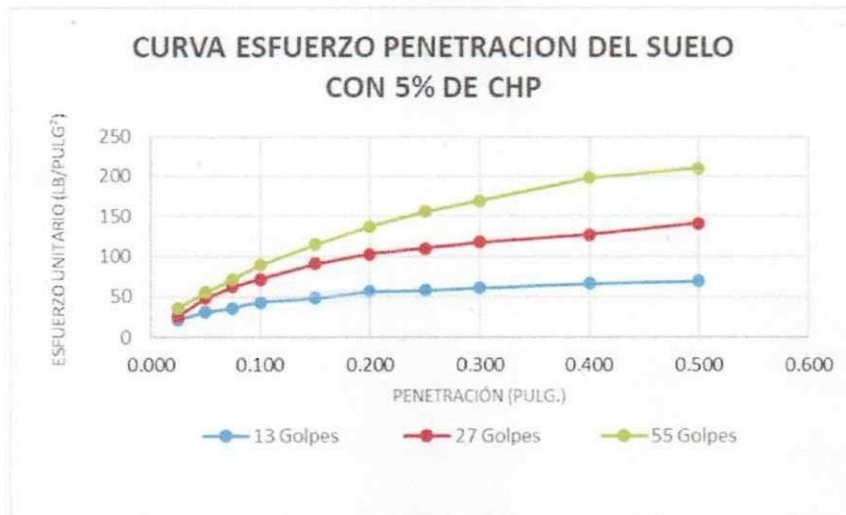
TESIS:

"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 5% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	04/03/2023			RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	21/03/2023			REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez

CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulg	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	30.62	1.51	21.50	37.42	1.85	26.27	51.03	2.52	35.83
1.27	0.050	44.23	2.18	31.05	68.04	3.36	47.77	78.24	3.86	54.94
1.91	0.075	51.03	2.52	35.83	88.45	4.37	62.10	102.06	5.04	71.66
2.54	0.100	61.24	3.02	42.99	102.06	5.04	71.66	126.89	6.26	89.09
3.81	0.150	68.04	3.36	47.77	128.59	6.35	90.29	163.29	8.06	114.65
5.08	0.200	80.97	4.00	56.85	146.28	7.22	102.71	194.59	9.61	136.62
6.35	0.250	82.67	4.08	58.04	156.49	7.72	109.87	221.13	10.92	155.25
7.62	0.300	86.75	4.28	60.91	166.70	8.23	117.04	240.86	11.89	169.11
10.16	0.400	94.57	4.67	66.40	180.30	8.90	126.59	282.36	13.94	198.25
12.70	0.500	98.66	4.87	69.27	200.71	9.91	140.92	299.37	14.78	210.19



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR
NORMA:	MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429
TESIS:	"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 7.5% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	04/03/2023			RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	21/03/2023			REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR

DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
N° Golpes		5		5		5	
N° Golpes por Capa		13		27		55	
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.
Peso Molde	gr	6946.00	6946.00	7158.00	7158.00	7205.00	7205.00
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	11375	11500	11918	12100	12055	12250
Peso Muestra húmeda	gr	4429.00	4554.00	4760.00	4942.00	4850.00	5045.00
Volumen Muestra húmeda	cm ³	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61
Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	1.91	1.96	2.05	2.13	2.09	2.17

CONTENIDO DE HUMEDAD

Ensayo	N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	27.42	28.12	27.42	27.19	27.19	28.12	27.42	28.12	27.42
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	133.50	115.84	117.00	117.00	132.25	134.00	133.60	115.84	133.00
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	117.40	102.60	102.00	103.20	116.50	117.00	116.94	103.00	116.00
Peso del Agua	gr	16.10	13.24	15.00	13.80	15.75	17.00	16.66	12.84	17.00
Peso Muestra Seca	gr	89.98	74.48	74.58	76.01	89.31	88.88	89.52	74.88	88.58
Contenido de Humedad; W%	%	17.89	17.78	20.11	18.16	17.64	19.13	18.61	17.15	19.19
Promedio Contenido de Humedad	%	17.83		20.11	17.90		19.13	17.88		19.19
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	1.618		1.632	1.738		1.786	1.771		1.822

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
Horas	Días	Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
		Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%
0	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.00	0
24	1	0.25	6.350	3.57	0.18	4.572	2.57	0.13	3.30	1.86
48	2	0.26	6.604	3.71	0.24	6.096	3.43	0.18	4.57	2.57
72	3	0.27	6.858	3.85	0.27	6.858	3.85	0.19	4.83	2.71
96	4	0.29	7.366	4.14	0.28	7.112	4.00	0.21	5.33	3.00

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

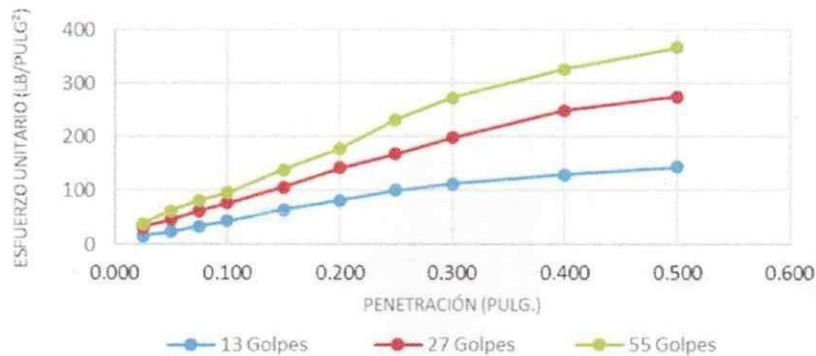
ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR
NORMA:	MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429
TESIS:	"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 7.5% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	04/03/2023			RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	24/03/2023			REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez

CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulg	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	23.81	1.18	16.72	44.23	2.18	31.05	54.43	2.69	38.22
1.27	0.050	34.02	1.68	23.89	64.64	3.19	45.38	88.45	4.37	62.10
1.91	0.075	47.63	2.35	33.44	88.45	4.37	62.10	115.67	5.71	81.21
2.54	0.100	61.24	3.02	42.99	108.86	5.37	76.43	136.08	6.72	95.54
3.81	0.150	91.85	4.53	64.49	149.69	7.39	105.10	197.31	9.74	138.54
5.08	0.200	115.67	5.71	81.21	200.71	9.91	140.92	251.74	12.43	176.75
6.35	0.250	142.88	7.05	100.32	238.14	11.76	167.20	329.99	16.29	231.69
7.62	0.300	159.89	7.89	112.26	282.36	13.94	198.25	387.82	19.14	272.29
10.16	0.400	183.71	9.07	128.98	353.80	17.46	248.41	466.07	23.01	327.23
12.70	0.500	204.12	10.08	143.31	391.22	19.31	274.68	523.90	25.86	367.83

CURVA ESFUERZO PENETRACION DEL SUELO CON 7.5% DE CHP



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

ENSAYO:

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR

NORMA:

MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429

TESIS:

"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 10% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén		COLOR DE MATERIAL: Marrón Claro		
FECHA DE MUESTREO:	04/03/2023		RESPONSABLE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza		
FECHA DE ENSAYO:	24/03/2023		REVISADO POR: Jorge Luis Hoyos Martínez		

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR

DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
Nº Golpes		5		5		5	
Nº Golpes por Capa		13		27		55	
Condición de Muestra		Antes	Despu.	Antes	Despu.	Antes	Despu.
Peso Molde	gr	6946.00	6946.00	7158.00	7158.00	7205.00	7205.00
Peso Muestra húmeda + Molde	gr	11410	11566	11973	12169	12025	12179
Peso Muestra húmeda	gr	4464.00	4620.00	4815.00	5011.00	4820.00	4974.00
Volumen Muestra húmeda	cm ³	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61	2322.61
Densidad húmeda; Dh	gr/cm ³	1.92	1.99	2.07	2.16	2.08	2.14

CONTENIDO DE HUMEDAD

Ensayo	Nº	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
Peso Recipiente	gr	27.42	28.12	27.42	27.19	27.19	28.12	27.42	28.12	27.42
Peso Muestra húmeda + Recipiente	gr	135.00	115.80	117.00	118.00	132.20	134.00	135.00	115.80	133.10
Peso Muestra Seca + Recipiente	gr	118.10	102.00	101.00	104.00	115.50	115.00	118.00	102.10	115.00
Peso del Agua	gr	16.90	13.80	16.00	14.00	16.70	19.00	17.00	13.70	18.10
Peso Muestra Seca	gr	90.68	73.88	73.58	76.81	88.31	86.88	90.58	73.98	87.58
Contenido de Humedad; W%	%	18.64	18.68	21.75	18.23	18.91	21.87	18.77	18.52	20.67
Promedio Contenido de Humedad	%	18.66		21.75	18.57		21.87	18.64		20.67
Densidad Máxima Seca; Ds	gr/cm ³	1.620		1.634	1.748		1.770	1.749		1.775

ENSAYO DE HINCHAMIENTO

TIEMPO ACUMULADO		MOLDE Nº 01			MOLDE Nº 02			MOLDE Nº 03		
Horas	Días	Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
		Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%	Deforma.	mm	%
0	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0	0	0.00	0
24	1	1.65	41.910	23.55	1.62	41.148	23.12	1.56	39.62	22.26
48	2	1.78	45.212	25.40	1.75	44.450	24.97	1.62	41.15	23.12
72	3	1.84	46.736	26.26	1.83	46.482	26.11	1.73	43.94	24.69
96	4	1.97	50.038	28.11	1.92	48.768	27.40	1.73	43.94	24.69

OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO

COORDINADOR DE LABORATORIO

ASESOR

NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza

NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez

NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez

FECHA: 22/04/2023

FECHA: 22/04/2023

FECHA: 22/04/2023



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA

PROTOCOLO

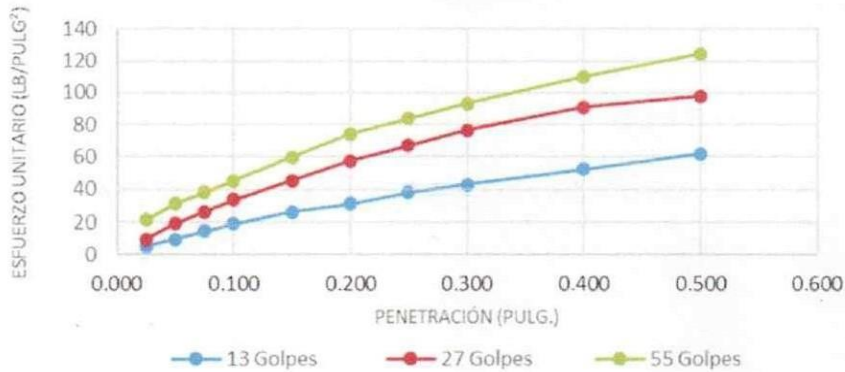
ENSAYO:	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR
NORMA:	MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429
TESIS:	"INCORPORACIÓN DE CENIZA DE HOJA DE PLÁTANO PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE EN SUELOS ARCILLOSOS, JAÉN 2022"

SUELO:	Con 10% de CHP	ESTRATO:	Subrasante	TIPO DE MATERIAL:	Suelos Arcillosos
UBICACIÓN:	Jaén			COLOR DE MATERIAL:	Marrón Claro
FECHA DE MUESTREO:	04/03/2023			RESPONSABLE:	Alexis Jhosimar Quijada Carranza
FECHA DE ENSAYO:	28/03/2023			REVISADO POR:	Jorge Luis Hoyos Martínez

CARGA - PENETRACIÓN

PENETRACIÓN		MOLDE N° 01			MOLDE N° 02			MOLDE N° 03		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulg	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²	kg	kg/cm ²	Lb/pl ²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	6.80	0.34	4.78	13.61	0.67	9.55	30.62	1.51	21.50
1.27	0.050	13.61	0.67	9.55	27.22	1.34	19.11	44.23	2.18	31.05
1.91	0.075	20.41	1.01	14.33	37.42	1.85	26.27	54.43	2.69	38.22
2.54	0.100	27.22	1.34	19.11	47.63	2.35	33.44	64.64	3.19	45.38
3.81	0.150	37.42	1.85	26.27	64.64	3.19	45.38	85.05	4.20	59.71
5.08	0.200	44.23	2.18	31.05	81.65	4.03	57.32	105.46	5.21	74.04
6.35	0.250	54.43	2.69	38.22	95.25	4.70	66.88	119.07	5.88	83.60
7.62	0.300	61.24	3.02	42.99	108.86	5.37	76.43	132.68	6.55	93.15
10.16	0.400	74.84	3.69	52.55	129.27	6.38	90.76	156.49	7.72	109.87
12.70	0.50	88.45	4.37	62.10	139.48	6.89	97.93	176.90	8.73	124.20

CURVA ESFUERZO PENETRACION DEL SUELO CON 10% DE CHP



OBSERVACIONES:

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Alexis Jhosimar Quijada Carranza	NOMBRE: Jorge Luis Hoyos Martínez	NOMBRE: Kely Elizabeth Núñez Vásquez
FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023	FECHA: 22/04/2023