

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Adición de ceniza de caña de azúcar en la estabilización
de suelos tropicales en el centro poblado Naranjal,
Selva Central - 2021**

Carmen Sara Ricra Huaman

Para optar el Título Profesional de
Ingeniera Civil

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por su guía, compañía y protección en el camino de la vida.

A mis padres Noé y Katty, que siempre estuvieron conmigo y me apoyaron en mi formación académica.

A mi hermana Pamela, que confía en mí y por darme ánimos para seguir adelante.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil, quienes contribuyeron en mi formación académica.

Al Dr. Ing. Juan José Bullón Rosas, por su necesaria guía en el desarrollo de la presente investigación.

DEDICATORIA

A mis padres y hermana quienes me apoyan en todo momento y confían en mí.

A Dios que me ayuda a mantener en pie.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I	14
PLANTAMIENTO DEL ESTUDIO	14
1.1. Planteamiento y formulación del problema.	14
1.1.1. Planteamiento del problema.....	14
1.1.2. Formulación del problema.	16
1.2. Objetivos.	17
1.2.1. Objetivo general.....	17
1.2.2. Objetivos específicos.	17
1.3. Justificación e importancia.....	17
1.3.1. Justificación.	17
1.3.2. Importancia.	18
1.4. Hipótesis y descripción de variables.	18
1.4.1. Hipótesis.	18
1.4.2. Descripción de variables.....	19
CAPÍTULO II	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1. Antecedentes del problema.	21
2.1.1. Antecedente internacional.	21
2.1.2. Antecedente nacional.....	26
2.2. Bases teóricas.	30
2.2.1. Adición de ceniza de caña de azúcar.	30

2.2.2. Estabilización de suelos tropicales.	33
2.2.3. Ensayos de laboratorio.....	49
2.3. Definición de términos básicos.	54
CAPÍTULO III.....	56
METODOLOGÍA.....	56
3.1. Métodos y alcance de la investigación.	56
3.1.1. Método de investigación.....	56
3.1.2. Tipo de investigación.....	56
3.1.3. Alcance de investigación.	56
3.2. Diseño de la investigación.	57
3.3. Población y muestra.	57
3.3.1. Población.	57
3.3.2. Muestra.	57
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	58
3.4.1. Técnicas.....	58
3.4.2. Instrumentos.	59
3.5. Procesamiento de datos.	59
3.5.1. Recojo de material en campo.....	59
3.5.2. Análisis granulométrico.....	62
3.5.3. Contenido de humedad.	63
3.5.4. Índice de plasticidad.	64
3.5.5. Proctor modificado – Máxima densidad seca y humedad.	65
3.5.6. CBR de suelos - Capacidad de soporte del suelo.	66
CAPÍTULO IV.....	70
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	70
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información.	70
4.1.1. Propiedades físicas del suelo.	70
4.1.2. Adición de ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical.....	72
4.1.3. Adición de ceniza de caña de azúcar en la capacidad de soporte del suelo tropical.	73

4.2. Prueba de hipótesis.....	75
4.2.1. Adición de ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical.....	75
4.2.2. Adición de ceniza de caña de azúcar en la capacidad de soporte del suelo tropical.....	81
4.3. Discusión de resultados.....	83
4.3.1. Propiedades físicas del suelo tropical.....	83
4.3.2. Adición de ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical.....	87
4.3.3. Adición de ceniza de caña de azúcar en la capacidad de soporte del suelo tropical.....	88
CONCLUSIONES.....	92
RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
ANEXOS.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables	20
Tabla 2. Composición química de la ceniza de bagazo de caña de azúcar	32
Tabla 3. Número de calicatas para exploración de suelos	34
Tabla 4. Número de ensayos de Mr y CBR	35
Tabla 5. Clasificación MCT de suelos	47
Tabla 6. Características de comportamiento de suelos tropicales.....	50
Tabla 7. Clasificación de suelos según tamaño de partícula.....	50
Tabla 8. Correlación de clasificación de suelos	50
Tabla 9. Clasificación del suelo según el índice de plasticidad.....	53
Tabla 10. Categorías de subrasante según CBR	54
Tabla 11. Tratamiento de muestras	58
Tabla 12. Análisis granulométrico del suelo natural	71
Tabla 13. Resumen de materiales del suelo	72
Tabla 14. Expansión y capacidad de soporte del suelo tropical natural - CBR.....	71
Tabla 15. Humedad natural del suelo tropical	72
Tabla 16. Índice de plasticidad del suelo tropical.....	72
Tabla 17. Ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical	73
Tabla 18. Capacidad de soporte del suelo tropical	74
Tabla 19. Expansión del suelo tropical	74
Tabla 20. Agrupación de datos – cuadrado latino: máxima densidad seca	75
Tabla 21. Distribución de variables – cuadrado latino: máxima densidad seca	75
Tabla 22. Ordenamiento de variables – cuadrado latino: máxima densidad seca	75
Tabla 23. Análisis de varianza – cuadrado latino: máxima densidad seca	76
Tabla 24. Prueba de Tukey – muestras: máxima densidad seca	77
Tabla 25. Prueba de Tukey – tratamientos: máxima densidad seca	78
Tabla 26. Agrupación de datos – cuadrado latino: humedad óptima.....	78
Tabla 27. Distribución de variables – cuadrado latino: humedad óptima.....	78
Tabla 28. Ordenamiento de variables – cuadrado latino: humedad óptima.....	80
Tabla 29. Análisis de varianza – cuadrado latino: humedad óptima	80
Tabla 30. Prueba de Tukey – muestras: humedad óptima	81

Tabla 31. Prueba de Tukey – tratamientos: humedad óptima.....	82
Tabla 32. Agrupación de datos – diseño de bloques completamente al azar: CBR.....	82
Tabla 33. Análisis de varianza – diseño de bloques completamente al azar: CBR	82
Tabla 34. Prueba de Tukey – tratamientos: CBR	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Simbología de suelos - clasificación AASHTO	36
Figura 2. Simbología de suelos - clasificación SUCS	36
Figura 3. Tipos de estabilización de suelos	40
Figura 4. Localización de zonas tropicales y áreas tibias	42
Figura 5. Región amazónica peruana y tipo de roca madre subyacente	43
Figura 6. Distribución climática de la selva peruana	44
Figura 7. Ubicación de suelos lateríticos a nivel mundial	46
Figura 8. Clasificación de suelos según AASHTO	51
Figura 9. Calicata en la Av. Jhan Franco Munier, C.P. Naranjal	61
Figura 10. Resistencia en seco del material fino del suelo	61
Figura 11. Dilatación y tenacidad del suelo	62
Figura 12. Serie de tamices	63
Figura 13. Ensayo de límite líquido	64
Figura 14. Ensayo de límite plástico	65
Figura 15. Ensayo de proctor modificado	66
Figura 16. CBR de suelos – muestras sumergidas	68
Figura 17. CBR de suelos – prueba de carga	70
Figura 18. Curva granulométrica del suelo	71
Figura 19. Ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical	73
Figura 20. Capacidad de soporte del suelo tropical	74

RESUMEN

La investigación titulada: “Adición de ceniza de caña de azúcar en la estabilización de suelos tropicales en el Centro Poblado Naranjal, Selva Central - 2021”, tuvo como objetivo general determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de azúcar en la estabilización de suelos tropicales en la Selva Central. El método de investigación fue científico, de tipo aplicado, con nivel explicativo y diseño experimental debido a la adición de ceniza de caña de azúcar en diferentes proporciones. La población estuvo delimitada por los suelos tropicales del distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo, Junín. La muestra estuvo representada por 240 Kg de suelo tropical de la Avenida Jhan Franco Munier del Centro Poblado Naranjal del distrito de San Ramón que pertenece a la provincia de Chanchamayo. Los resultados de la investigación demostraron que la proporción de 10% y 15% de ceniza de caña de azúcar logran estabilizar el suelo tropical a nivel de subrasante debido a que los valores de CBR obtenidos superaron el 6% mínimo para ser aceptada como subrasante, los cuales fueron 43.8% y 38.9% respectivamente. Se llegó a la conclusión que la ceniza de caña de azúcar influye significativamente en la estabilización de suelos tropicales de la selva central, debido al componente puzolánico de la misma que brinda resistencia al suelo tropical.

Palabras clave: Ceniza de caña de azúcar, estabilización, subrasante, suelo tropical.

ABSTRACT

The general objective of the research entitled: "Addition of sugar cane ash in the stabilization of tropical soils in the Naranjal Village Center, central jungle - 2021", was to determine the influence of the addition of sugar cane ash in the stabilization of tropical soils in the central jungle. The research method was scientific, applied, with an explanatory level and experimental design due to the addition of sugar cane ash in different proportions. The population was delimited by the tropical soils of the district of San Ramón, province of Chanchamayo, Junín. The sample was represented by 240 kg of tropical soil from Jhan Franco Munier Avenue, Naranjal Village, San Ramon district, which belongs to the province of Chanchamayo. The results of the investigation showed that the proportion of 10% and 15% of sugar cane ash stabilize the tropical soil at the subgrade level because the CBR values obtained exceeded the minimum 6% to be accepted as subgrade, which were 43.8% and 38.9% respectively. It was concluded that sugarcane ash has a significant influence on the stabilization of tropical soils in the central jungle, due to the pozzolanic component of the ash that provides resistance to the tropical soil.

Key words: Sugarcane ash, stabilization, subgrade, tropical soil.

INTRODUCCIÓN

La ceniza de caña de azúcar es un recurso muy utilizado para mejorar el pH de las tierras de los cultivos, esta se obtiene a partir del proceso de combustión de la caña de azúcar, que es controlado por las haciendas del distrito de San Ramón. Es importante mencionar que en los últimos años la producción de cenizas se ha incrementado, generando un aporte significativo en la investigación mediante la utilización de las cenizas en diferentes aplicaciones de la Ingeniería Civil.

La presente investigación tiene como objetivo mejorar la capacidad de soporte de la subrasante a partir de la estabilización de suelos tropicales con ceniza de caña de azúcar en las vías del distrito de San Ramón que no se encuentran pavimentadas. Teniendo en cuenta los aportes de las investigaciones realizadas por el Ing. Carrillo y los ensayos de caracterización realizados, se pudo determinar que el suelo tropical pertenece a la categoría de saprolitas arenosas. El desarrollo este estudio genera un aporte significativo en la sociedad, ya que permite beneficiar a transportistas, visitantes y comerciantes mediante una ruta de comunicación eficiente; desde el punto de vista metodológico contribuye a la adición de ceniza de caña de azúcar en un 5%; 10% y 15% respecto al peso de la muestra de suelo. Cabe destacar que las proporciones empleadas fueron asumidas según las investigaciones consultadas y que los suelos tropicales tienen diferentes comportamientos ante el incremento o reducción de agua u otro componente como la ceniza de caña de azúcar.

El desarrollo de esta indagación presenta en el Capítulo I el planteamiento del estudio, que sirvió como punto de partida para realizar la formulación del problema; se presentan los objetivos general y específicos que rigen la investigación para determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de azúcar en la estabilización de suelos tropicales en la Selva Central; se enuncia la justificación e importancia del presente estudio, así como hipótesis y descripción de variables; se adjunta, además, la tabla de operacionalización con las variables de estudio de ceniza de caña de azúcar y estabilización de suelos.

En el capítulo II se presenta el marco teórico, que contiene los antecedentes del problema teniendo en cuenta investigaciones anteriores (nacionales e internacionales), bases teóricas en las que se describieron los temas de adición de ceniza de caña de

azúcar, estabilización de suelos tropicales y ensayos de laboratorio según la normativa del *Ministerio de Transportes y Comunicaciones* (2014) que rige en la construcción de carreteras del Perú, así mismo se presentan la definición de términos básicos que cumplen la función de glosario de términos de la investigación.

En el capítulo III se muestra la metodología, se presenta el método y alcance de la investigación que fueron científico y aplicado respectivamente, el nivel explicativo por la manipulación de proporciones de ceniza de caña de azúcar. Se considera el diseño de la investigación experimental; se presenta a la población y muestra ubicadas en el distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo; se adjuntan, además, las técnicas e instrumentos de recolección de datos.

En el capítulo IV se explican los resultados y discusión, así como la prueba de hipótesis y discusiones de resultados en función del cumplimiento de los objetivos de la investigación. Así mismo se presentan las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos, en este último se muestra el panel fotográfico y los certificados de los ensayos realizados en el laboratorio.

CAPÍTULO I

PLANTAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema.

1.1.1. Planteamiento del problema.

El suelo es el material de construcción más abundante y empleado en las obras civiles, además de ser soporte en la mayoría de las estructuras de ingeniería civil, de ahí surge la necesidad de estudiar los suelos desde diferentes perspectivas y necesidades (1). Incluso el desarrollo de las vías de comunicación como carreteras, canales, obras de protección contra la acción erosiva de los ríos; colocaron al diseño y construcción de taludes en primer plano tanto en el aspecto de inversión como por las consecuencias derivadas de su falla (2).

A nivel mundial, el desarrollo del aspecto socioeconómico de los países se encuentra relacionado con la infraestructura vial ya que por medio de ella es posible realizar el traslado de personas e intercambio de productos y mercancías. Por lo cual es necesario que la infraestructura vial se encuentre en buenas condiciones para satisfacer las necesidades de la población; como educación, trabajo, alimentación y salud (3). Sin embargo, se debe mencionar que no todas las carreteras se encuentran en buen estado en todo el mundo, pues muchas de ellas tienen problemas de estabilidad de la subrasante debido al tipo de material y condiciones en las que se encuentra el suelo de la carretera (4). La baja resistencia del suelo ocasiona daños en las estructuras, ejemplo de ello es Estados Unidos donde los daños por presencia de suelos expansivos (suelos que presentan cambios volumétricos debido a la presencia del agua, típico de regiones

tropicales) alcanzan 1 billón de dólares al año; en Reino Unido, los daños ascienden a 150 millones de libras esterlinas al año y en el mundo los daños por baja resistencia del suelo ascienden a miles de millones al año. Por lo que, cuando un suelo no cumple con los requisitos de diseño se realizan procesos de modificación como la estabilización o sustitución del material con la finalidad de obtener un material mejorado (5).

En países de Latinoamérica como México y Colombia, los suelos con cierto contenido de arcilla, no cumplen con los requisitos para soportar cargas vehiculares, los cuales evidencian asentamientos y baches debido a la baja resistencia del mismo (6). Cabe resaltar que en estos países y otros de Latinoamérica los suelos tropicales presentan cierto contenido de material fino como arcillas y limos, cuyas propiedades geotécnicas son diferentes en cada país y región donde se encuentren (7). Por esta razón se han desarrollado estudios o investigaciones referentes a la estabilización de suelos expansivos con cal, ceniza, cemento, escorias, entre otros materiales. Los resultados obtenidos evidenciaron la mejora e incremento de la capacidad de soporte del suelo. Estos, a su vez, no fueron identificados como tropicales, sino como los suelos de climas fríos.

Según el *Anuario Estadístico del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2020)*, el Perú cuenta con un total de 175 520.7 Km de redes viales, de las cuales 28 964 Km son carreteras pavimentadas a nivel nacional, departamental y vecinal, así mismo se tienen 139 913.7 Km de carreteras no pavimentadas y 6 643 Km de carreteras se consideran en proyección (8). Teniendo en cuenta dicha información, se entiende que las carreteras sin pavimentar son abundantes en el Perú por lo que se requiere un mayor costo de inversión desde la subrasante hasta la capa de rodadura. En este sentido, la subrasante es el componente o capa que requiere de mayor inversión ya que en muchas ocasiones no cumple con los requisitos de una subrasante, ya sea para el reemplazo o mejoramiento del material por medio de la estabilización, para colocar el siguiente paquete estructural de vía.

Otro aspecto importante a destacar es que los suelos tropicales no son reconocidos como tal en el Perú, por lo que la estructuración de pavimentos sobre estos suelos presenta deficiencias en el desempeño de su vida útil (9), estos tienen diferentes características y propiedades a los suelos que se conocen comúnmente según la clasificación AASHTO y SUCS que corresponden a suelos de climas fríos como América del Norte,

Europa y parte del continente asiático (7). Sin embargo, investigaciones realizadas en algunas zonas tropicales del Perú, lograron estabilizar los suelos de subrasante con contenido representativo de arcillas, limos y arenas con cal, ceniza, cemento, entre otros agentes estabilizadores.

Los suelos tropicales actualmente no cumplen con los requisitos para garantizar la estabilidad de las carreteras viales, debido a que son suelos residuales. Además “estos materiales geotécnicos presentan contenidos de humedad natural superiores al óptimo de los ensayos de Proctor de Laboratorio” (10). El empleo de estos suelos en carreteras requiere de mejoramiento o reemplazo total lo que genera mayores inversiones. En la región Junín ocurren problemas de tránsito de los vehículos en las vías en épocas de lluvias y esta vulnerabilidad se incrementa por la presencia de los suelos tropicales con alto contenido de humedad, condiciones climáticas del lugar; sin olvidar la falta de prevención y mantenimiento de las vías por parte de las autoridades competentes.

En ese sentido la Avenida Jhan Franco Munier del Centro Poblado Naranjal del distrito de San Ramón, que pertenece a la provincia de Chanchamayo, no es ajena al problema de la estabilización de la subrasante que en la actualidad no se encuentra pavimentada; con la presente investigación se pretende determinar la influencia de la ceniza de caña de azúcar en la estabilización de suelos tropicales en la Selva Central. Por otro lado, es necesario mencionar que la ceniza de caña de azúcar proviene del proceso de combustión del bagazo de caña de azúcar.

1.1.2. Formulación del problema.

Problema general.

¿De qué manera influye la adición de ceniza de caña de azúcar en la estabilización de suelos tropicales en el Centro Poblado Naranjal, Selva Central - 2021?

Problemas específicos

- ¿Cuáles son las propiedades físicas del suelo tropical en el Centro Poblado Naranjal, Selva Central - 2021?
- ¿De qué manera influye la adición de ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical en el Centro Poblado Naranjal, Selva Central - 2021?

- ¿De qué forma influye la adición de ceniza de caña de azúcar en la capacidad de soporte del suelo tropical en el Centro Poblado Naranjal, Selva Central - 2021?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivo general.

- Determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de azúcar en la estabilización de suelos tropicales en el Centro Poblado Naranjal, Selva Central– 2021.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Identificar las propiedades físicas del suelo tropical en el Centro Poblado Naranjal, Selva Central – 2021.
- Determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical en el Centro Poblado Naranjal, Selva Central - 2021.
- Determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de azúcar en la capacidad de soporte del suelo tropical en el Centro Poblado Naranjal, Selva Central - 2021.

1.3. Justificación e importancia.

1.3.1. Justificación.

Justificación social.

Por medio de la adición de ceniza de caña de azúcar puede lograrse la estabilización del suelo tropical en la Selva Central, permitiendo un flujo vehicular normal, así como también el tránsito de las personas. Además, de generar ingresos por la producción de ceniza de caña de azúcar propio de la zona.

Justificación teórica.

La ceniza de caña de azúcar permite la estabilización del suelo tropical, por medio del incremento de la capacidad de soporte en la subrasante a la cual se pretende aplicar.

Justificación metodológica.

La estabilización de suelos tropicales, se realizará por medio de la adición de ceniza de caña de azúcar en proporciones de 5%; 10% y 15% respecto al peso de la muestra de

suelo, de lo cual podrá determinarse qué proporción logra una mejor estabilidad en el suelo tropical.

Justificación ambiental.

La ceniza que resulta del proceso de combustión del bagazo de caña de azúcar es utilizada en los riegos, junto al agua, para la mejora del pH del suelo, lo cual mejora el rendimiento y producción de la Hacienda Cañaverál. La presente investigación pretende que se dé un nuevo modo de aprovechamiento a la ceniza de caña de azúcar debido a que esta se produce en grandes cantidades y conviene emplearla en la estabilización de suelos tropicales propios de la zona.

1.3.2. Importancia.

La investigación es importante porque pretende reducir el desecho de cenizas de caña de azúcar en fuentes naturales (ríos, lagos, arroyos); propone otras aplicaciones, entre ellas su utilización para estabilizar la subrasante del Centro Poblado Naranjal, de la provincia Chanchamayo en beneficio de personas y transportistas de la zona.

1.4. Hipótesis y descripción de variables.

1.4.1. Hipótesis.

Hipótesis general.

La adición de caña de azúcar influye significativamente en la estabilización de suelos tropicales en la Selva Central.

Hipótesis específicas

- Las propiedades físicas del suelo permiten identificar el tipo de suelo, humedad natural e índice de plasticidad.
- La adición de ceniza de caña de azúcar influye significativamente en la máxima densidad seca y húmeda del suelo tropical.
- La adición de ceniza de caña de azúcar influye significativamente en la capacidad de soporte del suelo tropical.

1.4.2. Descripción de variables.

Variable independiente.

La ceniza de caña de azúcar, es un aditivo estabilizante muy fino, de tal manera que, su adición al suelo tropical, en diferentes porcentajes y respecto al peso del suelo, permite su estabilización; de este modo es posible evitar el retiro del material o el reemplazo por otro de mejor calidad, el cual tiene un alto costo para solucionar el problema de un suelo con alto contenido de humedad e índice de plasticidad y baja resistencia (11).

Variable dependiente.

La estabilización de suelos tropicales en la Selva Central se pretende lograr por medio de la adición de ceniza de caña de azúcar en diferentes porcentajes respecto al peso de la muestra de suelo (12).

En la siguiente tabla, se puede apreciar la operacionalización de variables.

Tabla 1. Operacionalización de variables.

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	ESCALA	INSTRUMENTOS
Variable independiente: Ceniza de caña de azúcar (11)	La ceniza muy fina es un subproducto del proceso de combustión de carbón pulverizado, generalmente asociado con plantas de generación de energía eléctrica. Es un polvo de grano fino que está compuesto por sílice, alúmina y varios óxidos y álcalis; además es de naturaleza puzolánica y puede reaccionar con cal hidratada para producir elementos cementantes. (11)	La variable de ceniza de caña de azúcar se operacionaliza con la adición de esta en el suelo tropical.	Adición de ceniza de caña de azúcar	Cantidad de ceniza de caña de azúcar	gr	Intervalo	Balanza digital con precisión de 0.01 g
				Tamaño máximo nominal de la ceniza de caña de azúcar	mm	Intervalo	Tamiz N° 200(ASTM D 422)
Variable dependiente: Estabilización de suelos (12)	La estabilización de suelos consiste en dotar a los mismos, de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación.” (Manual de Carreteras sección de suelos y pavimentos, 2014). (12)	La variable de estabilización de suelos se operacionaliza con los ensayos de proctor modificado y CBR.	Propiedades físicas del suelo	Análisis granulométrico	mm	Intervalo	Ficha de Granulometría por Tamizado (MTC E 107- 2016)
				Contenido de humedad	%	Intervalo	Ficha de Contenido de humedad (MTC E 108-2016)
				Límite líquido, Límite plástico	%	Intervalo	Ficha de Límite de Atterberg (MTC E 110 – 2000/ MTC E 111- 2016)
			Densidad seca y húmeda	Proctor modificado	gr/cm3	Intervalo	Ficha de Proctor Modificado (MTC E 115 – 2016)
			Capacidad de soporte del suelo	Ensayo CBR	%	Intervalo	Ficha de CBR en laboratorio (MTC E 132 – 2016)

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema.

2.1.1. Antecedente internacional.

CAÑAR, E. (2017) para obtener el título de Ingeniero Civil, sustentó la tesis titulada “Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón”. Con el objetivo de estabilizar dos suelos de diferentes propiedades con la combinación de un aditivo como la ceniza de carbón y la evaluación de la capacidad de soporte y la resistencia al corte mediante ensayos de laboratorio. El diseño de la investigación fue experimental ya que se realizaron ensayos de laboratorio, la muestra estuvo compuesta por 420.9 Kg de suelo arenoso fino y 421.7 Kg de suelos arcilloso. Para el desarrollo de la investigación se realizó la evaluación, la capacidad de soporte y la resistencia al corte, mediante ensayos de granulometría y límites de Atterberg para la identificación de los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y en cuanto a la capacidad de soporte (CBR) este se realizó mediante el ensayo de Proctor modificado para determinar la máxima densidad seca y humedad óptima para luego realizar el ensayo de CBR; cabe resaltar que los ensayos se realizaron con las combinaciones de 20%; 23% y 25% de cenizas de carbón. Como resultado de la investigación se obtuvo que para un suelo compuesto por arena con limos se logra un mayor valor de soporte CBR de 19.6% con una adición de ceniza

de carbón del 25%. Llegó a la conclusión que la utilización de cenizas de carbón al 25% del peso del suelo favorece en mayor medida a la estabilización de los suelos arenosos finos (13).

GONZÁLEZ, A. (2014) para obtener el título de Ingeniero Civil, sustentó la tesis titulada “Estabilización mecánica de suelos cohesivos a través de la utilización de cal – ceniza volante”. Con el objetivo de determinar la factibilidad de la estabilización de los suelos cohesivos por medio de ceniza volante y cal. El diseño de la investigación fue experimental, la muestra estuvo compuesta por tres grupos entre ellos: suelo limoso de alta plasticidad al 100%; suelo limoso al 80% + 3% de cal + 17% de ceniza; y suelo limoso 80% + 5% de cal + 15% de ceniza. Para el desarrollo de la investigación, se realizaron ensayos de laboratorio como límites de Atterberg, Proctor, valor soporte – CBR, granulometría, gravedad específica, corte directo, corte triaxial y permeabilidad. Como resultado se obtuvo que para el ensayo de CBR éste se incrementa considerablemente para las muestras trabajadas. El investigador concluyó en que la segunda muestra de suelo limoso, al 80% + 5% de cal + 15% de ceniza, presentó un mejor resultado de valor soporte normal del suelo y que la adición de ceniza volante y cal mejora cuatro veces al valor inicial del CBR (14).

MORALES, D. (2015) para optar el título de Ingeniero Civil, sustentó el trabajo de grado titulado “Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas”. Dicha investigación evaluó el efecto del método de curado en el comportamiento mecánico de mezclas de suelo, adicionadas con ceniza de carbón y activadas alcalinamente, con el objetivo de determinar las mejores condiciones para su uso en vías no pavimentadas. El diseño de la investigación fue experimental, la muestra de la investigación estuvo compuesta por arcilla, suelo de Urrao y arenilla de la ciudad de Medellín. El desarrollo de la investigación se centró en la estabilización de suelos con ceniza proveniente de una industria ladrillera localizada en Medellín, también de la resistencia mecánica con el efecto del tipo de curado que contó con dos temperaturas, dos humedades, tres porcentajes de ceniza de carbón (7%; 14% y 21%) y tres tipos de suelos (arenilla, arcilla y suelo de Urrao) donde todas las muestras fueron ensayadas a los 7 días de curado; en cuanto a la resistencia mecánica esta se evaluó mediante ensayos de resistencia a la compresión no confinada en probetas de 5 cm de diámetro y 10 cm de altura que fueron elaboradas con densidad y humedad óptima obtenidas del ensayo de Proctor modificado

y fueron compactadas con un gato hidráulico. Respecto a los resultados de la investigación, estos demostraron que la mejor dosificación para humedades mayores al 95% era de 14% de ceniza de carbón utilizada y de 7% de humedad de ambiente. Llegó a la conclusión que la ceniza de carbón, para mezclarse con los suelos de arenilla, arcilla y suelo de Urrao, debe de ser tamizada por la malla N°100 o mayor y usar hidróxido de sodio en solución como activador alcalino a una concentración cercana a 8 MOLAR para obtener un material cementante con características comparables con la Norma INVIAS Artículo – 350.4.1 de Colombia (15).

COBOS, M., y otros (2019) en el informe de investigación titulado “Caracterización del comportamiento geotécnico de suelos de origen volcánico estabilizados con cenizas provenientes de cáscara de coco y cisco de café” evaluó el comportamiento geotécnico de suelos de origen volcánico estabilizados con ceniza proveniente de cáscara de arroz y cisco de café. El diseño de la investigación fue experimental ya que se realizaron ensayos de laboratorio, la muestra estuvo compuesta por el suelo de la finca Monte Madero, donde se encuentra cerca el nevado del Ruiz que genera depósitos directos de suelo compuesto por ceniza volcánica. Para el desarrollo de la investigación se realizaron ensayos de caracterización del suelo como: equivalente de arena, contenido de materia orgánica por ignición, granulometría, límites de Atterberg, gravedad específica y compactación; así mismo se debe mencionar que se aplicó la ceniza de cáscara de coco y cisco de café en las proporciones de 5%; 10% y 15% para el ensayo de CBR. Los resultados evidenciaron un suelo del tipo MH – limo orgánico, con 35.58% de índice de plasticidad, con gravedad específica de 2.56 gr/cm³ cuando el suelo está húmedo y 2.57 gr/cm³ cuando el suelo está seco, respecto a la compactación el CBR del suelo sin alteración presentó un valor de 76.67% con 56 golpes y cuando se adicionan las cenizas de cisco de café y cáscara de coco los valores de CBR incrementaron considerablemente cuyos valores fueron mayores a 63.55% hasta alcanzar valores de 101.61% de CBR. La investigación concluyó en que las cenizas de cáscara de coco y cisco de café funcionan como conglomerantes que potencian las propiedades del suelo, siendo la proporción del 15% de ceniza que logra incrementar los valores de CBR (16).

VALENCIA, Y. y otros (2014) en el artículo de investigación titulado “Estudio geotécnico de un suelo tropical para determinar su estado de meteorización y su efecto en las propiedades mecánicas” plantea como objetivo determinar el estado de

meteorización y su efecto en las propiedades mecánicas del suelo. La investigación se desarrolló con un perfil de meteorización localizado en el municipio de Guarne, Antioquía, Colombia, del cual se analizó el estado de meteorización y su efecto en las propiedades mecánicas. Para ello consideró pruebas específicas de suelos tropicales como miniatura compacta tropical, succión por el método del papel filtro, pinole test y degradación; en cuanto a las pruebas físicas y mecánicas se desarrollaron las pruebas de granulometría por hidrómetro, límites de Atterberg, gravedad específica, propiedades índices, corte directo y consolidación. Del análisis geológico y geomorfológico se obtuvo que el suelo analizado proviene de la meteorización de rocas ígneas de composición cuarzo diorítica cuya formación geológica ígnea intrusiva se debe a la poca variabilidad petroquímica y facilidad de meteorización en ambientes húmedos, lo que genera profundidades mayores de meteorización. Referente a la caracterización física; la granulometría demostró la presencia predominante de finos con un 56% en promedio que representa el proceso de meteorización; los límites de Atterberg demostraron poca variación de la humedad en condiciones naturales respecto a la prueba con suelo secado al aire y según la carta de plasticidad el suelo se clasificó como un MH o limo de alta plasticidad; según la clasificación MCT (Miniatura Compacta Tropical) el suelo se identificó como LA' (arena arcillosa laterítica) – LG' (arcilla laterítica y arcilla laterítica arenosa) que guarda relación con un limo de alta plasticidad según la clasificación unificada, el pH del suelo fue 2.5 que señala la presencia de arcillo minerales debido a la alta plasticidad del material y la presencia de arcillo minerales del ensayo de difracción de rayos X como la caolinita.

De las pruebas de composición estructural y mineralógica; se pudo obtener que el suelo tuvo presencia de macro, micro y poros intermediarios típicos de suelos tropicales, de las imágenes obtenidas en el microscopio electrónico de barrido (MEB) se deduce que este es un suelo laterítico joven; del ensayo de difracción de rayos X se pudo identificar gran cantidad de cuarzo y la presencia de caolinita que explica la estabilidad del suelo en presencia de agua. Referente a la caracterización mecánica pudo determinarse que el suelo es no erodable (no es vulnerable a la erosión) ya que los caudales de carga y descarga no variaron y hubo turbidez, por lo que se atribuyó a la presencia de arcillo minerales que dan estabilidad a la estructura; también se determinó que el suelo es estable por los bajos índice de colapso y las bajas deformaciones durante los ensayos con 0.76 mm de deformación sin saturar y 1.52 mm con muestra saturada; respecto a la

desagregación el suelo mantuvo el tamaño y forma original; según el corte directo se pudo obtener un material resistente ($\phi = 25$ y cohesión = 35 kPa) con 30% de humedad natural típico de la región estudiada mientras que cuando se satura la muestra la resistencia y cohesión (cohesión = 3 kPa) bajan considerablemente. Se concluyó con la identificación de un suelo laterítico joven con baja erodabilidad, baja capacidad de desagregación y pérdida de cohesión al saturar la muestra (17).

ARISTIZÁBAL, E., y otros (2011) en el artículo de investigación titulado “Caracterización geotécnica de perfiles de meteorización sobre rocas ígneas en ambientes tropicales” caracterizó el suelo residual y saprolito de dos perfiles de meteorización derivados de rocas volcánicas y plutónicas en el Valle Aburrá bajo un ambiente tropical húmedo. Para el desarrollo de la investigación se tomaron muestras alteradas e inalteradas a diferentes profundidades sobre taludes expuestos en la jurisdicción rural de Caldas al sur del Valle de Aburrá, muestras a las que se realizaron ensayos de laboratorio como humedad, color, granulometría de gruesos y finos, límites de consistencia, clasificación MCT (Miniatura Compacta Tropical), compresión simple, succión y corte directo.

El ensayo de caracterización como color evidenció que no hay variaciones de color en los perfiles de meteorización ya que estos van del amarillo a la tonalidad rojiza, respecto a la humedad natural las rocas volcánicas evidenciaron valores mayores como 44% a 105% (asociado a depósitos de cenizas volcánicas) y las rocas plutónicas valores menores como 38% a 47%, respecto a la granulometría el material volcánico presentó granos más gruesos que el resto del perfil con un 87% de contenido de finos, el material plutónico evidenció porcentajes de finos entre 92% y 98%, según la clasificación MCT el perfil de origen volcánico clasificó como LA' (arenoso laterítico) que en condiciones naturales presentan baja masa específica aparente seca, baja capacidad de soporte y pueden colapsar por inmersión en agua; el perfil de origen plutónico clasificó como NS' (no laterítico limo arenoso) que en condiciones naturales también presenta baja masa específica aparentemente seca, baja capacidad de soporte y puede colapsar.

De la prueba de compresión simple se pudo identificar que a mayor fracción fina, mayor resistencia en los suelos, ya que esta última se encuentra relacionada con la proporción de vacíos; y la prueba de corte directo permitió conocer el ángulo de fricción y cohesión de ambos perfiles los cuales son diferentes y similares al comportamiento en la

compresión simple, por lo que se puede atribuir la resistencia del suelo al índice de vacíos que según mencionaron a menor cantidad de vacíos mayor resistencia. Dicha investigación concluyó en que existe relación entre la succión y resistencia en los suelos de los perfiles estudiados, ello refleja la importancia de la estructura en el comportamiento mecánico de los materiales de suelos de la región estudiada (18).

TORRES, J., y otros, (2014) en el artículo de investigación titulado “Caracterización de ceniza de bagazo de la caña de azúcar; como material suplementario del cemento portland” tuvo como objetivo considerar la viabilidad técnica de la ceniza de bagazo de caña de azúcar como reemplazo parcial del cemento portland. La investigación, empleó cenizas de una industria azucarera colombiana cuya composición química presentó altos porcentajes de sílice, la actividad puzolánica de la ceniza se evaluó por medio del ensayo de Frattini y el índice de actividad por resistencia mecánica (IAR). De acuerdo con la norma ASTM C 618, se considera un material puzolánico cuando el IAR supera el 75%. Los resultados señalaron que la adición de ceniza de bagazo de la caña de azúcar supera la condición de la norma ASTM C 618 y puede ser empleada como material de reemplazo o suplementario del cemento, siendo los requisitos de uso de la ceniza partículas de 41 micrones y su reemplazo en una proporción del 20%; y de este modo contribuir con la reducción de emisión de carbono (19).

2.1.2. Antecedente nacional.

ESPINOZA, A. y VELÁSQUEZ, J. (2018) para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, sustentó la tesis titulada “Estabilización de suelos arcillosos adicionando ceniza de caña de azúcar en el Tramo de Pinar – Marian, distrito de Independencia 2018”. Con el objetivo de determinar la estabilización de suelos arcillosos adicionando ceniza de caña de azúcar en el Tramo de Pinar – Marian, distrito de Independencia. El diseño de la investigación fue experimental debido a que se procedió a la manipulación intencional de la variable independiente con tres porcentajes de adición de ceniza de caña de azúcar como 10%; 20% y 30%, la muestra de la investigación estuvo compuesta por muestras de suelo de tres calicatas de 1.50 m de profundidad del tramo de 1.149 Km de longitud. Para el desarrollo de la investigación, los autores realizaron los estudios de caracterización de suelo según el *Manual de Ensayo de Materiales del MTC* (2016), para lograr la estabilización del suelo con diferentes proporciones de ceniza de caña de azúcar. Como resultado obtuvo que la adición de ceniza de caña de azúcar al 20% logró un CBR al 95% de 15.18%, con

densidad seca de 1.859 gr/cm³ y óptimo contenido de humedad de 9.567% y reduciendo el índice de plasticidad de 16.11% a 9.73%, así mismo se logró reducir el porcentaje de expansión del suelo. Llegó a la conclusión que la adición de ceniza de caña de azúcar mejora las propiedades mecánicas y físicas del suelo siendo la adición del 20% de ceniza de caña de azúcar que logró mejores resultados (20).

DÍAZ, F. (2018) para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, sustentó la tesis titulada “Mejoramiento de la subrasante mediante ceniza de cáscara de arroz en la carretera Dv San Martín – Lonya Grande, Amazonas 2018”. Con el objetivo de evaluar el efecto de la ceniza de cáscara de arroz en el comportamiento mecánico de la subrasante del suelo. El diseño de la investigación fue experimental ya que se manipuló la variable independiente de la ceniza de cáscara de arroz en diferentes porcentajes de 10%; 15%; 20% y 25% con el fin de que modifique la variable dependiente de la subrasante del suelo, la muestra fue no probabilística y estuvo compuesta por el suelo de la carretera antes mencionada para realizar los ensayos de Proctor Modificado y CBR para determinar la capacidad de soporte del suelo. Para el desarrollo de la investigación, se realizaron ensayos de granulometría de la subrasante, límites de Atterberg, Proctor Modificado y cálculos de la capacidad de soporte mediante el CBR con diferentes proporciones de adición de ceniza de cáscara de arroz. Los resultados mostraron que el uso de ceniza de cáscara de arroz permite el aumento de la resistencia de la subrasante del suelo, como la disminución de deformaciones transversales debido a las cargas de tráfico. Llegó a la conclusión que la adición del 20% de ceniza de cáscara de arroz logra incrementar la capacidad portante del suelo, además de disminuir las deformaciones transversales y la absorción de agua volviendo más estable el terreno (4).

CASTRO, A. (2017) para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, sustentó la tesis titulada “Estabilización de suelos arcillosos con ceniza cáscara de arroz para el mejoramiento de subrasante”. Con el objetivo de determinar si la ceniza cáscara de arroz puede ser usada como material estabilizante de los suelos arcillosos empleándolos a nivel de subrasante de un pavimento. El diseño de la investigación fue experimental ya que se manipuló la ceniza de cáscara de arroz en diferentes proporciones, así como también de la adición de cal; la muestra de la investigación estuvo compuesta por suelo arcilloso procedente del distrito de la Calzada de la provincia de Moyobamba del departamento de San Martín y la ceniza de cáscara de arroz proviene de la “Molinera Amazonas SAC” de Tarapoto – San Martín. Para el desarrollo de la investigación, se

realizaron ensayos de laboratorio para determinar las características físicas, mecánicas y químicas de los materiales, se realizaron mezclas de suelo con ceniza de cáscara de arroz en diferentes proporciones para evaluar el comportamiento como estabilizador primario, también se realizaron combinaciones del suelo arcilloso con ceniza de cáscara de arroz y cal para incrementar la mejora de propiedades y de este modo conocer si dicha ceniza funciona como estabilizante secundario. En cuanto a los resultados obtenidos, se percibieron mejoras debido a la adición del material, ya que la combinación de suelo + ceniza de cáscara de arroz + cal, lograron mayores resultados que la combinación de suelo + ceniza de cáscara de arroz; donde la primera combinación de suelo + ceniza de cáscara de arroz al 20% + cal descrita incrementó el CBR de 5% a 38.5%, mientras que para la segunda combinación de suelo + ceniza de caña de azúcar al 20% el CBR obtenido fue igual a 19.4%; en cuanto al ensayo de resistencia a la compresión no confinada para la primera combinación la resistencia se incrementó de 6.91 gr/cm² a 9.96 gr/cm² y para la segunda combinación de suelo + ceniza de cáscara de arroz al 20% la resistencia se incrementó de 6.91 gr/cm² a 8.77 gr/cm². Llegó a la conclusión que el uso de ceniza de cáscara de arroz como agente estabilizador secundario promete buenos resultados en la consolidación de suelos en obras de pavimentación, sin olvidar el alto contenido silícico como agente estabilizador primario y secundario además de contribuir con la solución del problema ambiental en la zona de estudio (21).

NORABUENA, F. (2017) para optar el título profesional de Ingeniero Civil, sustentó la tesis titulada “Resistencia de un suelo arcilloso sustituido al 6% por ceniza de bagazo de caña azúcar en Huanroc - Macate”. Con el objetivo de determinar la resistencia de un suelo arcilloso sustituido al 6% por cenizas de bagazo de caña de azúcar. El diseño de la investigación fue experimental, de nivel explicativo y tipo aplicada; la muestra estuvo delimitada por los suelos del distrito de Macate de la provincia del Santa, en el Departamento de Áncash. Los resultados de la investigación mostraron que la sustitución de ceniza de bagazo de caña de azúcar tuvo una resistencia de 2.13 kg/cm² ubicándose en una consistencia de suelo muy firme superando la resistencia de 1.45 kg/cm² de un suelo arcilloso sin sustitución. Llegó a la conclusión que la sustitución de un suelo arcilloso con 6% de ceniza de bagazo de caña de azúcar puede ser utilizada en obras de estabilización de suelos en el distrito Macate de la provincia del Santa (22).

REQUIZ, J. (2018) en la tesis titulada “Aplicación de la metodología MCT en estudio de suelos tropicales con fines de pavimentación en la selva baja del Perú. Caso: Caminos vecinales de Madre de Dios”. Con el objetivo de determinar la incidencia positiva significativa de la metodología MCT en el estudio de suelos tropicales con fines de pavimentación para los caminos vecinales de Madre de Dios. El diseño de la investigación fue experimental y de nivel comparativo debido a que se ensayaron los suelos con la metodología tradicional y la metodología MCT (Miniatura Compacta Tropical); la muestra de la investigación estuvo compuesta por muestras de suelo de los caminos vecinales de Dc. Km. 166 – Tropezón (10.6 Km) y La Joya – Infierno (18 Km) de la región de Madre de Dios. Para el desarrollo de la investigación se realizaron ensayos tradicionales y de miniatura compacta referente a la caracterización, compactación y evaluación del comportamiento mecánico e hidrogeológico de los suelos para comparar resultados, criterios técnicos y cuestiones económicas de estudio; se compararon pavimentos estructurados con el método AASHTO 93 a partir de los ensayos tradicionales y de los ensayos miniatura compacta; y por otro lado se propuso un método de estructuración de pavimentos que emplea parámetros de los ensayos miniatura permitiendo el aprovechamiento de material propio de las zonas tropicales. Como resultado, se obtuvo que la metodología MCT se acerca más a la realidad de los suelos tropicales por los criterios de caracterización, clasificación en base de suelos lateríticos y saprolíticos, y la inclusión de ensayos hidrogeológicos; y por otro lado son más precisos debido al diseño de los equipos, empleo de menor energía de compactación, menor cantidad de material y menor tiempo de ejecución, siendo el 14% y 94% de lo empleado en los ensayos tradicionales en cuanto a material y tiempo de ensayos; en cuanto a la estructuración de pavimentos según el método AASHTO 93, el espesor de la subrasante para el método tradicional y el método miniatura difiere hasta en un 8.4% por lo que el ensayo miniatura es una mejor alternativa para la estructuración de pavimentos para la normativa actual. Llegó a la conclusión que la metodología MCT tiene incidencia significativa en los suelos tropicales con fines de pavimentación (9).

CARRILLO, A. (2016) en el artículo de investigación titulado “Comportamiento del suelo tropical peruano”. El objetivo de la investigación fue brindar información adecuada para evaluar los suelos saprolíticos compactados para la construcción de terraplenes y aeropistas en la zona tropical del territorio peruano. El autor menciona

que la meteorización climática, composición química y estructura morfológica heredadas de la roca madre determinan las características del suelo en cada región tropical; por lo que en el Perú no existe un solo tipo de roca que de origen a los suelos residuales y se encuentra hasta 5 grupos de rocas que suscitan suelos subyacentes que en algunos casos se superponen y dificultan su identificación. Los estudios realizados para la caracterización geotécnica de los suelos tropicales permitieron identificar el comportamiento de este según la profundidad, es por eso que el contenido de humedad se encontró entre 20% y 30% hasta una profundidad de 40 m, la densidad natural se encontró entre 1.50 ton/m³ a 2.20 ton/m³ hasta una profundidad de 50 m y los límites de consistencia variaron con la profundidad ya que se obtuvieron valores de índice de plasticidad entre 9% y 50% hasta una profundidad de 50 m. En cuanto a la compactación, las muestras de selva alta evidenciaron valores de densidad seca entre 1.85 gr/cm³ y 2.25 gr/cm³ con humedad óptima entre 5% y 14% por ser suelos de residuales provenientes de rocas duras como basaltos y granitos; a diferencia de las muestras de selva baja cuyos valores de densidad seca fueron entre 1.50 gr/cm³ y 1.85 gr/cm³ con humedad óptima entre 9% y 21%. Del estudio se pudo reconocer que el suelo tropical presentó humedad natural superior al óptimo contenido en el laboratorio, por lo que los parámetros de compactación del suelo saprolítico se deben tomar en campo y así diseñar proyectos según el comportamiento de los suelos tropicales peruanos. La investigación brindó una visión global del comportamiento geotécnico de los suelos típicos de la Selva Central (23).

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Adición de ceniza de caña de azúcar.

2.2.1.1. Cenizas.

La ceniza muy fina es un subproducto del proceso de combustión de carbón pulverizado, generalmente asociado a las plantas de generación de energía eléctrica. Es un polvo de grano fino compuesto por: sílice, alúmina, varios óxidos y álcalis; además es de naturaleza puzolánica y puede reaccionar con cal hidratada para producir elementos cementantes (11).

2.2.1.2. Propiedades de la ceniza volante.

Las principales propiedades de la ceniza se describen en las siguientes líneas:

- **Propiedad puzolánica.**
 “Indicada por la manera y rapidez con que la sílice que contiene la ceniza volante se combina con el hidróxido de calcio liberado por la hidratación del cemento portland. La ceniza volante tiene una velocidad de reacción menor que la mayoría de las puzolanas naturales” (14).
- **Pérdida por ignición.**
 “La ceniza volante con un alto valor de pérdida por ignición (carbón no quemado) da como resultado una decoloración de la superficie del acabado como consecuencia de las partículas de carbón que ascienden a la superficie. La eficiencia de la ceniza volante como puzolana se reduce a causa de la disminución de óxidos principales, tales como: óxido de sílice, de aluminio o de hierro, lo que puede ocasionar un fraguado más lento” (14).
- **Granulometría.**
 “La variable más significativa de la ceniza volante es la distribución del tamaño de partículas. Mientras la ceniza se encuentra en la corriente del gas saliente del horno, la granulometría es constante, pero es afectada por la eficiencia de los molinos de carbón, por el origen del carbón y por la operación del horno. De una fuente a otra la granulometría de la ceniza varía considerablemente, a consecuencia de los métodos de precipitación, que pueden tener de 3 a 5 etapas y en cada una de ellas se elimina una fracción más fina de ceniza” (14).
- **Fineza.**
 “Para controlar el grado de fineza en la ceniza volante, se ha aportado la prueba de material retenido en la malla de micras, mientras mayor sea la cantidad de ceniza volante que pase por dicha malla, mayor será su efecto sobre la resistencia” (14).
- **Forma de la partícula.**
 “Las partículas de la ceniza volante están conformadas por un polvo granulado con características únicas, esto se debe a la mayoría de las mismas por ser de forma esférica. En la fracción más gruesa se encuentra en un rango de 300 a 45 micras, la mayoría de las partículas son negras y porosas. La pérdida por ignición de este material grueso y arenoso es de 3 a 10 veces mayor que la fracción que pasa por la malla de 45 micras, lo que indica presencia de carbón quemado parcialmente” (14).

- **Densidad.**

“La densidad en la ceniza volante es una propiedad con un nivel de variación alto que depende directamente de la distribución del tamaño de las partículas o la pérdida por ignición” (14).

2.2.1.3. Ceniza del bagazo de caña azúcar.

La ceniza del bagazo de caña de azúcar (CBCA) se define como un subproducto de la fabricación del azúcar, que se usa como combustible para calentar las calderas de las fábricas para obtener el azúcar. Su propiedad como cementante le permite ser usado como material puzolánico lo cual mejora las propiedades de los productos con los que se reemplaza o combina. Por otro lado, se debe reconocer que la fibra de la caña de azúcar representa entre un 40 a 50% de su volumen de toda la planta, 1 Kg de ceniza son generados por cada 25 Kg de bagazo quemado (24).

- **Composición química de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.**

La composición química de la ceniza del bagazo de caña de azúcar se puede obtener mediante una prueba de fluorescencia de rayos x, en la siguiente tabla se muestra la composición química de esta.

Tabla 2. *Composición química de la ceniza de bagazo de caña de azúcar.*

Elemento	Óxido	CBCA
Óxido de circonio	ZrO ₂	0.006
Cloruro	Cl	0.017
Óxido de estroncio	SrO	0.031
Óxido de magnesio	MnO	0.095
Óxido de titanio	TiO ₂	0.395
Trióxido de azufre	SO ₃	0.399
Óxido de sodio	Na ₂ O	0.509
Óxido de fósforo	P ₂ O ₅	1.15
Óxido de magnesio	MgO	1.59
Óxido de calcio	CaO	3.556
Óxido de potasio	K ₂ O	4.145
Óxido de hierro	Fe ₂ O ₃	4.921
Óxido de aluminio	Al ₂ O ₃	6.726
Pérdidas por ignición	PPI	14.13
Óxido de silicio	SiO ₂	62.33

Fuente: (*Estabilización de suelos arcillosos adicionando ceniza de caña de azúcar en el Tramo de Pinar -Marian, Distrito de Independencia, 2018*)

Así mismo, debe mencionarse que la ceniza de bagazo de caña de azúcar es considerada un residuo que ocasiona problemas de disposición; proviene de la combustión

tradicional e industrial de la producción de azúcar y sus derivados. Sin embargo, si dicho proceso se realiza bajo condiciones controladas, la ceniza puede llegar a ser utilizada de forma potencial, al punto de reemplazar parcialmente al cemento portland. Es así que en el artículo de investigación de TORRES, J., y otros (2014), la ceniza del bagazo de caña de azúcar de la industria azucarera colombiana presentó altos porcentaje de sílice (76.3% y 63.2%) que le permite ser utilizada como material puzolánico en la fabricación de cemento e incluso puede reemplazar parcialmente al cemento y así reducir la emisión de carbono (CO₂) (19).

2.2.2. Estabilización de suelos tropicales.

2.2.2.1. Suelos.

El suelo tiene diferentes definiciones según el área de interés o aplicación. Razón por la cual, en ingeniería, el suelo se define como un depósito de minerales no consolidado que se compone de la fase sólida, líquida y gaseosa sobre la que se realizan obras de ingeniería. Es un material antiguo, complejo y muy utilizado en la ingeniería, ya que la mayor parte de las estructuras civiles se encuentran construidas sobre o en el suelo. Su formación no solo sirve de soporte de estructuras sino también provee materia prima para elementos de mampostería y construcción de estructuras (5).

Según el *Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú* (2014), la exploración e investigación del suelo es importante para determinar sus características y el correcto diseño de la estructura de pavimento. Pues si la información registrada y obtenida no es representativa no tendrá sentido emplearla para estudios y/o diseños posteriores (25).

- **Exploración de suelos.**

El *Ministerio de Transportes y Comunicaciones* (2014) señala que, para el muestreo de suelos, se debe reconocer previamente el terreno y desarrollar un programa de exploración. Del reconocimiento de este se identifican cortes naturales y/o artificiales, se definen estratos y se delimitan las zonas de riesgo. El programa de exploración incluye la ejecución de calicatas o pozos exploratorios, cuyo espaciamiento depende de los materiales que se encuentren en el trazo de la vía.

Las muestras a obtener de las calicatas, deben de ser representativas, luego se procede a efectuar los ensayos en laboratorio y posteriormente se adquiere el perfil estratigráfico del suelo en un espesor mayor a 1.50 m (25).

- **Caracterización de subrasante.**

La caracterización de subrasante se obtiene de la ejecución de calicatas o pozos exploratorios con una profundidad mínima de 1.50 m que se ubican alternada y longitudinalmente en la vía (25).

La siguiente tabla, muestra el número de calicatas para exploración de suelos del *Ministerio de Transportes y Comunicaciones* (2014).

Tabla 3. *Número de calicatas para exploración de suelos.*

Tipo de carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada uno con dos o más carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido • Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido • Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido 	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras duales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 a 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido • Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido • Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido 	
Carreteras de primera clase: carreteras con IMDA entre 4000 a 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	4 calicatas x km	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMD entre 2000 a 401 veh/día, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	3 calicatas x km	
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400 a 201 veh/días, de una calzada de dos carriles	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	2 calicatas x km	
Carreteras de bajo volumen de tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	1 calicata x km	

Fuente: (*Ministerio de Transportes y Comunicaciones*, 2014)

Por otro lado, se debe mencionar que cuando el tramo de estudio tenga entre 500 a 1 000 m, el número de calicatas debe ser la mitad de las que se mencionan

en la tabla 3 que también se encuentra en el cuadro 4.1 del capítulo IV de suelos del *Manual de carreteras, sección suelos y pavimentos del MTC* (2014) (25). Sin embargo, se recomienda realizar calicatas enteras en tramos de estudio menores a 500 m.

Así mismo, se debe extraer muestras representativas de la subrasante para realizar el ensayo de CBR. En la tabla, se muestra el número de ensayos de CBR y Mr.

Tabla 4. Número de ensayos de Mr y CBR.

Tipo de carretera	Nº Mr y CBR
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada uno con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mr cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mr cada 1 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras duales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 a 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"> Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mr cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mr cada 1 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras de primera clase: carreteras con IMDA entre 4000 a 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles	1 Mr cada 3 km y 1 CBR cada 1 km
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMD entre 2000 a 401 veh/día, de una calzada de dos carriles	Cada 1.5 km se realizará un CBR (*)
Carreteras de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400 a 201 veh/días, de una calzada de dos carriles	Cada 1.5 km se realizará un CBR (*)
Carreteras de bajo volumen de tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada	Cada 3 km se realizará un CBR (*)

(*) La ejecución del ensayo de módulo de resiliencia se determina según los términos de referencia de la zona de estudio.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

- Descripción del suelo.**

Los suelos que se encuentran son clasificados según AASHTO y SUCS como se muestran en las siguientes figuras.

Simbología	Clasificación	Simbología	Clasificación
	A-1-a		A-5
	A-1-b		A-6
	A-3		A-7-5
	A-2-4		A-7-6
	A-2-5		MATERIA ORGANICA
	A-2-6		ROCA SANA
	A-2-7		ROCA DESINTEGRADA
	A-4		

Figura 1. Simbología de suelos - clasificación AASHTO.
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

	Gravas bien graduadas mezcla, grava con poco o nada de materia fino, variación en tamaños granulares		Materiales finos sin plasticidad o con plasticidad muy bajo
	Gravas mal graduadas, mezcla de arena-grava con poco o nada de material fino		Arenas arcillosas, mezcla de arena-arcillosa
	Gravas limosas mezclas de grava arena limosa		Limos orgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosa o limos arcillosos con ligera plasticidad
	Gravas arcillosas mezcla de grava-arena-arcilla; grava con material fino cantidad apreciable de material fino		Limo orgánicos de plasticidad baja o mediano, arcillas gravas, arcillas arenosas, arenas limosas, arcillas magras
	Arenas bien graduadas, arena con grava, poco o nada de material fino. Arena limpia poco o nada de material fino, amplia variación en tamaños granulares y cantidades de partículas en tamaños intermedios		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas, baja plasticidad
	Arenas mal graduadas con grava poco o nada de material fino. Un tamaño predominante o una serie de tamaños con ausencia de partículas intermedios		Limos inorgánicos suelos finos granosos o limosos micáceas o diatomáceas, limos elásticos

	Arcillas inorgánicas de elevada plasticidad, arcillas grasosas
	Arcillas orgánicas de mediana o elevada plasticidad, limos orgánicas
	Turba, suelos considerablemente orgánicos

Figura 2. Simbología de suelos - clasificación SUCS
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

2.2.2.2. Estabilización de suelos.

“La estabilización consiste en dotar a los mismos de resistencia mecánica y permanencia de tales propiedades en el tiempo. Las técnicas son variadas y van desde la adición de otro suelo, a la incorporación de uno o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea el mecanismo de estabilización, es seguido de un proceso de compactación.” (12).

Así mismo, el *Manual de Carreteras del Perú* (2014) menciona que “se considerarán como materiales aptos para las capas de la subrasante suelos con $CBR \geq 6\%$ ” (12).

- **Tipos de estabilización.**

Según Braja, 2002, para la estabilización de suelos de grano fino es posible utilizar aditivos comunes como la cal y cal con ceniza muy fina, con el fin de modificar el suelo y mejorar la resistencia y durabilidad de este” (11). En las siguientes líneas se describen los tipos de estabilización de un suelo.

- **Estabilización con cemento.**

Este tipo de estabilización desarrolla un proceso de cementación y relleno de vacíos del suelo o de la roca, incrementando la resistencia y controlando el flujo interno del agua, por lo que en suelos residuales la inyección de cemento ha tenido buenos resultados (26).

El cemento portland, es el aglutinante más empleado en la estabilización de suelos a nivel mundial, efectivo en suelos arenosos y arcillosos con índices de plasticidad bajos y medianos (27). La mezcla de suelo con cemento, se le conoce como suelo – cemento y tiene muchas aplicaciones en la infraestructura civil, por lo que desde hace más de 80 años se ha implementado en Estados Unidos e Inglaterra. En 1935 se desarrollaron investigaciones para evaluar sus propiedades y en 1940 surgieron las primeras normativas ASTM y AASHTO para el material de cemento en el suelo (5).

El mecanismo de estabilización del suelo con cemento es la hidratación, intercambio catiónico, floculación y aglomeración, carbonatación y reacciones puzolánicas. La hidratación es el mecanismo de estabilización principal, ya que se generan compuestos de silicato cálcico hidratado que cementa las partículas del suelo, lo cual brinda estabilidad frente al cambio de humedad en el ambiente. El intercambio catiónico es el segundo

mecanismo de estabilización, ya que los cationes de calcio (Ca^{++}) del cemento ocupan los vacíos de la estructura del suelo o intercambian con algunos cationes del suelo reduciendo la carga neta y así generar menor atracción de moléculas de agua (27).

Los suelos expansivos tratados con cemento redujeron el índice de plasticidad y el potencial de hinchamiento para la mejora del proceso de compactación de la mezcla suelo – cemento (28). La floculación como tercer mecanismo de estabilización, permite cambiar la textura plástica de los suelos por una textura fina y granular (29). La carbonatación brinda resistencia del material estabilizado y la reacción puzolánica contribuye en la generación de material cementante conforme el paso del tiempo de la estabilización (5).

○ **Estabilización con cal.**

La estabilización con cal no es efectiva para suelos granulares, debido a que para considerar un suelo estabilizado de este tipo tiene que haber pasado 80 días después de su aplicación (26).

La cal es el material de estabilización de suelos más utilizados y puede ser utilizado de diferentes maneras según la aplicación que puede ser: cal viva en suelos muy húmedos, cal hidratada y lechada de cal en suelos de grano fino. Cuando se aplica cal a los suelos arcillosos, las partículas del suelo pierden cohesión convirtiéndose en material más granular (5). El uso de cal procede desde la antigua civilización mesopotámica hasta la edad moderna y actual en la que fue empleada como agente estabilizador de suelos para la construcción de carreteras.

Así mismo, se debe mencionar que el mecanismo de intercambio catiónico es el que modifica las propiedades de los suelos tratados con cal. Con la floculación de partículas ocurre la fijación de cationes de calcio (Ca^{++}) que generan la reacción puzolánica dando paso a la estabilización del suelo y modificando sus propiedades iniciales (30). La rotura de las partículas de arcilla, libera, sílice y alúmina reaccionan con el calcio de la cal para formar silicatos y aluminatos cálcicos hidratados, que son cementantes análogos a la hidratación del cemento portland y se convierten en componentes hidratados que forman una matriz de suelo con menor índice de plasticidad, lo que brinda mayor resistencia al suelo (5).

El suelo estabilizado con cal permite una compactación y trabajabilidad más accesible. Razón por la cual, la cal es considerada un activante alcalino que estabiliza un suelo mecánica y químicamente, además de brindar resistencia. Por lo cual, el porcentaje de adición de cal no debe exceder el 8% (5).

○ **Estabilización con ceniza.**

La ceniza es de origen puzolánico y puede reaccionar con cal hidratada para producir productos cementantes. Las mezclas efectivas se pueden preparar con al menos 10 a 35% de ceniza muy fina y de 2 a 10% de cal: razón por la cual las mezclas de suelo cal – ceniza se compactan en condiciones controladas y con cantidades apropiadas de humedad para obtener capas de suelo estabilizadas (11).

Las cenizas volantes para estabilizar suelos, se implementaron debido al impacto ambiental y económico de la producción de cal y cemento portland. Ello estimuló el desarrollo de investigaciones con este subproducto, con la finalidad de conocer y desarrollar nuevos cementantes sostenibles con el medio ambiente en diversas aplicaciones de la ingeniería, así como en la estabilización de suelos para la construcción de carreteras (30).

Por otro lado, se debe mencionar que las cenizas volantes se clasifican según el carbón utilizado en la combustión, las cuales son cenizas tipo F y tipo C (ASTM C 618). Las cenizas tipo F se encuentran compuestas de óxidos de silicio (SiO_2), aluminio (Al_2O_3) y hierro (Fe_2O_3) que representan el 70% del material con bajo contenido de óxido de calcio (CaO). Las cenizas de tipo C tienen mayor contenido de óxido de calcio (superior al 30%) con altos contenidos de óxido de azufre (SO_3) (31). Debido a la baja capacidad de cementación de las cenizas de tipo F, es necesario la mezcla con cal o cemento portland para obtener la cementación de las partículas del suelo tratado.

Sin embargo, los estudios realizados para evaluar la efectividad de la ceniza, demostraron que, se encuentren o no en las especificaciones de la norma ASTM C 618, son efectivas para estabilizar suelos de grano fino porque que incrementan el CBR y módulo de resiliencia con cualquiera de las cenizas empleadas (32).

En la siguiente figura, se puede apreciar los tipos de estabilización de suelos.

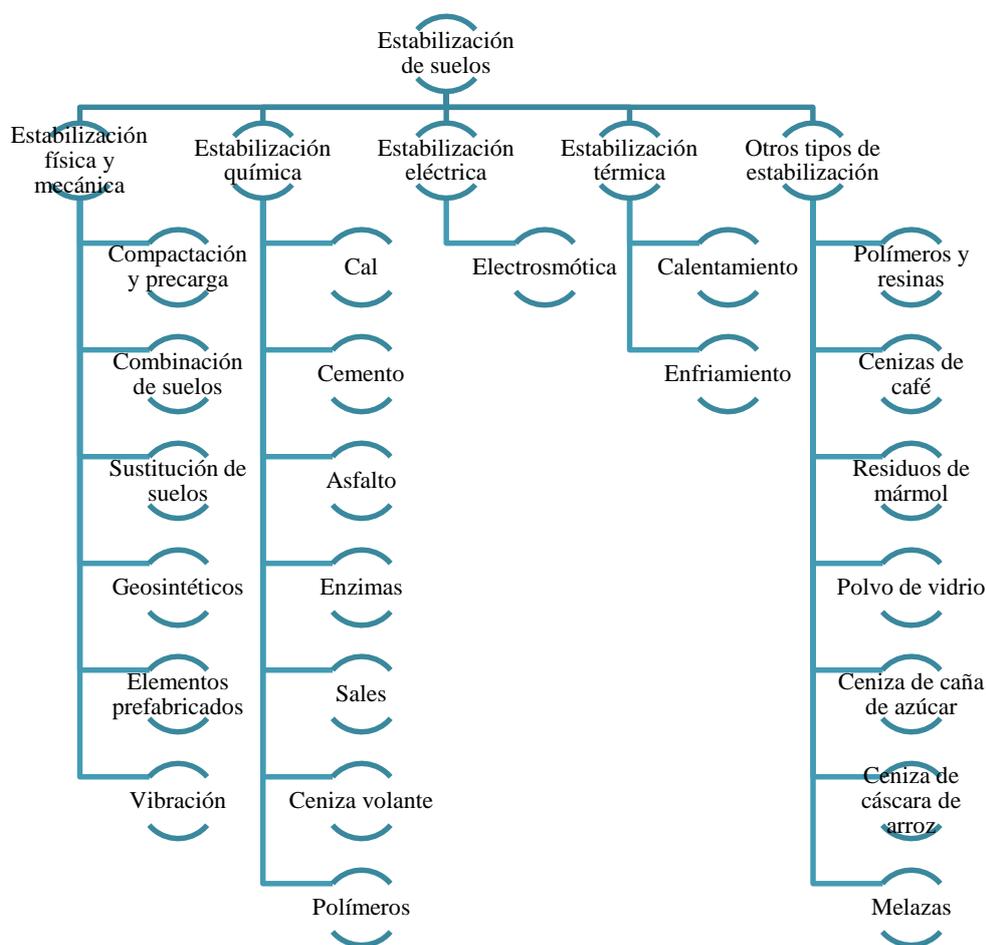


Figura 3. Tipos de estabilización de suelos.

Fuente: (Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de la subrasante, 2017)

2.2.2.3. Estabilización de suelos con ceniza.

La ceniza de volante se caracteriza por su bajo contenido de cal y un alto contenido de sílice, por lo que su uso como estabilizador de suelo requiere de la adición de un agente activador rico en cal. El agente activador proporciona la cal necesaria para la reacción puzolánica, mientras que la ceniza suministra los compuestos puzolánicos, sílice y alúmina. Es así que las mezclas de cenizas volantes se pueden utilizar para estabilizar suelos gruesos, finos y no arcillosos. Normalmente cal o cemento se utilizan como agente activador de cenizas volantes (33).

2.2.2.4. Estabilización de suelos tropicales peruanos.

De numerosos estudios realizados para estabilizar suelos tropicales con cal, se establece que las mezclas de suelos saprolíticos con dicho estabilizante presentan sistemáticamente mejores resistencias que con el suelo laterítico para iguales porcentajes de cal y tiempo de cura. En los suelos mezclados con cal, la resistencia aumenta con el tiempo de curado, incrementándose con mayor relevancia en el suelo saprolítico que en el suelo laterítico. La resistencia de los suelos prácticamente no disminuye como consecuencia del tiempo transcurrido entre la mezcla y su compactación en las primeras cuatro horas, sin embargo, el suelo saprolítico sufre cierta disminución de resistencia entre cuatro y veinticuatro horas (10).

- **Suelos tropicales.**

Los suelos tropicales denominados como tal por algunos autores, son suelos residuales que se forman *in situ* debido al proceso de meteorización física y química, que principalmente ocurre en condiciones tropicales húmedas con meteorización química intensa. Sin embargo, se debe mencionar que los suelos residuales se encuentran en zonas no tropicales, pero en menor proporción.

Así mismo, se debe tener en cuenta que el comportamiento de los suelos residuales es diferente a los suelos transportados y depositados. Las propiedades de los suelos tropicales son consecuencia de la combinación de ambientes que se encuentran en los trópicos, y están relacionados con el clima, lluvia, temperatura, litología de la roca parental, movimiento de agua, condiciones de drenaje, relieve, vegetación, edad y nivel de meteorización, entre otros factores. Las propiedades geotécnicas de los suelos tropicales son diferentes para cada país y región, debido a la heterogeneidad de los ambientes tropicales (7).

En la figura, se puede observar la localización de zonas tropicales y áreas tibias donde los suelos residuales son comunes.

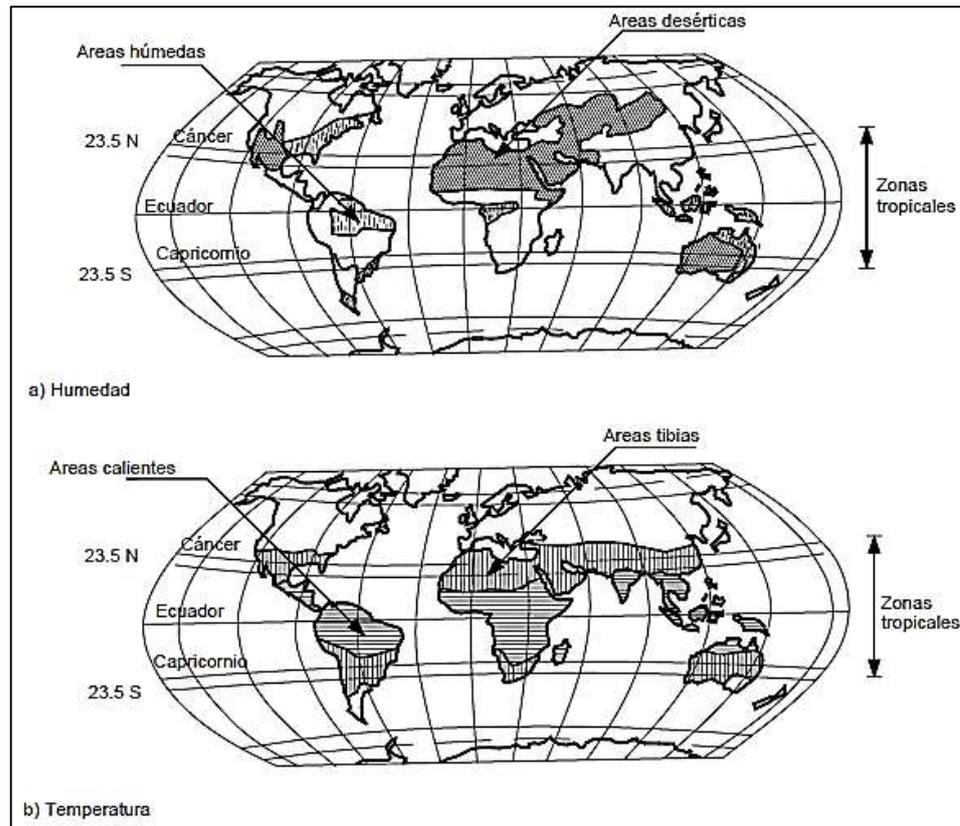


Figura 4. Localización de zonas tropicales y áreas tibias
Fuente: (Deslizamientos: análisis geotécnico, 2009)

Las partículas de los suelos residuales o tropicales se componen de agregados o cristales de minerales meteorizados que se rompen y transforman en material fino (7).

“Recientes estudios sobre el comportamiento de suelos tropicales, concluyó que a diferencia de otros materiales geotécnicos no cuentan con generalizaciones válidas universalmente, debido a que los parámetros involucrados en estas clasificaciones que han sido establecidos generalmente para los suelos de origen sedimentario se encuentran en los países de clima templado a frío, lugares donde la Mecánica de Suelos clásica tuvo su desarrollo más acentuado.” (10). Razón por la cual las construcciones resultaron difíciles en cuanto al manejo de suelos tropicales en el país e incluso la vida útil de dichas construcciones presentan problemas técnicos actualmente, debido a la ubicación geográfica y condiciones climáticas.

Según Carrillo (1995), los suelos tropicales en el Perú, en su mayoría, son del tipo saprolítico, son arcillosos mezclados con limo y arena (10).

○ **Características geológicas y geomorfológicas de la selva peruana.**

Producto del estudio generalizado de geomorfología y geología de la selva peruana en el que se consideró las principales cuencas de los ríos más importantes del Perú, como Amazonas, Marañón, Ucayali, Madre de Dios, Santiago, Huallaga y Ene.

Según los estudios realizados, se pudo concluir que en la selva alta y en los límites de la selva baja predominan las rocas ígneas y sedimentarias, mientras que en la selva baja predominan las rocas sedimentarias del terciario y cuaternario que están compuestas principalmente por areniscas, lutitas y arcillitas. Las rocas ígneas encontradas en la selva alta fueron; granitos, andesitas y de origen volcánico, a diferencia del tipo sedimentario que fueron las areniscas, pizarras, calizas y dolomitas.

En la siguiente figura, se puede observar la región amazónica peruana y el tipo de roca madre subyacente.

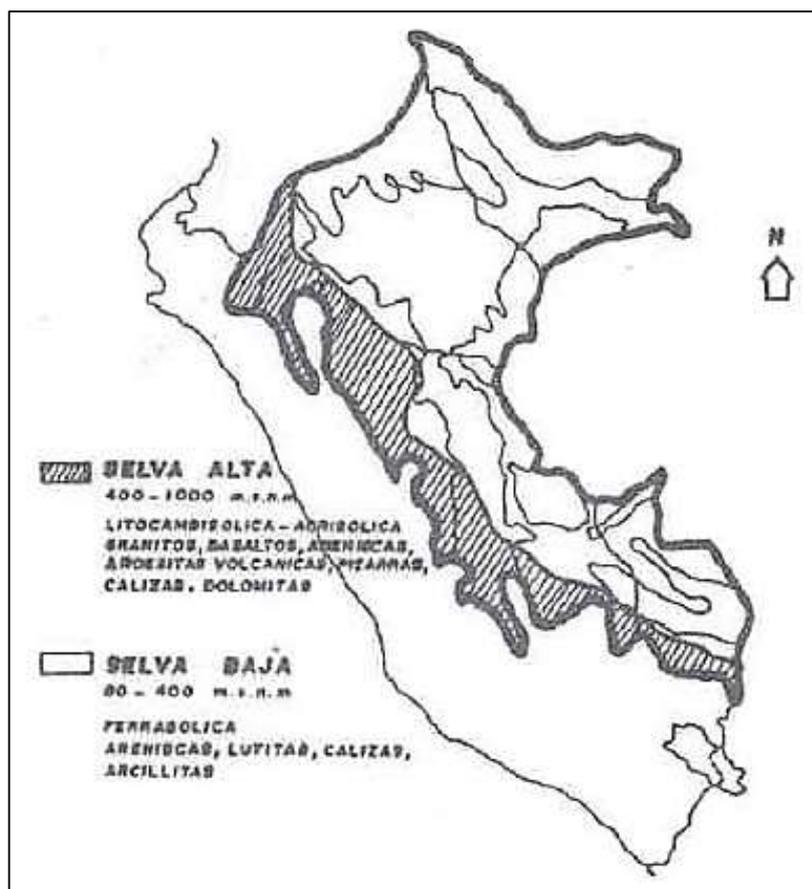


Figura 5. Región amazónica peruana y tipo de roca madre subyacente
Fuente: (*Propiedades de los suelos tropicales del Perú*, 1995)

○ **Condiciones de clima de la selva peruana.**

Con respecto al clima de la selva peruana, se establece que, los principales agentes de formación del suelo son la lluvia y la temperatura. Es así que la lluvia determina la humedad, aireación y grado de lavaje del perfil del suelo; mientras que el segundo agente de la temperatura, tiene acción directa sobre la formación del suelo e influye en la velocidad de las reacciones químicas que se duplican por cada 10° C de incremento de temperatura. Según lo mencionado, se puede deducir que el clima influye directamente en la formación y características del suelo tropical peruano. Es así que, en la siguiente figura, se puede observar la distribución climática de la selva peruana.

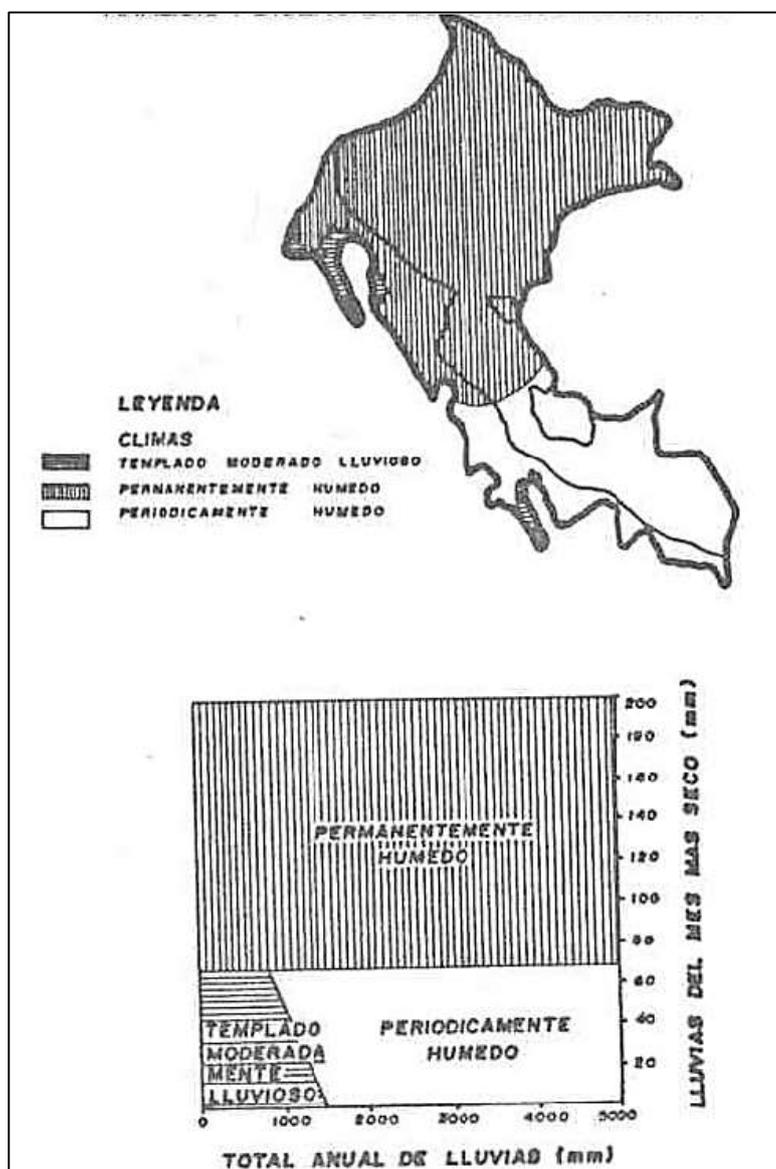


Figura 6. Distribución climática de la selva peruana.
Fuente: (Propiedades de los suelos tropicales del Perú, 1995)

- **Clasificación del suelo tropical peruano.**

En las siguientes líneas, se describen los tipos de suelos tropicales peruanos.

- **Suelo saprolítico.**

Son considerados suelos residuales que se forman de la disgregación y/o descomposición de las rocas *in situ* conservando sus características de origen los cuales pueden ser de tipo arenoso, limoso y/o arcilloso.

A diferencia de los suelos lateríticos, en los suelos saprolíticos se da la formación de pseudo-terrones en la superficie expuesta a la intemperie, como consecuencia de los constantes procesos de saturación y contracción por secado. Los espesores pueden variar desde centímetros hasta decenas de metros y los colores que presentan los suelos pueden ser blanco, negro, gris, rosado, púrpura, verdoso, azulado, entre otros.

Debido a su heterogeneidad, su composición mineralógica va de simple a compleja, en la que presenta minerales intemperizados y partes heredadas de la roca madre; los minerales intemperizados presentan propiedades poco conocidas que pueden ser desde homogéneas e isotrópicas hasta altamente anisotrópicas, desde muy plásticos y expansivos de baja capacidad portante y altamente erosivas hasta granulares de buena capacidad portante y resistentes a la erosión. Cabe mencionar que las arcillas saprolíticas pueden tener variedad mineralógica, al igual que los limos, con una variedad de macrocristales de caolinita y micas; en cuanto a las arenas saprolíticas, las micas pueden variar su comportamiento ya que aporta expansividad al suelo (9).

- **Suelo laterítico.**

Son considerados suelos superficiales que se forman a partir del proceso de laterización, meteorización tropical también llamada lixiviación que es un proceso que se da en condiciones bien drenadas y de clima húmedo y tropical.

Estos suelos lateríticos pueden ser residuales maduros o transportados y desde el punto de vista pedológico son suelos del horizonte B, grupo conocido como los oxisoles, ultisoles o suelos podzólicos y tierras rojas estructuradas; el principal horizonte de estos suelos es de color rojo y/o amarillo, su espesor puede ser de dos a diez metros y puede estar constituida por arenas o arcillas.

La composición mineralógica de los derivados de la arcilla, presentan caolinita como el mineral más predominante y gran cantidad de óxidos e hidróxido de hierro y aluminio; y en cuanto a los derivados de la arena, estos presentan cuarzo, minerales pesados y agregados no disgregados.

La propiedad y el comportamiento característico de un suelo arcilloso es la aglomeración en forma de terrones resistentes a la acción hídrica; en cuanto a los suelos lateríticos arenosos, estos presentan vacíos intergranulares que presentan una alta porosidad aparentemente natural, alta permeabilidad, baja resistencia y baja capacidad de soporte, no obstante cuando se encuentran bien compactadas adquieren alta resistencia, baja permeabilidad, pérdida mínima de capacidad de soporte por inmersión en agua, además pueden ser plásticos o poco plásticos. Por otro lado, la combinación areno – arcillosa presenta mayor capacidad de soporte que las arcillas y sus variedades (9).

Según Bemucci (1995), la distribución geográfica de los suelos lateríticos se encuentra en la faja intertropical del planeta, en las regiones donde el clima es favorable al intemperismo intenso y rápido, con altas temperaturas, ambiente húmedo, lluvias abundantes y filtración de agua. Es así que Perú se encuentra en la faja intertropical y presenta suelos lateríticos en las regiones de la selva (9).

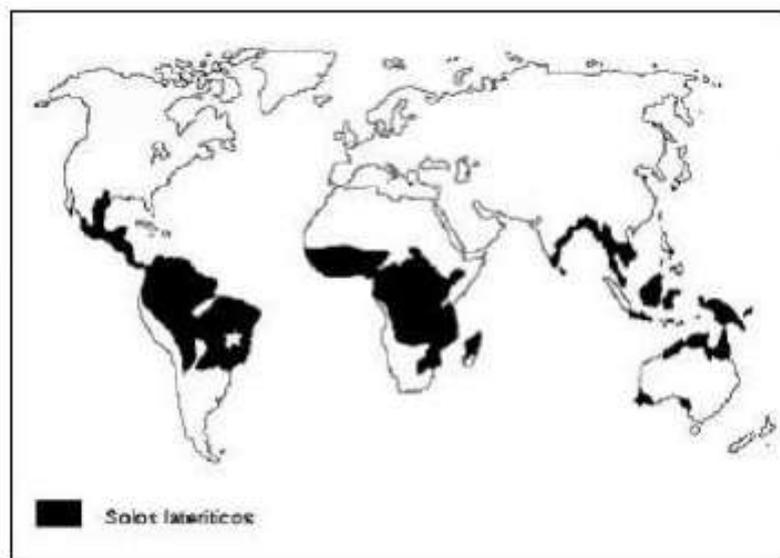


Figura 7. Ubicación de suelos lateríticos a nivel mundial

Fuente: (Aplicación de metodología MCT en estudio de suelos tropicales con fines de pavimentación en la selva baja del Perú, 2018)

- **Clasificación MCT.**

MCT – Miniatura Compacta Tropical, es un sistema de clasificación de suelos tropicales desarrollado por Nogami y Villibor. Esta clasificación fue desarrollada en Brasil cuyas propiedades no se basan en el análisis granulométrico e índice de plasticidad, pues se basa en ensayos de compactación y pérdida de masa por inmersión de agua.

En este método se utilizan muestras compactadas de 5 cm de diámetro y altura para determinar las propiedades de contracción, permeabilidad, expansión, coeficiente de penetración de agua, cohesión, capacidad de soporte y familias de curvas de compactación. Por lo que se propusieron dos grupos de suelos; con comportamiento lateríticos (L) y comportamiento no laterítico (N), como se muestran en la tabla siguiente (34).

Tabla 5. *Clasificación MCT de suelos.*

Grupos de clasificación MCT	Descripción
LG'	Arcillas lateríticas y arcillas lateríticas arenosas.
LA'	Arenas arcillosas lateríticas.
LA	Arenas con poca arcilla laterítica.
NG'	Arcillas, arcillas limosas y arcillas arenosas no lateríticas.
NS'	Limos caoliníticos y micáceos, limos arenosos y limos arcillosos no lateríticos.
NA'	Arenas limosas y arenas arcillosas no lateríticas.
NA	Arenas limosas con limos cuarzosos y limos arcillosos no lateríticos.

Fuente: (*Clasificación del suelo por el método MCT, 2014*)

LG' – **Suelos arcillosos lateríticos:** formado por arcillas y arcillas arenosas que constituyen el horizonte B de los suelos cohesivos pedológicamente como latosuelos, suelos podzológicos y tierras bien estructuradas. Cuando presentan alto porcentaje de arena tienen comportamiento semejante a los suelos de grupo LA'.

LA' – **Suelos arenosos lateríticos:** Suelos arenosos y del horizonte B de suelos cohesivos en Brasil. Presentan matices rojos y amarillos, cortes finos (poco o nada erosivos), con trincados nítidos cuando se exponen a la intemperie.

LA – **Arenas lateríticas:** En este grupo se encuentran incluidas las arenas con pocos finos, con comportamiento laterítico típico del horizonte B de suelos cohesivos como arenas de cuarzos.

NG’–**Suelos arcillosos no lateríticos:** Comprende suelos saprolíticos arcillosos que provienen de rocas sedimentarias arcillosas o cristalinas pobres en cuarzos y ricas en anfíbolitas, piroxenos y feldespatos cálcicos. La clasificación de este tipo de suelo corresponde a los superficiales pedogénicos no lateríticos como los vertisuelos y suelos transportados.

NS’–**Suelos sedimentarios no lateríticos:** Comprende suelos saprolíticos areno–sedimentarios, del resultado del intemperismo tropical de rocas metamórficas y volcánicas con constitución predominante de feldespatos, micas y cuarzos. La variedad más abundante son las arenas que provienen de los cuarzos que pueden tener características mecánicas e hidráulicas similares a los suelos del grupo NA’.

NA’–**Suelos arenosos no lateríticos:** Conformados por la combinación de arenas con cuarzos o minerales de propiedades similares con finos que pasan el tamiz de 0.075 mm. La variedad más abundante son los suelos saprolíticos que provienen de rocas ricas en cuarzo como granito, neis, areniscas y cuarzos impuros.

NA –**Arenas no lateríticas:** Conformado por arenas, materiales sedimentarios y la combinación de arenas con sedimentos, cuyos granos se encuentran constituidos por cuarzos y micas, no posee finos arcillosos cohesivos sedimentarios caolinífticos (34).

Por otro lado, en el artículo de investigación de *Geotécnica de los suelos peruanos* (1995) se muestra el tipo de suelo según la clasificación MCT y SUCS con las características típicas de comportamiento (10).

Tabla 6. Características de comportamiento de suelos tropicales.

Tipo de suelo	Soporte y resistencia	Expansión	Contracción	Permeabilidad	Succión	Erosión hidráulica
1. Laterita arena (LA)*(SP, SC) **	ALTO	BAJA	BAJA	BAJA A MEDIA	BAJA	
2. Laterita arenosa (LA') (SC)	ALTO	BAJA	BAJA A MEDIA	BAJA	BAJA	
3. Laterita arcillosa (LG')(MH, ML, OL, CH, OH)	BAJA	BAJA	MEDIA A ELEVADA	BAJA	BAJA	MEDIA
4. Saprolita arenosa (NA') (SM, SC, ML, OL)	ACEPTABLE	BAJA	BAJA A MEDIA	BAJA	BAJA A MEDIA	ALTA
5. Saprolita limosa (NS') (SM, SC, ML, MH, OH)	BAJA	ELEVADA	MEDIA	BAJA A MEDIA	ELEVADA	ELEVADA
6. Saprolita arcillosa (NG') (MH, CH)	BAJA	MEDIA A ELEVADA	MEDIA A ELEVADA	BAJA A MEDIA	MEDIA A ELEVADA	

* Clasificación MCT

** Clasificación SUCS

Fuente: (Propiedades de los suelos tropicales del Perú, 1995)

2.2.3. Ensayos de laboratorio.

2.2.3.1. Análisis granulométrico.

La composición granulométrica de un suelo grueso, sirve para discernir sobre la influencia que puede tener en la densidad del material compactado (35).

Según el *Ministerio de Transportes y Comunicaciones* (2014), el análisis granulométrico tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función al tamaño de sus partículas (36). La siguiente tabla, muestra la clasificación de suelos según el tamaño de partículas.

Tabla 7. Clasificación de suelos según tamaño de partícula.

Tipo de material		Tamaño de partículas
Grava		75mm - 4.75mm
Arena		Arena gruesa: 4.75mm – 2.00mm
		Arena media: 2.00mm – 0.425mm
		Arena fina: 0.425mm – 0.075mm
Material fino	Limo	0.075mm – 0.005mm
	Arcilla	Menor a 0.005mm

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Así mismo, el suelo se clasifica según la información de la granulometría, plasticidad e índice de grupo. La clasificación del suelo permite predecir su comportamiento, por lo

que, en la siguiente tabla, se muestra la correlación de clasificación del suelo entre el sistema SUCS y AASHTO.

Tabla 8. *Correlación de clasificación de suelos.*

Clasificación de suelos AASHTO	Clasificación de suelos AASHTO
AASHTO M 145	ASTM D 2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

Por otro lado, en la siguiente figura se muestra el sistema de clasificación del suelo según AASHTO M 145 y/o ASTM D 3282 (25).

Clasificación general	Suelos granulares 35% máximo que pasa por tamiz de 0.075 mm (N° 200)							Suelos finos más de 35% pasa por el tamiz de 0.075 mm (N° 200)				
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Análisis granulométrico % que pasa por el tamiz de:												
2 mm (N° 10)	máx. 50											
0.425 mm (N° 40)	máx. 30	máx. 50	min. 51									
F: 0.075 mm (N° 200)	máx. 15	máx. 25	máx. 10	Máx. 35	máx. 35	máx. 35	máx. 35	min. 36	min. 36	min. 36	min. 36	min. 36
Características de la fracción que pasa el 0.425 (N° 40) Características de la fracción que pasa del tamiz (N° 40)												
LL: Límite de Líquido				máx. 40	min. 41	máx. 40	min. 41	máx. 40	Min. 41	máx. 40	min. 41	min. 41
IP: Índice de Plasticidad	máx. 6	máx. 6	NP	máx. 10	máx. 10	min. 11	min. 11	máx. 10	máx. 10	min. 11	min. 11 ^(a)	min. 11 ^(b)
Tipo de material	Piedras, gravas y arenas		Arenas Finas	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillos		
Estimación general del suelo como sub rasante	Excelente a bueno						Regular a insuficiente					

(a) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-5: es igual o menor que LL-30.

(b) Índice de Plasticidad del subgrupo A-7-6: es mayor que LL-30.

- Cuando se requiera relacionar los grupos con el Índice de Grupo (IG), estos deben mostrarse entre paréntesis después del símbolo del grupo, ejemplo: A-18:182-6 (3), A-4(5):A-7-5 (17), etc
 $IG = (F-35) [0.2+0.005 ((LL-40))] +0.01 (F-15)(IP-10)$.

Figura 8. Clasificación de suelos según AASHTO
Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

2.2.3.2. Contenido de humedad.

Según el *Ministerio de Transportes y Comunicaciones* (2014), el contenido de humedad es otra característica importante de los suelos, ya que la resistencia del suelo subrasante en especial de los finos, se encuentra directamente asociada a las condiciones de humedad y densidad que presentan estos suelos (25).

Del mismo modo, menciona que, si la humedad natural es igual o inferior a la humedad óptima, el Proyectista debe proponer la compactación normal del suelo y el aporte de una cantidad de agua conveniente. En caso que la humedad natural sea superior a la humedad óptima, se debe proponer el incremento de energía de compactación, aireando el suelo e incluso la posibilidad de reemplazar el material saturado (25).

2.2.3.3. Límites de Atterberg.

Prueba que reside en precisar los estados de las tres etapas del suelo, que pueden ser: líquido, plástico y sólido, y que también son conocidas como los límites de Atterberg en el cual se localiza la plasticidad de un suelo. Es necesario conocer el porcentaje de humedad en que el suelo presenta un comportamiento líquido y/o plástico, y a partir de ello se pueda obtener el índice de plasticidad del suelo (37).

- **Límite líquido.**

Se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje, respecto al seco de la muestra, en el que el suelo pasa del estado líquido al plástico. Según lo mencionado, los suelos plásticos tienen en el límite líquido una resistencia muy reducida frente al esfuerzo de corte, pero definida, y según Atterberg esa resistencia es de 25 gr/cm^2 (35).

- **Límite plástico**

Se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje, respecto al peso seco de la muestra, en el que el suelo cohesivo pasa del estado semisólido al estado plástico (35).

El *Ministerio de Transportes y Comunicaciones* (2014), menciona que además de obtener el Límite Líquido (LL) y el Límite Plástico (LP), se obtiene un valor característico que el Índice de Plasticidad (IP) y es equivalente a la diferencia entre el LL y el LP. Cabe mencionar que el IP, señala el intervalo de humedad de los suelos que poseen consistencia plástica y se puede clasificar. Donde para un suelo muy arcilloso le corresponde un valor de IP alto, mientras que para un

suelo con bajo contenido de arcillas le corresponde un valor de IP bajo; tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9. Clasificación del suelo según el índice de plasticidad

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$7 < IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos
$IP = 0$	No plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

2.2.3.4. Proctor modificado.

Ensayo que se realiza con la finalidad de determinar la cantidad óptima de agua en un suelo que admite la mejor compactación para cierta energía (37).

Prueba con la que se puede encontrar la humedad requerida y ver la compactación perfecta del suelo, por medio del volumen de peso contenido en un molde; al que se denomina densidad relativa en un volumen, bajo una humedad requerida. Para el cual se realiza un proceso que consiste en aplicar una variedad de golpes en cinco capas, que están relacionadas con las herramientas utilizadas para encontrar dicha densidad (38).

2.2.3.5. Ensayo CBR en laboratorio.

Prueba que tiene como objetivo estimar la capacidad de carga de un suelo que se encuentra sujeto a cargas de ruedas, es decir capacidad para soportar una determinada estructura (39).

El *Manual de carreteras- sección suelos y pavimentos del MTC* (2014), menciona que tras la clasificación del suelo según el sistema AASHTO y SUCS, se debe elaborar el perfil estratigráfico para cada sector homogéneo y que, a partir de este perfil, se determinará el programa de ensayos para obtener el valor de soporte del suelo (CBR) con una penetración de carga de 2.54 mm. También menciona las consideraciones que se deben tener para obtener el valor de CBR de diseño para una subrasante (25).

- Para sectores con 6 valores a más de CBR, se determinará el valor CBR de diseño de la subrasante promedio total, de los valores obtenidos por sector con características homogéneas (25).
- En caso de tener menos de 6 valores de CBR, se deben considerar los siguientes criterios:

- Si los valores son similares, considerar un valor promedio.
- Si los valores no son similares, considerar el valor crítico (CBR más bajo) o subdividir la sección con la finalidad de agrupar subsectores con valores de CBR similares y definir el promedio; sin olvidar que la longitud de los subsectores debe de ser mayor a los 100 m.

En la siguiente tabla, se muestra las categorías de la subrasante según el valor de CBR.

Tabla 10. *Categorías de subrasante según CBR*

Categoría de subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	$CBR < 3\%$
S1: Subrasante insuficiente	$3\% \leq CBR < 6\%$
S2: Subrasante regular	$6\% \leq CBR < 10\%$
S3: Subrasante buena	$10\% \leq CBR < 20\%$
S4: Subrasante muy buena	$20\% \leq CBR < 30\%$
S5: Subrasante excelente	$CBR \geq 30\%$

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

2.3. Definición de términos básicos.

- **Ceniza.**

Polvo de color gris claro, que queda después de una combustión completa y generalmente está formada por sales alcalinas, sales térreas, sílice y óxidos metálicos (40).

- **Compactación.**

Acción y efecto de compactar, característica de un cuerpo compacto con textura apretada y poco porosa (40).

- **CBR.**

Por sus siglas en inglés *California Bearing Ratio* (CBR), ensayo que determina el valor de capacidad portante del suelo de la subrasante, para el cual se debe tener valores en porcentaje iguales o superiores al 6% para ser considerado como subrasante regular; así como también valores constantes en todo el tramo de una carretera proyectada (25).

- **Estabilización.**

Acción y efecto de estabilizar, generalmente se adiciona una sustancia para evitar la degradación (40). Mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo, por medio de procedimientos mecánicos e incorporación de productos químicos, naturales o sintéticos. La estabilización de suelos se realiza con la

finalidad de dotar al suelo de resistencia mecánica y permanencia de dicha propiedad en el tiempo, las técnicas van desde la adición de otro suelo hasta la incorporación de uno o más agentes estabilizantes, ante cualquier tipo de mecanismo de estabilización este debe ser seguido de un proceso de compactación que garantice el funcionamiento de la subrasante (12).

- **Suelo.**

Agregado no cementado, compuesto de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto al líquido y gas que ocupan espacios vacíos entre las partículas sólidas. Utilizado como material de construcción en diversos proyectos de ingeniería civil (11).

- **Subrasante.**

Asiento directo de la estructura del pavimento que forma parte del prisma de la carretera que se construye sobre un terreno natural; se encuentra conformada por suelos seleccionados de características aceptables y compactadas por capas para construir un cuerpo estable en óptimo estado, de tal forma que no se vea afectada por la carga de diseño proveniente del tránsito (36).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Métodos y alcance de la investigación.

3.1.1. Método de investigación.

El método de la investigación es científico, ya que es “un estudio original y planificado que tiene como finalidad obtener nuevos conocimientos científicos y tecnológicos” (41). Por lo cual la investigación se considera original y planificada, ya que se siguió un orden de realización para lograr el objetivo propuesto, así mismo los conocimientos obtenidos responden a la ejecución de los ensayos en el laboratorio con el suelo tropical y la ceniza de caña de azúcar.

3.1.2. Tipo de investigación.

El tipo de investigación es aplicada, ya que se pone en práctica los conocimientos adquiridos para el beneficio de una determinada población (41). En la investigación se aplicó el conocimiento concerniente a los suelos tropicales, estabilización de suelos con ceniza de caña de azúcar y los ensayos de suelos en laboratorio según la normativa del *Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú* (2016).

3.1.3. Alcance de investigación.

El alcance o nivel de la investigación es explicativo, debido a que “está dirigido a responder por las causas de los efectos y fenómenos físicos o sociales”, además se

cuenta con grupos de tratamiento (42). Es así que la causa se enfoca en las proporciones de ceniza de caña de azúcar y las consecuencias responden a los efectos en la estabilización como la compactación y capacidad de soporte del suelo también conocido como CBR de suelos.

3.2. Diseño de la investigación.

El diseño de la investigación es experimental, debido a que “la esencia de esta concepción de experimento es que requiere de la manipulación intencional de una acción, para analizar sus posibles resultados”, en ese sentido la investigación desarrolla la manipulación de la variable independiente de adición de ceniza de caña de azúcar en diferentes proporciones para determinar el efecto en la estabilización del suelo tropical (42).

GE: $O_1 \times O_2$

GC: O_3

3.3. Población y muestra.

3.3.1. Población.

CARRASCO, S. (2006), menciona que, la población “es el conjunto de todos los elementos que pertenecen al ámbito espacial donde se desarrolla el trabajo de investigación” (43). La población de la investigación, está delimitada por los suelos tropicales del distrito de San Ramón de la provincia de Chanchamayo, región Junín.

3.3.2. Muestra.

HERNÁNDEZ, R., y otros (2014) señalan que, la muestra representa un subgrupo del universo o población del cual se recolectan datos representativos de esta. También menciona que una muestra no probabilística es útil cuando se seleccionan casos con características especificadas en el planteamiento del problema (42).

La muestra de la investigación estuvo representada por 240 Kg de suelo tropical que se encuentra en la Avenida Jhan Franco Munier del Centro Poblado Naranjal, del distrito de San Ramón que pertenece a la provincia de Chanchamayo. La avenida mencionada tiene una longitud de 160 m de longitud desde el parque conocido como Hacienda Naranjal hasta la tienda de conveniencia Huaro, en cuyo trayecto se encuentra la

institución educativa Naranjal, por donde transitan ocasionalmente vehículos de las haciendas que se encuentran alejadas del centro poblado.

Tabla 11. *Tratamiento de muestras*

N° de muestra	T0	T1	T2	T3
1	W1	X1	Y1	Z1
2	W2	X2	Y2	Z2
3	W3	X3	Y3	Z3
	\bar{W}	\bar{X}	\bar{Y}	\bar{Z}

Leyenda:

T0: Tratamiento control

T1: Suelo tropical + Ceniza 5%

T2: Suelo tropical + Ceniza 10%

T3: Suelo tropical + Ceniza 15%

Fuente: Elaboración propia

El diseño de la investigación contó con cuatro tratamientos. El tratamiento cero (T0) fue el tratamiento control para el cual se realizaron 3 muestras según lo que estipula el *Manual de Ensayos de Materiales del MTC* (2014); el tratamiento uno (T1) compuesto por el suelo tropical más ceniza de caña de azúcar al 5% del peso de la muestra de suelo; el tratamiento dos (T2) compuesto por el suelo tropical más ceniza de caña de azúcar al 10% del peso de la muestra de suelo y finalmente el tratamiento tres (T3) compuesto por el suelo tropical más ceniza de caña de azúcar al 15% del peso de la muestra de suelo. Cada tratamiento incluye tres muestras para el respectivo desarrollo de cada ensayo, según el *Manual de Ensayos de Materiales del MTC* (2014).

De acuerdo con lo mencionado en las líneas anteriores, el diseño experimental corresponde a un diseño experimental ya que se cuenta con un grupo control que sirve como punto de partida para los otros resultados con diferentes proporciones de adición de ceniza de caña de azúcar.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

3.4.1. Técnicas.

La técnica de recolección de datos fue la observación, este es un proceso intencional que permite recolectar información precisa de las características y rasgos de las unidades de análisis (43). Por lo que en la investigación se aplicó la observación durante la ejecución de los ensayos en laboratorio.

3.4.2. Instrumentos.

Según Valderrama, S (2002), los instrumentos de recolección de datos son “Medios materiales empleados por el investigador para el recojo y almacenamiento de la información. Además, serán seleccionados de forma coherente a las variables investigadas” (44). Los instrumentos de recolección de datos en la investigación fueron las fichas de registro de los ensayos realizados en laboratorio.

3.5. Procesamiento de datos.

3.5.1. Recojo de material en campo.

El recojo de material en campo se realizó en base a lo que recomienda el apartado 4.1 de exploración de suelos del *Ministerio de Transportes y Comunicaciones* (2014), para el cual se realizó una calicata de profundidad de 2.0 m con 1.5 x 1.5m de lado, del que se extrajo 240 Kg de material del estrato más representativo.

Conforme a lo establecido en la NTP (Norma Técnica Peruana) 339.162, la extracción del material depende del tipo, profundidad de exploración, naturaleza de terreno y el posible uso de datos y puede ser entre 1 a 5 m de profundidad, por lo que se consideró la profundidad de calicata de 2.0 m. Respecto a la cantidad de material, la NTP menciona que esta depende de los ensayos que ese van a realizar por lo que se consideró la opción de ensayos de propiedades de agregados que sugiere entre 50 Kg a 200 Kg de material, considerando así la cantidad de 240 Kg de material debido a la humedad del material.

El procedimiento de toma de muestra inició con la demarcación de la calicata para el cual se consideró 1.5 m de lado de tal forma que permita el movimiento de la persona al interior de la calicata. En la figura, se puede observar la calicata realizada en la Avenida Jhan Franco Munier del Centro Poblado Naranjal. Así mismo, se debe mencionar que la muestra extraída corresponde a una muestra alterada.



Figura 9. Calicata en la Av. Jhan Franco Munier, C.P. Naranjal
Fuente: Elaboración propia

Para la descripción e identificación de suelos (procedimiento visual - manual) se consideró la norma ASTM D 2488. Respecto a la angulosidad, no se consideró el primer estrato ya que fue material orgánico de 0.10 m de profundidad, el segundo estrato presentó partículas subangulares. La forma de las partículas no aplica para esta descripción; el color de la muestra fue gris oscuro; el olor del material fue inorgánico. La condición de humedad del suelo fue húmeda y sin ningún rastro visible de agua. La consistencia del suelo fue firme ya que el dedo pulgar ingresó al suelo cerca de $\frac{1}{4}$ " (6 mm).

Para determinar la resistencia en seco del material fino, se usó el criterio de la ASTM D 2488, que consiste en tomar una porción de muestra de 25 mm de diámetro, agregar agua y moldear el material hasta formar una masilla, posteriormente se expuso el material al sol y finalmente se comprimió con los dedos para determinar la resistencia media ya que la muestra se desmoronó con una presión considerable de los dedos.

Para determinar la dilatancia del suelo se tuvo en cuenta el criterio de la ASTM D 2488, que consiste en moldear una muestra de suelo de 12 mm de diámetro hasta una consistencia suave pero no pegajosa, para luego aplanarla en la palma de la mano y

agitar en dirección horizontal golpeando las manos, para determinar una dilatancia lenta ya que el agua desaparece poco a poco una vez presionada.

Para determinar la tenacidad del suelo se consideró el criterio de la ASTM D 2488, este consiste en moldear un hilo de aproximadamente 1/8", del que se obtuvo la tenacidad media del suelo, fue necesario aplicar una presión media para rodar el hilo. La plasticidad de un suelo se determina con las características de la prueba de tenacidad realizada, por lo que la plasticidad del suelo fue baja ya que apenas se pudo enrollar el bastón.

En las siguientes figuras, se muestran las pruebas de identificación manual y visual del suelo en campo.



Figura 10. Resistencia en seco del material fino del suelo
Fuente: Elaboración propia



Figura 11. Dilatancia y tenacidad del suelo
Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo es necesario mencionar acerca de la obtención de ceniza de caña de azúcar; esta se obtuvo de la Hacienda El Cañaverál, ubicada en el distrito de San Ramón, Chanchamayo y según la información recolectada se puede decir que de la producción de 1 Tn (1 000 Kg) de caña de azúcar se puede obtener entre 150 Kg de bagazo de caña de azúcar, de este se puede obtener 6 Kg de ceniza de bagazo de caña de azúcar, es decir el 4% del peso de bagazo de caña de azúcar.

Cabe resaltar que el proceso de combustión del bagazo de caña de azúcar en la Hacienda El Cañaverál se realiza de manera artesanal, en el que se coloca el bagazo de la caña de azúcar para el proceso de combustión (reacción química exotérmica que se manifestó con llamas) al aire libre o en las cocinas mejoradas de las familias cercanas a la hacienda. La quema al aire libre se realiza en un área alejada de las viviendas y los cultivos de caña, sobre una superficie seca, para posteriormente emplearla en parte como fertilizante y estabilizante en los terrenos de cultivo donde usualmente la tierra es ácida debido a la presencia de arcillas; ello se implementa con la finalidad de facilitar el crecimiento de los cultivos de la zona como de la caña de azúcar. En el anexo 2, se adjunta el cálculo de la cantidad de ceniza de caña de azúcar y el costo de producción.

3.5.2. Análisis granulométrico.

El *Manual de ensayo de materiales* (2016), menciona que para realizar el análisis granulométrico por tamizado (MTC E 107) se debe tener en cuenta la norma ASTM D 422. El objetivo de este es determinar el porcentaje de suelo que pasa por los tamices

de la serie empleada. En la figura se puede observar la serie de tamices empleados para el ensayo de análisis granulométrico.



Figura 12. Serie de tamices
Fuente: Elaboración propia

El tamizado corresponde al tipo de tamizado integral ya que previamente se realizó el lavado del material para eliminar el material orgánico. Se realizó el lavado hasta obtener agua cristalina, posteriormente se dejó secar la muestra por un periodo de 24 horas dentro del horno. Una vez que se extrajo la muestra del horno, se dejó enfriar para verterla en la serie de tamices. El tamizado se realizó manualmente, moviendo de un lado hacia otro en circunferencia por un lapso de 1 minuto cada tamiz. Después del tamizado, se registró el peso del material retenido en cada tamiz para elaborar la curva granulométrica. Cabe resaltar que este ensayo se realizó una vez.

3.5.3. Contenido de humedad.

El ensayo para determinar el contenido de humedad (MTC E 108) tiene como referencia normativa la ASTM D 2216 en la cual, la finalidad es obtener el porcentaje de agua en una masa de suelo. Para el procedimiento se tomó una muestra representativa del suelo tropical natural de 351.4 gr aproximadamente. Así mismo, previamente se registró el peso del recipiente, seguidamente se registró el peso de la muestra con el suelo húmedo. Dicha muestra se colocó en el horno de secado por un periodo de 24 horas hasta obtener

peso constante. Después de extraer la muestra del horno, se dejó enfriar hasta que el contenedor fue manipulable y se procedió a registrar el peso de la muestra seca para obtener el porcentaje de humedad natural. Del mismo modo es necesario mencionar que este ensayo se realizó una vez para la muestra de suelo natural.

3.5.4. Índice de plasticidad.

El índice de plasticidad de los suelos, se determina por medio del límite líquido (MTC E 110) y límite plástico (MTC E 111) que tiene como referencia la norma ASTM D 4318 y NTP 339.119.

En primer lugar, se procedió con el ensayo de límite líquido, para el cual se preparó una muestra de suelo de 200 gramos que pasa por el tamiz N°40 y se agregó agua destilada para formar una pasta con la ayuda de una espátula. Antes de colocar la pasta en el equipo de Casagrande, se verificó la calibración de la altura de caída de la copa al contacto de la base y se colocó la manivela. Una vez, calibrada el equipo de Casagrande, se colocó la pasta de suelo hasta una profundidad de 10 mm aproximadamente. Posteriormente se dividió la muestra con el acanalador para empezar a girar el manubrio a razón de 1.9 a 2.1 golpes por segundo, del cual se obtuvo que la muestra colocada se cerró en el tercer golpe. Por lo que se realizó nuevamente el ensayo, obteniendo los mismos resultados e incluso el agrietamiento de la muestra como se muestra en la figura. Determinando la no plasticidad del suelo.



Figura 13. Ensayo de límite líquido
Fuente: Elaboración propia

Para el ensayo de límite plástico, se tomó parte de la mezcla del ensayo de límite líquido. Se formó una esfera, para luego moldear la muestra en elipsoide y rodar con los dedos en la superficie del vidrio esmerilado hasta formar cilindros de 3.2 mm, los cuales no se formaron por la presencia de arena, concordando con lo obtenido en el ensayo de límite líquido. En la figura, se puede observar el desmoronamiento de los cilindros elaborados.



Figura 14. Ensayo de límite plástico
Fuente: Elaboración propia

3.5.5. Proctor modificado – Máxima densidad seca y humedad.

El ensayo de proctor modificado (MTC E 115) tiene como referencia la norma ASTM D 1557, en la cual se aplica energía modificada de 2 700 KN, cuya finalidad es determinar la relación entre el contenido de agua y peso unitario seco del suelo a través de la curva de compactación.

Para el desarrollo, primero se debe determinar el método de ensayo A, B o C. De acuerdo al análisis granulométrico, se determinó el método A. Para ello se requiere de un molde de 4 plg de diámetro (101.6 mm), con material que pasa el tamiz N° 4, en el cual se aplica 5 capas de suelo con 25 golpes por capa. Posteriormente se determinó la cantidad de agua a adicionar para obtener los 4 puntos en la curva de compactación, los cuales fueron en intervalos de 3%; el primer punto se inició con 6% de agua, el segundo con 9%, el tercero con 12% y el cuarto punto con 15%. Cabe mencionar que se empleó suelo seco para realizar las mezclas con agua en los intervalos mencionados. Se tomaron las medidas de volumen y peso del molde sin collarín.

Una vez realizada la mezcla de suelo con la proporción de agua, se procede a colocar la quinta parte en el molde y compactarlo con 25 golpes por capa, continuando con el procedimiento hasta la última capa en la que se enrasó la muestra. Se registró el peso del molde con la muestra de suelo compactada y se procedió a extraer una muestra del suelo compactado para llevarlo al horno y obtener el contenido de humedad. Se repitió el mismo proceso para las diferentes proporciones de agua y para las diferentes proporciones de adición de ceniza de caña de azúcar (5%; 10% y 15%). Resaltando que se realizaron 4 muestras por cada proporción de ceniza de caña de azúcar, haciendo un total de 16 muestras.



Figura 15. Ensayo de proctor modificado
Fuente: Elaboración propia

3.5.6. CBR de suelos - Capacidad de soporte del suelo.

El ensayo de CBR de suelos (MTC E 132) tiene como referencia la norma ASTM D1883 denominado método de prueba estándar para California Bearing Ratio (CBR) de suelos compactados en laboratorio. La finalidad de este ensayo es determinar la resistencia potencial de la subrasante.

Para iniciar el reconocimiento, primero se debe preparar la muestra de suelo según el método C de proctor modificado; para el cual se requiere un molde de 6 plg de diámetro (152.4 mm), placa de base perforada, collarín, pisón de compactación y disco espaciador de 5 15/16 plg de diámetro (150.8 mm) con altura de 61.37 mm para colocarlo como falso fondo en el molde cilíndrico. Referente a la medición de expansión se requiere de una placa de metal perforada y un trípode con dial. También se requiere de pesas; una pesa anular de 2.27 Kg y una pesa ranurada de 2.27 Kg, un pistón de penetración metálico de 49.63 mm de diámetro y 101.6 mm de altura.

En el ensayo se emplearon 3 moldes para desarrollar la compactación con 12; 25 y 56 golpes por capa. Se procedió armando el molde, colocando el disco espaciador y el papel filtro en la base para colocar el material y compactando según el número de golpes hasta enrasarlo en la última capa. Seguidamente se retiró el collarín, se giró invertidamente el molde para retirar el disco espaciador, se colocó el papel filtro, la placa perforada para medir la expansión y se colocaron los pesos o discos de sobrecarga que simulan la carga del pavimento de 10 lbf (5.54 Kg).

Se iniciaron las mediciones, con la lectura de expansión del suelo a las 0 horas y posteriormente se realizaron las mediciones de la expansión cada 24 horas por 4 días. Cabe mencionar que, durante 4 días, las muestras se sumergieron en una poza con agua y ahí se tomaron las medidas de expansión. Al cuarto día, se secaron las muestras de la poza de curado para drenar el agua y retirar la placa perforada, para iniciar con la prueba de carga. Se asentó el pistón de penetración con la menor carga posible, se establecieron los medidores de carga y penetración cero, para aplicar la carga en el pistón con velocidad de 0.05 plg/min (1.27 mm/min) y registrar la lectura de carga en las penetraciones de:

- 0.000 plg
- 0.025plg (0.64mm)
- 0.050plg (1.3mm)
- 0.075plg (1.9mm)
- 0.100plg (2.5mm)
- 0.150plg (3.8mm)
- 0.200plg (5.1mm)
- 0.250plg (6.4mm)
- 0.300plg (7.6mm)
- 0.400plg (10mm)
- 0.500plg (13mm)

Para este ensayo se realizaron 3 muestras por cada proporción de ceniza (suelo natural, 5%; 10% y 15%), con un total de 12 muestras realizadas para este estudio de CBR.



Figura 16. CBR de suelos – muestras sumergidas
Fuente: Elaboración propia



Figura 17. CBR de suelos – prueba de carga
Fuente: Elaboración propia

En el anexo 3, se adjunta el flujograma del procedimiento de los ensayos realizados en laboratorio.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información.

4.1.1. Propiedades físicas del suelo.

4.1.1.1. Tipo de suelo tropical en la Selva Central.

En la siguiente tabla, se muestra el análisis granulométrico del suelo tropical, así mismo se muestra la tabla de resumen con el material más representativo de la muestra de suelo.

Tabla 12. *Análisis granulométrico del suelo natural*

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	85.50	2.94	2.94	97.06
3/8"	9.53	67.20	2.31	5.25	94.75
1/4"	6.35	149.00	5.12	10.37	89.63
No. 4	4.76	99.20	3.41	13.78	86.22
No. 8	2.36	272.80	9.38	23.16	76.84
No. 10	2.00	53.00	1.82	24.98	75.02
No. 16	1.18	235.30	8.09	33.07	66.93
No. 20	0.85	177.90	6.12	39.19	60.81
No. 30	0.60	213.50	7.34	46.52	53.48
No. 40	0.43	212.70	7.31	53.84	46.16
No. 50	0.30	254.30	8.74	62.58	37.42
No. 60	0.25	95.90	3.30	65.87	34.13
No. 100	0.15	315.50	10.85	76.72	23.28

No. 200	0.075	202.60	6.96	83.69	16.31
FONDO	-	474.60	16.31	100.00	0.00
TOTAL		2,909.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Resumen de materiales del suelo

MATERIAL	PESO (gr)	PROPORCIÓN (%)
Grava (3" a N°4)	400.90	13.8
Arena (N°4 a N°200)	2.033.50	69.9
Fino (pasante N°200)	474.60	16.3
TOTAL	2.909.00	100.0

Fuente: Elaboración propia

La siguiente figura, representa la curva granulométrica del suelo.

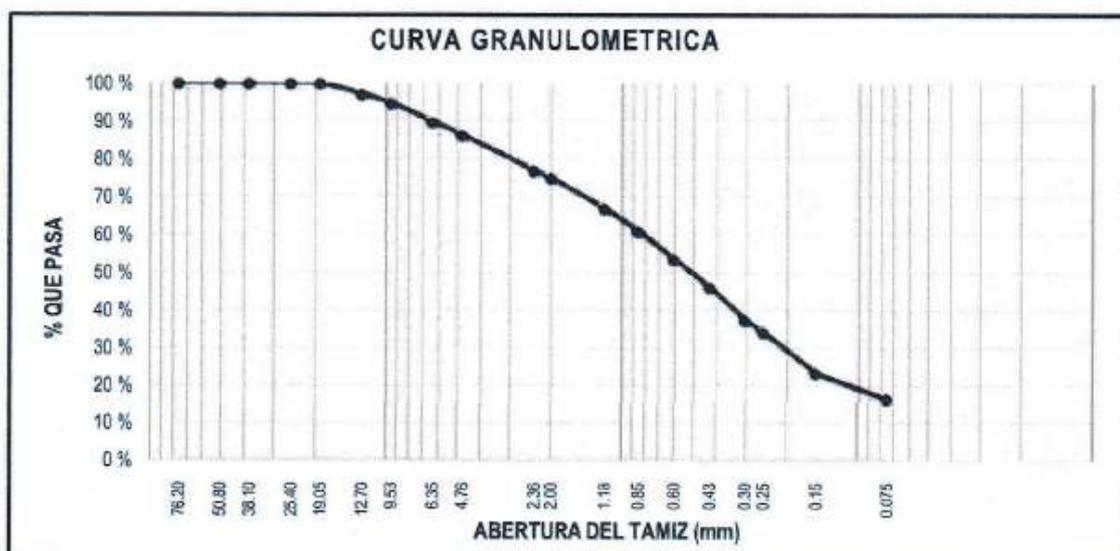


Figura 18. Curva granulométrica del suelo

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente tabla, se muestra el porcentaje de expansión del suelo natural y la capacidad de soporte o CBR del suelo tropical.

Tabla 14. Expansión y capacidad de soporte del suelo tropical natural - CBR

Tratamientos	Expansión (%)	CBR al 95% de MDS (%)	CBR al 100% de MDS (%)
Suelo natural	0.02	6.1	11

Fuente: Elaboración propia

De la tabla de análisis granulométrico, se pudo determinar que el tipo del suelo tropical es un SC – arena arcillosa según la clasificación SUCS y un A – 2 – 4 según la

clasificación AASHTO, con material más representativo de arenas. Según la clasificación MCT el suelo tropical pertenece al grupo NA' de arenas arcillosas no lateríticas, también conocida como saprolita arenosa.

4.1.1.2. Humedad natural del suelo tropical.

En la siguiente tabla, se muestra el resultado del contenido de humedad natural del suelo tropical.

Tabla 15. *Humedad natural del suelo tropical*

Masa de recipiente (gr)	74.1
Masa de recipiente + suelo húmedo (gr)	425.5
Masa de recipiente + suelo seco (gr)	380.2
Masa de agua (gr)	45.3
Masa de suelo seco (gr)	306.1
Contenido de humedad %	14.80

Fuente: Elaboración propia

4.1.1.3. Índice de plasticidad del suelo tropical.

La tabla siguiente, muestra los resultados de los ensayos de límite líquido y plástico practicados al suelo tropical.

Tabla 16. *Índice de plasticidad del suelo tropical*

Límite líquido	NP
Límite plástico	-
Índice de plasticidad	NP

Fuente: Elaboración propia

De la tabla se puede observar que el suelo tropical no presenta índice de plasticidad o es no plástico tal como se describió en el procedimiento del ensayo.

4.1.2. Adición de ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical.

La siguiente tabla, muestra los resultados de los tratamientos de adición de ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical para los tratamientos 0 (adición de 0% de ceniza de caña de azúcar); 1 (adición de 5% de ceniza de caña de azúcar); 2 (adición de 10% de ceniza de caña de azúcar) y 3 (adición de 15% de ceniza de caña de azúcar) aplicados.

Tabla 17. Ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical

Muestra	T0		T1		T2		T3	
	Suelo natural		Suelo 95% + 5% CCA		Suelo 90% + 10% CCA		Suelo 85% + 15% CCA	
	Densidad seca (gr/cm ³)	Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm ³)	Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm ³)	Humedad (%)	Densidad seca (gr/cm ³)	Humedad (%)
1	2.073	6.0	1.987	5.6	1.853	5.7	1.916	7.3
2	2.152	9.0	2.035	8.5	1.961	7.8	1.977	8.4
3	2.023	12.0	2.066	10.3	2.052	10.0	2.031	10.2
4	1.919	14.9	1.918	12.9	1.938	12.5	1.907	13.8
Resultados de proctor	2.160	8.200	2.066	10.2	2.054	10.3	2.034	10.7

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, se construyó el siguiente gráfico de barras para observar la variación de los resultados obtenidos.

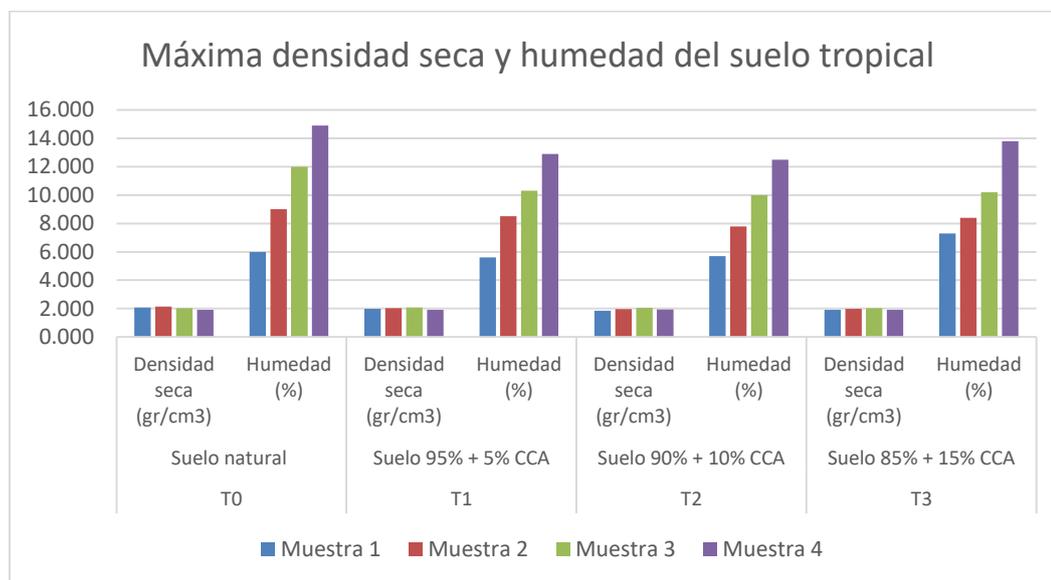


Figura 19. Ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical.

Fuente: Elaboración propia

Conforme a la tabla y figura adjuntadas, se puede observar que la adición de ceniza de caña de azúcar reduce la densidad seca y el contenido de humedad en los tratamientos aplicados al suelo tropical.

4.1.3. Adición de ceniza de caña de azúcar en la capacidad de soporte del suelo tropical.

En la siguiente tabla, se muestran los resultados de la capacidad de soporte del suelo con las diferentes proporciones de ceniza de caña de azúcar. Los resultados se obtuvieron del ensayo de CBR de suelos en laboratorio.

Tabla 18. *Capacidad de soporte del suelo tropical.*

Tratamientos	CBR al 95% de la MDS (%)	CBR al 100% de la MDS (%)
Suelo natural	6.1	11
Suelo 95% + 5% CCA	17.5	41.7
Suelo 90% + 10% CCA	43.8	47.5
Suelo 85% + 15% CCA	38.9	48.4

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, se construyó el gráfico de barras con la finalidad de evidenciar gráficamente los valores de CBR obtenidos.

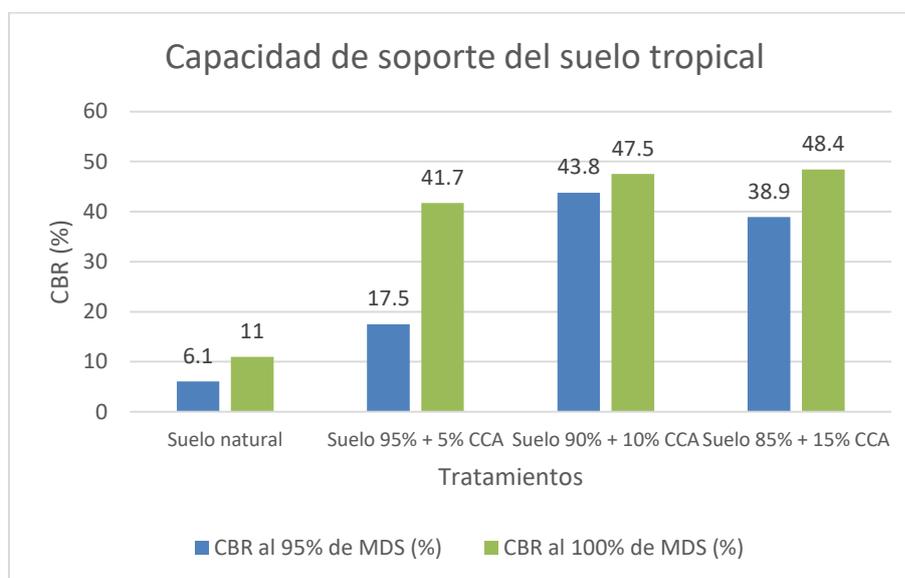


Figura 20. Capacidad de soporte del suelo tropical

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla y figura adjuntas, se puede apreciar que el tratamiento 2 de 90% de suelo tropical con 10% de ceniza de caña de azúcar evidencia mayores valores de CBR al 95% y 100% de la máxima densidad seca.

En la siguiente tabla, se puede observar la expansión del suelo tropical con las diferentes proporciones de ceniza de caña de azúcar.

Tabla 19. *Expansión del suelo tropical*

Tratamientos	Expansión (%)
Suelo natural	0.02
Suelo 95% + 5% CCA	0.08
Suelo 90% + 10% CCA	0.07
Suelo 85% + 15% CCA	0.17

Fuente: Elaboración propia

4.2. Prueba de hipótesis.

4.2.1. Adición de ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical.

Se desarrolló la prueba de hipótesis por medio del diseño experimental de cuadrado latino, ya que se contaron con 4 filas (muestras) y 4 columnas (tratamientos) como requerimiento para este diseño experimental.

4.2.1.1. Adición de ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca.

En la siguiente tabla, se muestra el agrupamiento de datos para el diseño de cuadrado latino, de la densidad seca del suelo tropical con adición de ceniza de caña de azúcar.

Tabla 20. Agrupación de datos – cuadrado latino: máxima densidad seca

Muestra	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
1	2.073	1.987	1.853	1.916
2	2.152	2.035	1.961	1.977
3	2.023	2.066	2.052	2.031
4	1.919	1.918	1.938	1.907

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, se debe mencionar que para el desarrollo del cuadrado latino se planteó un orden de variables para los valores de la densidad seca obtenida.

Tabla 21. Distribución de variables – cuadrado latino: máxima densidad seca

Muestra	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
M1	V1	V2	V3	V4
M2	V4	V3	V2	V1
M3	V2	V4	V1	V3
M4	V3	V1	V4	V2

Fuente: Elaboración propia

En base a la distribución de variables propuesta, en la siguiente tabla se puede observar el ordenamiento de estas con los valores respectivos.

Tabla 22. Ordenamiento de variables – cuadrado latino: máxima densidad seca

Muestra	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T4
M1	2.073	1.987	1.853	1.916
M2	1.977	1.961	2.035	2.152
M3	2.066	2.031	2.023	2.052
M4	1.938	1.919	1.907	1.918

Fuente: Elaboración propia

El análisis de varianza del diseño de experimental de cuadrado latino, se obtuvo del cálculo de suma de cuadrados y cuadrados medios que se obtienen directamente del programa SPSS, tras el ingreso de datos. En la siguiente tabla se muestra el análisis de varianza para la densidad seca del suelo tropical.

Tabla 23. *Análisis de varianza – cuadrado latino: máxima densidad seca*

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Densidad seca.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	.072 ^a	9	.008	2.391	.150
Intersección	63.234	1	63.234	18800.150	.000
Muestras	.042	3	.014	4.122	.066
Tratamientos	.021	3	.007	2.123	.199
Variables	.009	3	.003	.929	.482
Error	.020	6	.003		
Total	63.327	16			
Total corregido	.093	15			

a. R al cuadrado = .782 (R al cuadrado ajustada = .455)

Fuente: Elaboración propia

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

Del análisis de varianza al 95% de confiabilidad se obtuvieron los valores de F experimental para muestras, tratamientos y variables de 4.122; 2.123 y 0.929 respectivamente frente al valor de F teórico ($F_{0.05; 3; 6} = 4.76$) los cuales señalan que la adición de ceniza de caña de azúcar no es significativa en las muestras, tratamientos y variables del suelo tropical, ya que los valores de F experimental fueron menores a F teórico. Por esta razón se acepta la hipótesis nula de que la adición de ceniza de caña de azúcar es igual en la máxima densidad seca del suelo tropical con diferentes tratamientos y se puede decir que esta no influye en la máxima densidad seca del suelo tropical.

En cuanto al porcentaje de significancia, se puede observar que 0.482 ó 48.2% de las variables o valores de máxima densidad seca del suelo se vieron afectadas por la adición de ceniza de caña de azúcar.

Del mismo modo, se realizó la prueba de Tukey para determinar qué tratamiento y muestra presentó mayores valores de máxima densidad seca del suelo. La siguiente tabla, muestra la prueba de Tukey para las muestras.

Tabla 24. Prueba de Tukey – muestras: máxima densidad seca

Densidad seca

HSD Tukey^{a, b}

Muestras	N	Subconjunto
		1
4.00	4	1.92050
1.00	4	1.95725
2.00	4	2.03125
3.00	4	2.04300
Sig.		.087

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = .003.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

b. Alfa = 0.05.

Fuente: Elaboración propia

Conforme a la prueba de Tukey realizada, se puede observar que las muestras 3 y 2 de todos los tratamientos evidenciaron mayores valores de máxima densidad seca del suelo con 2.04 gr/cm³ y 2.03 gr/cm³ respectivamente.

En la siguiente tabla se muestra el resultado de la prueba de Tukey para los tratamientos aplicados.

Tabla 25. Prueba de Tukey – tratamientos: máxima densidad seca.
Densidad seca

HSD Tukey^{a, b}

Tratamientos	N	Subconjunto
		1
2.00	4	1.95100
3.00	4	1.95775
1.00	4	2.00150
.00	4	2.04175
Sig.		.222

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = .003.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

b. Alfa = 0.05.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 25, se puede decir que el tratamiento 0 y 1 presentó mayores valores de densidad seca con 2.04 gr/cm³ y 2.00 gr/cm³ respectivamente. El tratamiento cero corresponde al suelo tropical natural sin adición de ceniza de caña de azúcar.

4.2.1.2. Adición de ceniza de caña de azúcar en el contenido de humedad.

La tabla siguiente muestra los datos agrupados de la humedad óptima del suelo con adición de ceniza de caña de azúcar, para el diseño experimental de cuadrado latino.

Tabla 26. Agrupación de datos – cuadrado latino: humedad óptima

Muestra	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
1	6.000	5.600	5.700	7.300
2	9.000	8.500	7.800	8.400
3	12.000	10.300	10.000	10.200
4	14.900	12.900	12.500	13.800

Fuente: Elaboración propia

Del mismo modo, en la siguiente tabla se muestra la distribución de variables para los valores de humedad óptima obtenidos.

Tabla 27. Distribución de variables – cuadrado latino: humedad óptima

Muestra	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T3
M1	V1	V2	V3	V4
M2	V4	V3	V2	V1
M3	V2	V4	V1	V3
M4	V3	V1	V4	V2

Fuente: Elaboración propia

Conforme a la distribución de variables, la siguiente tabla muestra los valores de la humedad óptima según la distribución propuesta.

Tabla 28. Ordenamiento de variables – cuadrado latino: humedad óptima

Muestra	Tratamientos			
	T0	T1	T2	T4
M1	6.000	5.600	5.700	7.300
M2	8.400	7.800	8.500	9.000
M3	10.300	10.200	12.000	10.000
M4	12.500	14.900	13.800	12.900

Fuente: Elaboración propia

En base a la distribución de valores de la humedad óptima, se obtuvo el análisis de varianza tras el ingreso de los datos en el programa SPSS. En la siguiente tabla se muestra el análisis de varianza para la humedad óptima del suelo tropical con ceniza de caña de azúcar en diferentes proporciones.

Tabla 29. Análisis de varianza – cuadrado latino: humedad óptima.

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Contenido de humedad

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	124.656a	9	13.851	30.233	.000
Intersección	1499.626	1	1499.626	3273.398	.000
Muestras	118.852	3	39.617	86.477	.000
Tratamientos	5.122	3	1.707	3.727	.080
Variables	.682	3	.227	.496	.698
Error	2.749	6	.458		
Total	1627.030	16			
Total corregido	127.404	15			

a. R al cuadrado = .978 (R al cuadrado ajustada = .946)

Fuente: Elaboración propia

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

De acuerdo al análisis de varianza con 95% de confiabilidad, se obtuvieron los valores de F experimental para muestras, tratamiento y variables de 85.477; 3.727 y 0.496 respectivamente frente al valor de F teórico ($F_{0.05; 3; 6} = 4.76$) de los cuales se puede decir que la ceniza de caña de azúcar fue significativa en las muestras del suelo a

diferencia de los tratamientos y variables donde la ceniza de caña de azúcar no fue significativa. Por lo cual se acepta la hipótesis nula de que la adición de ceniza de caña de azúcar es igual en la humedad óptima del suelo con diferentes tratamientos, como también que la adición de ceniza de caña de azúcar no influye en la humedad óptima del suelo tropical.

Respecto al porcentaje de significancia se puede decir que 0.698 ó 69.8% de los valores de humedad óptima del suelo se vieron afectados o influenciados por la adición de ceniza de caña de azúcar.

Se realizó la prueba de Tukey con la finalidad de determinar qué tratamiento y muestra presentó mayores valores de humedad óptima. En la siguiente tabla se muestran los resultados de la prueba de Tukey para las muestras.

Tabla 30. Prueba de Tukey – muestras: humedad óptima.

Contenido de humedad

HSD Tukey^{a, b}

Muestras	N	Subconjunto			
		1	2	3	4
1,00	4	6.1500			
2,00	4		8.4250		
3,00	4			10.6250	
4,00	4				13.5250
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = .458.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

b. Alfa = 0.05.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados de la prueba de Tukey para muestras, es posible decir que la muestra 4 evidenció mayor porcentaje de humedad óptima frente a las otras muestras. También se puede decir que la humedad óptima es diferente para las cuatro muestras.

Tabla 31. Prueba de Tukey – tratamientos: humedad óptima.
Contenido de humedad

HSD Tukey^{a, b}

Tratamientos	N	Subconjunto
		1
2.00	4	9.0000
1.00	4	9.3250
3.00	4	9.9250
.00	4	10.4750
Sig.		.078

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = .458.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 4.000.

b. Alfa = 0.05.

Fuente: Elaboración propia

Conforme a la tabla 31 de los resultados de la prueba de Tukey para tratamientos, es posible decir que el tratamiento 0 evidenció mayor porcentaje de humedad óptima a diferencia de los otros tratamientos aplicados.

4.2.2. Adición de ceniza de caña de azúcar en la capacidad de soporte del suelo tropical.

Se desarrolló la prueba de hipótesis de la capacidad de soporte del suelo tropical con el diseño de bloques completamente al azar. Para ello se consideró en bloques a los valores de CBR al 95% y 100% de la máxima densidad seca.

En la siguiente tabla se muestra el agrupamiento de los datos de CBR para aplicar el diseño de bloques completamente al azar.

Tabla 32. Agrupación de datos – diseño de bloques completamente al azar: CBR.

Tratamientos	Bloques	
	(1) CBR al 95% de la MDS (%)	(2) CBR al 100% de la MDS (%)
(T0) Suelo natural	6.100	11.000
(T1) Suelo 95% + 5% CCA	17.500	41.700
(T2) Suelo 90% + 10% CCA	43.800	47.500
(T3) Suelo 85% + 15% CCA	38.900	48.400

Fuente: Elaboración propia

De la agrupación de datos, se obtuvo el análisis de varianza tras ingresar los datos en el programa SPSS. La tabla siguiente muestra el análisis de varianza.

Tabla 33. Análisis de varianza – diseño de bloques completamente al azar: CBR.

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Capacidad de soporte.

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1978.925a	4	494.731	11.148	.038
Intersección	8121.751	1	8121.751	183.013	.001
Bloques	223.661	1	223.661	5.040	.110
Tratamientos	1755.264	3	585.088	13.184	.031
Error	133.134	3	44.378		
Total	10233.810	8			
Total corregido	2112.059	7			

a. R al cuadrado = .937 (R al cuadrado ajustada = .853)

Fuente: Elaboración propia

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

De acuerdo al análisis de varianza obtenido al 95% de confiabilidad, los valores de F experimental para los bloques y tratamientos fueron 5.040 y 13.184 respectivamente cuyos valores F teórico ($F_{0.05}$ bloques; 1; 3 = 10.13) y ($F_{0.05}$ tratamientos; 3; 3 = 9.28) es posible decir que la adición de ceniza de caña de azúcar es significativa en los tratamientos aplicados, debido a que F experimental de tratamientos fue mayor a F teórico de tratamientos. Por lo que se acepta la hipótesis alterna de que la adición de ceniza de caña de azúcar es diferente en la capacidad de soporte del suelo y se establece que la adición de ceniza de caña de azúcar influye significativamente en la capacidad de soporte del suelo tropical.

Así mismo se realizó la prueba de Tukey para determinar qué tratamientos presentaron mayores valores de capacidad soporte. En la tabla siguiente se muestran los resultados de la prueba de Tukey para los tratamientos.

Tabla 34. Prueba de Tukey – tratamientos: CBR

Capacidad de soporte

HSD Tukey^{a, b}

Tratamientos	N	Subconjunto	
		1	2
.00	2	8.5500	
1.00	2	29.6000	29.6000
3.00	2		43.6500
2.00	2		45.6500
Sig.		.143	.253

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática (Error) = 44.378.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 2.000.

b. Alfa = 0.05.

Fuente: Elaboración propia

Conforme a los resultados de la tabla 34, se puede decir que los tratamientos 2 y 3 presentaron mayores valores de capacidad soporte con 45.65% y 43.65% respectivamente a diferencia de los tratamientos 0 y 1 que son menores.

4.3. Discusión de resultados.

4.3.1. Propiedades físicas del suelo tropical.

El primer objetivo específico planteado fue identificar el tipo de suelo tropical de la Selva Central. Según la clasificación SUCS del cuadro 4.9 de correlación de suelos AASHTO y SUCS del *Ministerio de Transportes y Comunicaciones* (2014) que se muestra en la tabla 8, existen 14 grupos de suelos los cuales se identifican con letras y representan el tipo de suelo, la buena o pobre gradación, el material orgánico e inorgánico presente.

Según la clasificación AASHTO existen 7 grupos de suelos comprendidos entre A – 1 hasta A – 7 que se subdividen en subgrupos según el análisis granulométrico (25). Según la clasificación MCT propuesta por Nogami y Villibor en el año 1981, existen dos grupos de suelos, los saprolíticos y lateríticos que también se subdividen según el contenido de arenas, arcillas y limos con contenido de minerales de acuerdo a la revisión de HERRERA, T. (2016).

Del análisis granulométrico realizado, se pudo obtener el tipo de suelo SC conocido como arena arcillosa según la clasificación SUCS. Según la clasificación AASHTO el suelo corresponde a un A – 2 – 4 cuya estimación general del suelo como subrasante se refiere a un suelo excelente a bueno; según el cuadro 4.10 de clasificación de suelos basada en AASHTO M 145 que se muestra en la figura 8 del marco teórico. Según la clasificación MCT (Miniatura Compacta Tropical) el suelo tropical del Centro Poblado Naranjal pertenece al grupo NA' de arenas arcillosas no lateríticas que también se conoce como saprolita arenosa cuyos granos se encuentran constituidos por cuarzos y micas.

Así mismo, se consideró la información de CARRILLO, A (1995), para poder identificar al suelo tropical como saprolita arenosa, con la información de la expansión y capacidad de soporte del suelo del ensayo de CBR, donde la expansión fue 0.02% para la cual se considera expansión baja por el mismo hecho de que el suelo se encuentra conformado por arenas y en cuanto a la capacidad de soporte estimada por el CBR fue 6.1% y 11.0% para la máxima densidad seca de 95% y 100% respectivamente las cuales se consideraron como aceptables, ya que se encuentran dentro de la categoría de subrasante regular y buena respectivamente.

En ese sentido, se requiere desarrollar y complementar la caracterización del suelo tropical con los ensayos de contracción, permeabilidad, succión y erosión hidráulica. Por otro lado, se debe destacar que CARRILLO, A. (1995) mencionó que los suelos tropicales del Perú son, en su mayoría, saprolíticos, correspondiente a suelos arcillosos mezclados con limo y arena. Se comprueba de esta forma que el suelo tropical se identifica como saprolita arenosa y se demuestra la hipótesis planteada, pues el tipo de suelo que se identificó corresponde al tipo de las saprolitas con características de arenas arcillosas.

En el estudio realizado por REQUIZ, J. (2018) titulado “Aplicación de la metodología MCT en estudio de suelos tropicales con fines de pavimentación en la selva baja del Perú. Caso: Caminos vecinales de Madre de Dios”, determinó que la metodología MCT (Miniatura Compacta Tropical) se acerca más a la realidad de los suelos tropicales en los cuales se identificaron suelos NS' (saprolita limosa) y NG' (saprolita arcillosa) con los ensayos de la metodología MCT; además de ser más precisos debido al diseño de los equipos, empleo de menor cantidad de material, menor energía de compactación y

menor tiempo de ejecución. Respecto a la estructuración de pavimentos, los espesores de este difieren en un 8.4% respecto a la metodología tradicional según AASHTO. En base a este antecedente, se recomienda aplicar la metodología MCT para la caracterización de suelos tropicales en la región Junín, ya que casi el 50% de la región presenta un clima tropical, donde los suelos por ende han de ser tropicales y las obras viales necesitan reconocerlos como tal para evitar deficiencias cuando son tratados como tradicionales.

Como parte del primer objetivo específico se calculó la humedad natural del suelo tropical. De acuerdo con el *Ministerio de Transportes y Comunicaciones* (2014), la humedad natural es importante ya que la resistencia del suelo de la subrasante depende de las condiciones de humedad y densidad que presenten. Del mismo modo menciona que si la humedad natural del suelo es superior a la humedad óptima se requiere del aumento de energía de compactación, airear el suelo o reemplazar el material saturado (25). Según SUÁREZ, J (2009) los suelos tropicales son considerados como suelos residuales debido a que se forman *in situ* por el proceso de meteorización física y química bajo condiciones tropicales húmedas como consecuencia del clima, lluvia, temperatura, litología de la roca parental, movimiento de agua, condición de drenaje, relieve, vegetación, edad y nivel de meteorización. Estas propiedades geotécnicas son diferentes en cada país y región por la variación del ambiente tropical, con partículas de agregados o cristales de minerales meteorizados que se rompen y transforman en material fino. Por su parte, CARRILLO, A (1995) menciona que en la selva alta y baja del Perú predominan las rocas ígneas y sedimentarias, la selva alta a la cual pertenece la muestra de suelo tropical obtenido del Centro Poblado Naranjal tiene una altitud de 850 m.s.n.m.; en la selva alta las rocas ígneas predominantes fueron granitos, andesitas y de origen volcánico.

Así mismo, menciona que los agentes de formación del suelo tropical son la lluvia y la temperatura; donde la lluvia determina la humedad, aireación y grado de lavaje del suelo mientras, que la temperatura tiene acción directa sobre la formación del suelo e influye en la velocidad de las reacciones químicas que se duplican por cada 10°C de incremento de temperatura. Según la figura 6 de distribución climática de la selva peruana y conociendo la ubicación geográfica del Centro Poblado Naranjal le corresponde un clima periódicamente húmedo y se diferencia respecto al clima lluvioso de la selva alta.

Del ensayo de contenido de humedad, se calculó la humedad natural del suelo tropical de 14.80%. Resultado que demuestra un moderado contenido de humedad, ya que de acuerdo a lo observado en el laboratorio la muestra redujo su volumen considerablemente, además que se observaron partículas brillosas reconocidas como micas típicas de las saprolitas arenosas, heredadas directamente de la roca madre. Este comportamiento es típico de los suelos tropicales peruanos ya que el contenido de humedad depende de las lluvias y del clima que presente.

Por esta razón, la humedad del suelo tropical obtenido se encuentra en función de la lluvia y temperatura del lugar extraído, además de la ubicación geográfica como selva alta donde predominan las rocas ígneas que se meteorizaron física y químicamente por la condición tropical, y donde el material granular de las saprolitas generalmente presenta buena capacidad portante y resistencia a la erosión. En la muestra de suelo se observaron partículas de cristales de minerales meteorizados, propios de la meteorización de la roca madre, siendo esta una razón para comprobar que el suelo tropical obtenido es residual.

Finalmente, como parte del primer objetivo específico también se determinó el índice de plasticidad del suelo tropical. Según el cuadro 4.6 de clasificación de suelos según el índice de plasticidad del *Ministerio de Transportes y Comunicaciones* (2014) que se muestra en la tabla 9 del marco teórico, los suelos tienen plasticidad alta cuando el IP (índice de plasticidad) es mayor a 20, plasticidad media cuando el IP se encuentra entre 7 y 20, la plasticidad es baja cuando el IP es menor a 7 y la plasticidad del suelo es NP (no plástico) cuando el IP es cero; la presencia de arcillas según su cantidad representa riesgo en la estabilidad de la subrasante debido a la sensibilidad con el agua.

De acuerdo al ensayo realizado y los resultados obtenidos de estos, el suelo tropical no es plástico, debido a la presencia de arena saprolita y bajo contenido de finos como las arcillas. Durante el ensayo de límite líquido, el suelo cerró la abertura o separación en el tercer golpe, e incluso se partió la pasta elaborada; en el ensayo de límite plástico tampoco se logró realizar los cilindros de suelo con 3.2 mm pues estos se disgregaron con el rodamiento de la muestra sobre el vidrio esmerilado. Conforme a lo que menciona el *Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones* (2016), el suelo tropical obtenido del Centro Poblado Naranjal no es plástico, sin

embargo, se debe reconocer la presencia de arcillas en menor proporción obtenida del análisis granulométrico.

4.3.2. Adición de ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical.

El segundo objetivo específico planteado fue determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical. Según CARRASCO, D. (2017), el ensayo de proctor modificado permite encontrar la humedad requerida y la compactación perfecta del suelo, para el cual es necesario aplicar una cantidad determinada de golpes en cinco capas y así poder encontrar la respectiva densidad.

Del ensayo de proctor modificado, se obtuvo la densidad seca y humedad óptima del suelo para los tratamientos propuestos con 0%; 5%; 10% y 15% de proporción de ceniza de caña de azúcar. De acuerdo con la tabla 17, el suelo natural presentó 2.160 gr/cm^3 de máxima densidad seca con 8.2 % de humedad óptima, el suelo tropical con 5% de ceniza de caña de azúcar presentó 2.066 gr/cm^3 de máxima densidad seca y 10.2 % de humedad óptima, el tratamiento 2 o suelo con 10% de ceniza de caña de azúcar presentó 2.054 gr/cm^3 de máxima densidad seca y 10.3 % de humedad óptima y el tratamiento 3 o suelo con 15% de ceniza de caña de azúcar presentó 2.034 gr/cm^3 y 10.7 % de humedad óptima. Según los resultados descritos se puede decir que el suelo natural evidencia una mayor densidad seca frente a los tratamientos en lo que se aplicó la adición de ceniza de caña de azúcar. Así mismo, en la figura 19 se puede observar que el tratamiento cero conformado por el suelo natural evidencia mayor contenido de humedad en las muestras realizadas frente a las muestras de los otros tratamientos, además que los valores de densidad seca también son mayores a diferencia de los otros tratamientos.

En base a la información de la humedad natural del suelo tropical de 14.80% y los valores de humedad óptima del proctor modificado de 8.2%; 10.2%; 10.3% y 10.7%, en campo sería necesario airear el suelo y el incremento de la energía de compactación controlado. Debido a la presencia de minerales en el suelo tropical, pues estos se disgregan y convierten en partículas más pequeñas e incluso finas, al incrementarse la energía de compactación dificultando el resultado de la compactación de la subrasante. Sin embargo, no se debe descartar la adición de ceniza de caña de azúcar para la

compactación, pues su comportamiento en el CBR o capacidad de soporte del suelo es asertivo pues incrementó considerablemente los valores de CBR del suelo tropical.

Referente a la prueba de hipótesis, de la cual se obtuvo el análisis de varianza para comprobar la misma, se obtuvo que la adición de ceniza de caña de azúcar no influye significativamente en la máxima densidad seca y el contenido óptimo de humedad del suelo tropical; a pesar que los valores de máxima densidad seca y humedad óptima fueron los más afectadas y variados por la presencia de ceniza de caña de azúcar en diferentes proporciones. Del mismo modo, se comprobó que el tratamiento 0 presentó mayores valores de densidad seca y humedad óptima, tal como se observó en la tabla de resultados y gráfica respectiva del ensayo de proctor modificado.

4.3.3. Adición de ceniza de caña de azúcar en la capacidad de soporte del suelo tropical.

El tercer objetivo específico planteado fue determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de azúcar en la capacidad de soporte del suelo tropical. Según el *Ministerio de Transportes y Comunicaciones* (2014), la prueba de CBR permite estimar la capacidad de carga de ruedas de un suelo destinado a carreteras. Así mismo, el cuadro 4.11 de categorías de subrasante del *Manual de carreteras sección suelos y pavimentos* (2014) que se encuentra en la tabla 10 del marco teórico, muestra que cuando el CBR es menor a 3% la subrasante es inadecuada; cuando el CBR se encuentra entre 3% y 6% la subrasante es insuficiente; cuando el CBR se encuentra entre 6% y 10% la subrasante es regular; cuando el CBR se encuentra entre 10% y 20% la subrasante es buena; cuando se encuentra entre 20% y 30% la subrasante es muy buena y cuando el valor del CBR es mayor a 30% es excelente. Así mismo, establece que se considera como material apto una subrasante cuyo CBR sea mayor e igual a 6% y menciona que la estabilización de suelos consiste en dotarlos de resistencia donde las técnicas van desde adicionar otro suelo hasta la incorporación de agentes estabilizadores con un proceso de compactación.

Por otro lado, TORRES, J., y otros (2014) mencionan que la ceniza de caña de azúcar es un residuo de la producción de azúcar y sus derivados que bajo condiciones controladas de combustión se puede usar de forma potencial e incluso puede reemplazar parcialmente el cemento y de esta forma se puede reducir la emisión de carbono y reutilizar un producto de residuo poco conocido. Las cenizas volantes para la

estabilización de suelos se implementaron debido al impacto ambiental y económico de la producción de cal y cemento portland con la finalidad de desarrollar cementantes sostenibles con el medio ambiente; esto según BEHNOOD, A. (2018). Del mismo modo EDIL, T., y otros (2006) demostraron que cualquier tipo de cenizas son efectivas para estabilizar suelos de grano fino ya que incrementan en CBR y módulo de resiliencia de los suelos de carreteras. Debido a que la ceniza suministra el compuesto puzolánico, sílice y alúmina MISRA, A. (2000), donde la reacción puzolánica contribuye en la generación de material cementante conforme al paso del tiempo de la estabilización RIVERA, J., y otros (2020).

Los resultados de la capacidad de soporte del suelo tropical se encuentran en la tabla 18, en la cual se puede apreciar que el suelo natural tuvo valores de CBR de 6.1% y 11% para el 95% y 100% de la máxima densidad seca, el suelo con 5% de ceniza de caña de azúcar presentó valores de CBR de 17.5% y 41.7%, el suelo con 10% de ceniza de caña de azúcar presentó valores de 43.8% y 47.5% y el suelo con 15% de ceniza de caña de azúcar presentó valores de 38.9% y 48.4% para el 95% y 100% de la máxima densidad seca respecto a la prueba de proctor modificado. Los resultados descritos se representaron en un gráfico de barras que se muestra en la figura 20, donde se observa que el CBR del suelo tropical se incrementa considerablemente conforme al incremento de proporción de ceniza de caña de azúcar y que los tratamientos 2 y 3 de suelo con 10% y 15% de ceniza evidencian mayores valores de CBR frente a los otros tratamientos. Es necesario mencionar que el CBR del suelo natural corresponde a una subrasante regular, el CBR del suelo tropical con 5% de ceniza corresponde a una subrasante buena, el CBR del suelo con 10% de ceniza se categoriza como una subrasante excelente y el CBR del suelo con adición de 15% de ceniza también representa una subrasante excelente; según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Así mismo se debe mencionar los resultados de la expansión del suelo tropical que se muestran la tabla 19, en la que el porcentaje de expansión del suelo para los diferentes tratamientos se encuentra entre 0.02% y 0.17%.

Del mismo modo es necesario mencionar sobre la composición química de la ceniza, de acuerdo con la tabla 2 de composición química de la ceniza de bagazo de caña de azúcar de ESPINOZA, A., y VELÁSQUEZ, J. (2018) esta corresponde al tipo F según

la ASTM C 618 ya que el contenido de óxido de silicio, aluminio y hierro conformaron el 70% del material y el óxido de calcio presentó un bajo contenido, por lo que requiere de la mezcla con cal o cemento para alcanzar la cementación de las partículas del suelo. Sin embargo, en el estudio realizado por EDIL, T., y otros (2006) demostraron que cualquier tipo de ceniza de las especificaciones de la norma ASTM C 61, son efectivas para estabilizar suelos de grano fino ya que incrementan el CBR de los suelos.

Se realizó la prueba de hipótesis con la finalidad de comprobar los resultados obtenidos del CBR. Es así que el análisis de varianza demostró que la adición de ceniza de caña de azúcar en la capacidad de soporte influye significativamente; además se pudo comprobar que los tratamientos 2 y 3 evidenciaron mayores valores de CBR. Queda demostrado lo mencionado por EDIL, T. y otros (2006) que la ceniza de cualquier tipo puede estabilizar suelos de grano fino porque incrementa el CBR de los suelos de carreteras.

En el estudio realizado por CAÑAR, E. (2017) “Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinados con ceniza de carbón” los resultados demostraron que la adición de cenizas en las proporciones de 20%; 23% y 25% incrementan el valor soporte CBR del suelo; la proporción del 25% favorece en gran medida la estabilización de suelos arenosos finos. En base a este estudio, se puede comprobar la efectividad de las cenizas en la estabilización de suelos de grano fino.

Así mismo, en el estudio realizado por MORALES, D. (2015) “Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas” se trabajó con tres proporciones de ceniza de carbón (7%; 14% y 21%) y tres tipos de suelos (arenilla, arcilla y suelo de Urrao), la resistencia mecánica se evaluó con ensayos de resistencia no confinada evaluadas a los 7 días de curado. Demostrando que la adición de ceniza de carbón al 7% y 14% demostraron una mejor resistencia del suelo.

Según el estudio realizado por ESPINOZA, A., y VELÁSQUEZ, J. (2018) “Estabilización de suelos arcillosos adicionando ceniza de caña de azúcar en el tramo de Pinar – Marian, distrito de Independencia 2018” se trabajaron con los porcentajes de 10%; 20% y 30% de ceniza de caña de azúcar; la proporción del 20% de ceniza logró un CBR de 15.18% al 95% de la máxima densidad seca y redujo el índice de plasticidad.

En el estudio de DÍAZ, F. (2018) “Mejoramiento de la subrasante mediante ceniza de cáscara de arroz en la carretera Dv San Martín – Lonya Grande, Amazonas 2018” se adicionó la ceniza en porcentajes de 10%; 15%; 20% y 25% y fue la proporción de 20% la que logró incrementar la capacidad portante del suelo y disminuir la deformación transversal, haciendo más estable al terreno. En base a este estudio y el anterior es posible decir que los suelos arcillosos se logran estabilizar con 20% de ceniza, además de demostrar que la ceniza puede estabilizar suelos de grano fino como arcillas.

CONCLUSIONES

De acuerdo al análisis realizado, en función del cumplimiento a los objetivos trazados para la presente investigación, puede concluirse que:

1. Las propiedades físicas del suelo permitieron identificar el tipo de suelo tropical el cual fue SC (arena arcillosa) según la clasificación SUCS, A – 2 – 4 según la clasificación AASHTO estimada como suelo de subrasante excelente a buena y según la clasificación MCT (Miniatura Compacta Tropical) el suelo se identificó como NA' (saprolita arenosa) por la presencia de arenas arcillosas. Así mismo la humedad natural calculada fue 14.80%, la cual depende de las condiciones climáticas del ambiente tropical. Finalmente se concluye que el suelo tropical obtenido del Centro Poblado Naranjal no presenta plasticidad, debido a la presencia predominante de arenas y bajo contenido de arcillas, como arena saprolita identificada.
2. La adición de ceniza de caña de azúcar no influye significativamente en la máxima densidad seca y humedad óptima del suelo tropical, ya que los tratamientos con ceniza de caña de azúcar evidenciaron valores menores de densidad seca y valores mayores de humedad óptima respecto al suelo natural.
3. Se concluye que la adición de ceniza de caña de azúcar influye significativamente en la capacidad de soporte del suelo tropical, siendo las proporciones de 10% y 15% de ceniza que brindan valores de CBR mayores que se consideran dentro de la categoría de subrasante excelente.
4. De forma general se concluye que, la adición de ceniza de caña de azúcar influye significativamente en la estabilización de suelos tropicales en la selva central. Siendo las proporciones de 10% y 15% de ceniza que mejora considerablemente el CBR del suelo tropical a nivel de subrasante, puesto que la subrasante regular del suelo natural pasa a ser una subrasante excelente con adición de ceniza en las proporciones mencionadas. Debido al compuesto puzolánico que se encuentra en la ceniza que actúa como cementante en la estabilización y su propiedad se incrementa con el paso del tiempo.

RECOMENDACIONES

1. Referente al tipo de suelo tropical, se recomienda implementar la metodología MCT (Miniatura Compacta Tropical) para la identificación de suelos tropicales y en los laboratorios de suelos para tratarlos y reconocerlos ya que su comportamiento y composición es diferente a los suelos de clasificación tradicional; de esta forma pueden evitarse deficiencias en su desempeño como estructuras de pavimentos por ser tratadas como suelos tradicionales. Referente al contenido de humedad natural del suelo, se recomienda considerar el reconocimiento de las partículas minerales contenidas en el suelo tropical, producto de la meteorización física y química de la roca madre para poder reconocer la presencia de micas u otros minerales de las rocas ígneas y metamórficas. Respecto al índice de plasticidad del suelo tropical, se recomienda realizar la caracterización del suelo con la metodología MCT (Miniatura Compacta Tropical) para conocer el grado de contracción como suelo tropical y contribuir en la identificación del tipo de suelo tropical.
2. Referente a la densidad seca y humedad óptima del suelo tropical con ceniza de caña de azúcar, se recomienda realizar el ensayo de penetración estándar (SPT) debido a la disminución de la densidad del suelo para determinar el potencial de licuefacción de este ya que el material más representativo fue arena, que se encuentra dentro del grupo de suelos no cohesivos y son los más propensos a licuarse. El fenómeno de licuefacción de suelos no solo afecta a las estructuras verticales sino también a las horizontales y longitudinales.
3. Respecto a la capacidad de soporte del suelo con ceniza de caña de azúcar y los resultados de proctor modificado obtenidos, se recomienda verificar el grado de compactación en campo en el caso de emplear la ceniza como aditivo estabilizador, así mismo se recomienda emplear la proporción de 10% de ceniza de caña de azúcar para la estabilización del suelo de la Avenida Jhan Franco Munier del Centro Poblado Naranjal.
4. Se recomienda emplear la ceniza de caña de azúcar en la estabilización de suelos tropicales, ya que por medio de esta se reduce la emisión de carbono por la producción de cal y cemento portland y se reutiliza un producto de residuo como la ceniza de caña de azúcar que generan las haciendas de caña de azúcar de la

provincia de San Ramón. Del mismo modo, se recomienda realizar los estudios de estabilización del suelo con caña de azúcar por medio de la metodología MCT (Miniatura Compacta Tropical) y tener una caracterización completa del suelo tropical y para contribuir con la investigación de suelos tropicales que son poco conocidos en nuestro país. Finalmente, se recomienda la producción de ceniza de caña de azúcar en las haciendas para una propuesta de estabilización de suelos en la Selva Central de Junín.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **DUQUE, G y ESCOBAR, C.** *Geomecánica*. Manizales, Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2016.
2. **DE MATTEIS, A.** *Geología y Geotécnica*. Rosario, Argentina : Universidad Nacional de Rosario, 2003.
3. **GUZMÁN, A.** *La red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país*. s.l. : Universidad de Piura, 05 de Diciembre de 2015.
4. **DÍAZ, F.** *Mejoramiento de la subrasante mediante ceniza de cáscara en la carretera Dv San Martín – Lonya Grande, Amazonas 2018*. Lima, Perú : Universidad César Vallejo, 2018.
5. **RIVERA, J, y otros.** *Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión)* Cali, Colombia : Universidad del Valle, 2020. DOI: 10.23850/22565035.2530.
6. **QUINTERO, L y GALLARDO , A.** *Caracterización mineralógica de arcillas expansivas con fines de estabilización*. Ocaña, Colombia : Universidad Francisco de Paula Santander, 2015.
7. **SUÁREZ, J.** *Deslizamientos: Análisis geotécnico*. Bucaramanga, Colombia : Universidad Industrial de Santander, 2009.
8. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *Anuario Estadístico*. Lima, Perú : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020.
9. **REQUIZ, J.** *Aplicación de la metodología MCT en estudio de suelos tropicales con fines de pavimentación en la selva baja del Perú. Caso: Caminos vecinales de Madre de Dios*. Lima, Perú : Universidad Nacional Federico Villarreal, 2018.
10. **CARRILLO, A.** *Propiedades de los suelos tropicales del Perú*. Guadalajara, México : s.n., 1995.
11. **BRAJA, D.** Estabilización con ceniza muy fina. *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. México : CENGAGE Learning, 2012, 14, pág. 766.

12. **MTC, Ministerio de Transporte y Comunicaciones.** Capítulo IX - Estabilización de suelos. *Manual de carreteras - sección suelos y pavimentos*. Lima, Perú : Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014.
13. **CAÑAR, E.** *Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón*. Ambato, Ecuador : Universidad Técnica de Ambato, 2017.
14. **GONZÁLEZ, A.** *Estabilización mecánica de suelos cohesivos a través de la utilización de cal – ceniza volante*. Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2014.
15. **MORALES, D.** *Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas*. Medellín, Colombia : Universidad de Medellín, 2015.
16. **COBOS, M, ORTEGON, C y PERALTA, J.** *Caracterización del comportamiento geotécnico de suelos de origen volcánico estabilizados con cenizas provenientes de cáscara de coco y cisco de café*. Ibagué, Colombia : Universidad Cooperativa de Colombia, 2019.
17. **VALENCIA, Y, y otros.** *Estudio geotécnico de un suelo tropical para determinar su estado de meteorización y su efecto en las propiedades mecánicas 1*, Medellín, Colombia : Universidad Nacional de Colombia, 2014, Revista Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Vol. 3. ISSN 0121-747X.
18. **ARISTIZABAL, E, y otros.** *Caracterización geotécnica de perfiles de meteorización sobre rocas ígneas en ambientes tropicales*. 30, Medellín, Colombia : Boletín de Ciencias de la Tierra, 2011. ISSN 0120-3630.
19. **TORRES, J, y otros.** *Characterization of sugar cane bagasse ash as supplementary material for Portland cement.1*, Bogotá, Colombia : Ingeniería e Investigación, Abril de 2014, Vol. 34, págs. 5-10.
20. **ESPINOZA, A y VELÁSQUEZ, J.** *Estabilización de suelos arcillosos adicionando ceniza de caña de azúcar en el Tramo de Pinar – Marian, distrito de Independencia 2018*. Huaraz, Perú : Universidad César Vallejo, 2018.

21. **CASTRO, A.** *Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cáscara de arroz para el mejoramiento de subrasante.* Lima, Perú : Universidad Nacional de Ingeniería, 2017.
22. **NORABUENA, F.** *Resistencia de un suelo arcilloso sustituido al 6% por ceniza de bagazo de caña de azúcar en Huanroc - Macate.* Chimbote, Ancash : Universidad San Pedro, 2017.
23. **CARRILLO, A.** *Comportamiento del suelo tropical peruano.* 12, Lima, Perú : Universidad Ricardo Palma, 2016, Perfiles de ingeniería, Vol. 12, págs. 27 - 35. ISSN 1996-6660.
24. **HERNÁNDEZ, J.** *Comportamiento mecánico y físico del mortero a base del CBCA como árido en aplanado de muros.* Veracruz, México : s.n., 2011.
25. **MTC, Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** Capítulo IV - Suelos. *Manual de carreteras. Sección suelos y pavimentos.* Lima, Perú : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.
26. **SUÁREZ, J.** *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales.* Bucaramanga, Colombia : s.n., 1998.
27. *Stabilisation of pavement subgrade soil using lime and cement .* **PANDEY, A y RABBANI, A.** s.l. : International Research Journal of Engineering and Technology, 2017, Vol. 4.
28. *Cement and lime mixture stabilization of an expansive overconsolidated clay.* **KHEMISSA, M y MAHAMED, A.** 95, s.l. : Applied Clay Science, 2014.
29. *Effectiveness of Portland Cement and Lime in Stabilizing Clay Soils.* **PRUSINSKI, J y BHATTACHARJA, S.** 1652, s.l. : Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2007.
30. *Soil and clay stabilization with calcium- and non-calcium-based additives: A state-of-the-art review of challenges, approaches and techniques.* **BEHNOOD, A.** 17, s.l. : Transportation Geotechnics, 2018.

31. *State-of-the-Art Review on the Role of Fly Ashes in Geotechnical and Geoenvironmental Applications*. **MOGHAL, A.** 8, Warangal, India : Journal of Materials in Civil Engineering, 2017, Vol. 29.
32. *Stabilizing Soft Fine-Grained Soils with Fly Ash*. **EDIL, T, ACOSTA, H y BENSON, H.** 2, s.l. : Journal of Materials in Civil Engineering, 2006, Vol. 18, págs. 283-294.
33. *Utilization of Western Coal Fly Ash in Construction of Highways in the Midwest, Mid-America Transportation Center*. **MISRA, A.** Lincoln, Nebraska : s.n., 2000.
34. **HERRERA, T.** *Clasificación del suelo por el método de MCT*. Tingo María, Perú : Universidad Nacional Agraria de la Selva , 2016.
35. **CRESPO, C.** *Mecánica de suelos y cimentaciones*. México : LIMUSA S.A., 2004.
36. **MTC, Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** Capítulo III - Componentes de la infraestructura del camino. *Manual de carreteras. Sección suelos y pavimentos*. Lima, Perú : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.
37. **ZANS, J.** *Mecánica de suelos*. Barcelona, España : Eyrolles, 1975.
38. **CARRASCO, D.** *Estabilización de los suelos arcillosos adicionando cenizas de caña de azúcar en el tramo de Moro a Virahuanca en el Distrito de Moro – Provincia del Santa*. Chimbote, Perú : s.n., 2017.
39. **VALERO, L.** *Compactación en carreteras y aeropuertos*. Barcelona, España : Eyrolles, 1978.
40. **RAE - Real Academia Española.** *Diccionario de la Lengua Española*. Lima, Perú : QUEBECOR WORLD PERÚ S.A., 2005. ISBN: 9972-58-138-1.
41. **Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica - SINACYT.** *Reglamento de calificaicones y registro de investigadores en ciencia y tecnología*. 2015.
42. **HERNÁNDEZ, R, FERNÁNDEZ, C y BAPTISTA, P.** *Metodología de la investigación* . México : McGraw - Hill, 2014.

43. **CARRASCO, S.** *Metodología de la investigación científica*. Lima, Perú : San Marcos, 2006. ISBN: 9972-34-242-5.
44. **VALDERRAMA, S.** *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica: Cuantitativa, Cualitativa y Mixta*. Lima, Perú : San Marcos E.I.R.L., 2002.
45. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones.** *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima, Perú : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema general: ¿De qué manera influye la adición de ceniza de caña de azúcar en la estabilización de suelos tropicales en el Centro Poblado Naranjal, Selva Central - 2021?</p> <p>Problemas específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las propiedades físicas del suelo tropical en el Centro Poblado Naranjal, selva central - 2021? • ¿De qué manera influye la adición de ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical en el Centro Poblado Naranjal, selva central - 2021? • ¿De qué forma influye la adición de ceniza de caña de azúcar en la capacidad de soporte del suelo tropical en el Centro Poblado Naranjal, selva central - 2021? 	<p>Objetivo general: Determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de azúcar en la estabilización de suelos tropicales en el Centro Poblado Naranjal, selva central – 2021.</p> <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar las propiedades físicas del suelo tropical en el Centro Poblado Naranjal, selva central – 2021. • Determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de azúcar en la máxima densidad seca y humedad del suelo tropical en el Centro Poblado Naranjal, selva central - 2021. • Determinar la influencia de la adición de ceniza de caña de azúcar en la capacidad de soporte del suelo tropical en el Centro Poblado Naranjal, selva central - 2021. 	<p>Hipótesis general: La adición de ceniza de caña de azúcar influye significativamente en la estabilización de suelos tropicales en el Centro Poblado Naranjal, selva central – 2021.</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las propiedades físicas del suelo permiten identificar el tipo de suelo, humedad natural e índice de plasticidad • La adición de ceniza de caña de azúcar influye significativamente en la máxima densidad seca y húmeda del suelo tropical. • La adición de ceniza de caña de azúcar influye significativamente en la capacidad de soporte del suelo tropical. 	<p>V1: Ceniza de caña de azúcar</p> <p>V2: Estabilización de suelos</p>	<p>D1: Adición de ceniza de caña de azúcar</p> <p>D1: Propiedades físicas del suelo</p> <p>D2: Densidad seca y húmeda</p> <p>D3: Capacidad de soporte del suelo</p>	<p>I1: Cantidad de ceniza de caña de azúcar (0%; 5%; 10% y 15%)</p> <p>I2: Tamaño máximo nominal de la ceniza de caña de azúcar (mm)</p> <p>I1: Análisis granulométrico (mm)</p> <p>I2: Humedad natural (%)</p> <p>I3: Límite líquido, límite plástico (%)</p> <p>I1: Proctor modificado (gr/cm3)</p> <p>I2: Ensayo de CBR (%)</p>	<p>Método: Científico Tipo: Aplicada Nivel: Explicativa Diseño: Experimental</p> <p>Población y muestra: Población: La población está delimitada por los suelos tropicales del distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo, región Junín. Muestra: No probabilística, intencional conformada por 240 Kg de suelo tropical que se encuentra en la Av. Jhan Franco Munier del C.P. Naranjal, distrito de San Ramón que pertenece a la provincia de Chanchamayo.</p> <p>Técnicas e instrumentos: No documental (Fichas de observación) Técnicas de procesamiento de datos: Medidas de tendencia central Análisis de varianza Los análisis serán realizados con el software MS-Excel 2013</p>

Anexo 2: Costo de la ceniza de caña de azúcar.

1. Cantidad de ceniza que se obtiene del bagazo.

De 150 Kg de bagazo de caña de azúcar se pudo obtener 6 Kg de ceniza, por lo que aplicando la regla de tres simple, de 300 Kg se puede obtener 12 Kg de ceniza. Esta cantidad de 12 Kg fue la que se trasladó al laboratorio para realizar los ensayos. En base a esta información y dato, se calculó el costo de los 12 Kg de ceniza, como se muestra en la siguiente tabla.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio
Bagazo de caña de azúcar	Kg	300	S/5.00
Gastos operativos			S/10.00
			S/15.00

De la tabla mostrada, se debe mencionar que el costo de los 300 Kg de bagazo de azúcar fue S/ 5.00 y el costo de los gastos operativos en los que se consideró la mano obra de la persona que realizó la actividad de combustión y sus viáticos (pasajes), siendo el costo de S/ 15.00 por la producción de 12 Kg de ceniza de caña de azúcar.

2. Costo de producción de ceniza de caña de azúcar

Aplicando nuevamente la regla de tres simple.

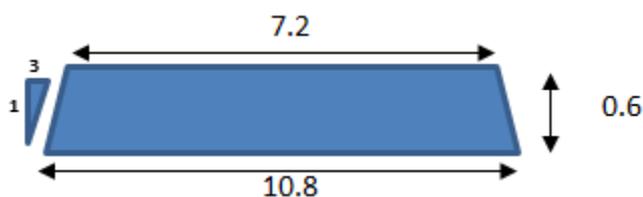
$$12 \text{ kg} \rightarrow \text{S/ } 15.00$$

$$1 \text{ kg} \rightarrow \text{¿?}$$

El costo de 1 Kg de ceniza sería S/1.25 y para una tonelada de ceniza el costo de producción sería S/ 1 250.00

3. Cantidad de ceniza para el tramo de estudio

Considerando un ancho de vía de 3.60 m para cada dirección y una profundidad de 0.60 m, se tiene la siguiente sección de subrasante.



$$A = 5.4 \text{ m}^2$$

$$\text{Tramo} = 200 \text{ m}$$

$$V = 1\,080 \text{ m}^3$$

Suelo natural

w =	14.8 %
$\gamma_d =$	2.160 gr/cm ³
OCH =	8.2
95% $\gamma_d =$	2.052 gr/cm ³
95% $\gamma_d =$	2.052 Ton/m ³

Cantidad de material

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m}$$

$$W_s = \gamma_d * V_m$$

$$W_s = 2216.16 \quad \text{Ton}$$

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

$$W_w = w * W_s$$

$$W_w = 327.99 \quad \text{Ton}$$

$$W_m = W_s + W_w$$

$$W_m = 2544.15 \quad \text{Ton}$$

$$V_{mr} = \frac{W_m}{95\% \gamma_{MDS}}$$

$$V_{mr} = 1239.84 \quad \text{m}^3$$

$$V_m = f * V$$

$$f = \frac{V_m}{V}$$

$$f = 1.148$$

Factor de relación entre esponjamiento y compactación

Suelo 95% + 5%CCA

w =	14.8 %
$\gamma_d =$	2.066 gr/cm ³
OCH =	10.2
95% $\gamma_d =$	1.963 gr/cm ³
95% $\gamma_d =$	1.963 Ton/m ³

Cantidad de material

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m}$$

$$W_s = \gamma_d * V_m$$

$W_s =$	2119.72	Ton	5% CCA	
			105.99	Ton

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

$$W_w = w * W_s$$

$$W_w = 313.72 \quad \text{Ton}$$

$$W_m = W_s + W_w$$

$$W_m = 2433.43 \quad \text{Ton}$$

$$V_{mr} = \frac{W_m}{95\% \gamma_{MDS}}$$

$$V_{mr} = 1239.84 \quad \text{m}^3$$

$$V_m = f * V$$

$$f = \frac{V_m}{V}$$

$$f = 1.148$$

Factor de relación entre esponjamiento y compactación

Suelo 90% + 10%CCA

w =	14.8 %
$\gamma_d =$	2.054 gr/cm ³
OCH =	10.3
95% $\gamma_d =$	1.9513 gr/cm ³
95% $\gamma_d =$	1.9513 Ton/m ³

Cantidad de material

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m}$$

$$W_s = \gamma_d * V_m$$

$W_s =$	2107.40	Ton	10% CCA	
			210.74	Ton

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

$$W_w = w * W_s$$

$$W_w = 311.90 \quad \text{Ton}$$

$$W_m = W_s + W_w$$

$$W_m = 2419.30 \quad \text{Ton}$$

$$V_{mr} = \frac{W_m}{95\% \gamma_{MDS}}$$

$$V_{mr} = 1239.84 \text{ m}^3$$

$$V_m = f * V$$

$$f = \frac{V_m}{V}$$

$$f = 1.148$$

Factor de relación entre esponjamiento y compactación

Suelo 85% + 15%CCA

$$w = 14.8 \%$$

$$\gamma_d = 2.034 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{OCH} = 10.7$$

$$95\% \gamma_d = 1.9323 \text{ gr/cm}^3$$

$$95\% \gamma_d = 1.9323 \text{ Ton/m}^3$$

Cantidad de material

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_m}$$

$$W_s = \gamma_d * V_m$$

$$W_s = 2086.88 \text{ Ton}$$

15% CCA
313.03 Ton

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

$$W_w = w * W_s$$

$$W_w = 308.86 \text{ Ton}$$

$$W_m = W_s + W_w$$

$$W_m = 2395.74 \text{ Ton}$$

$$V_{mr} = \frac{W_m}{95\% \gamma_{MDS}}$$

$$V_{mr} = 1239.84 \text{ m}^3$$

$$V_m = f * V$$

$$f = \frac{V_m}{V}$$

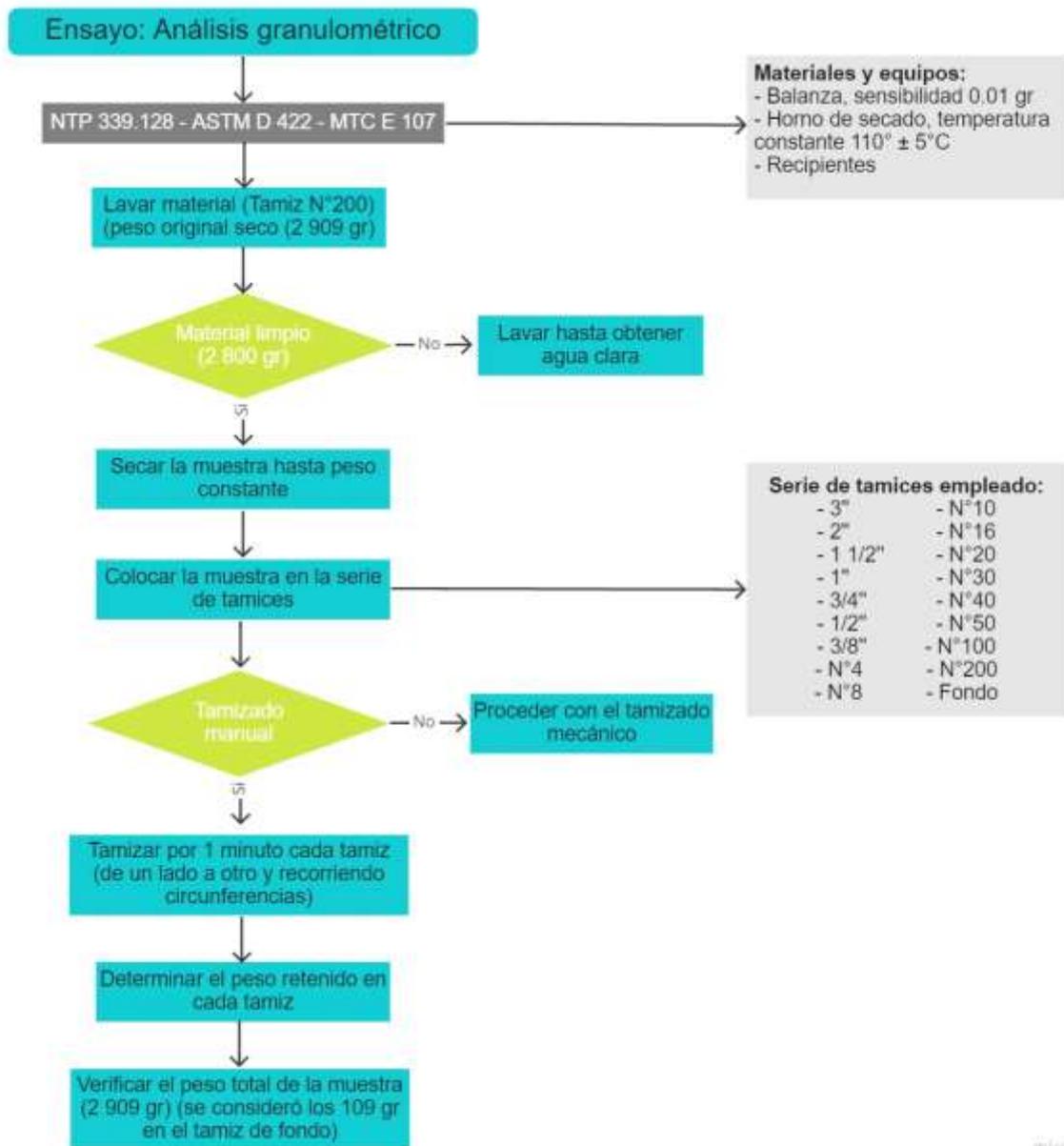
$$f = 1.148$$

Factor de relación entre esponjamiento y compactación

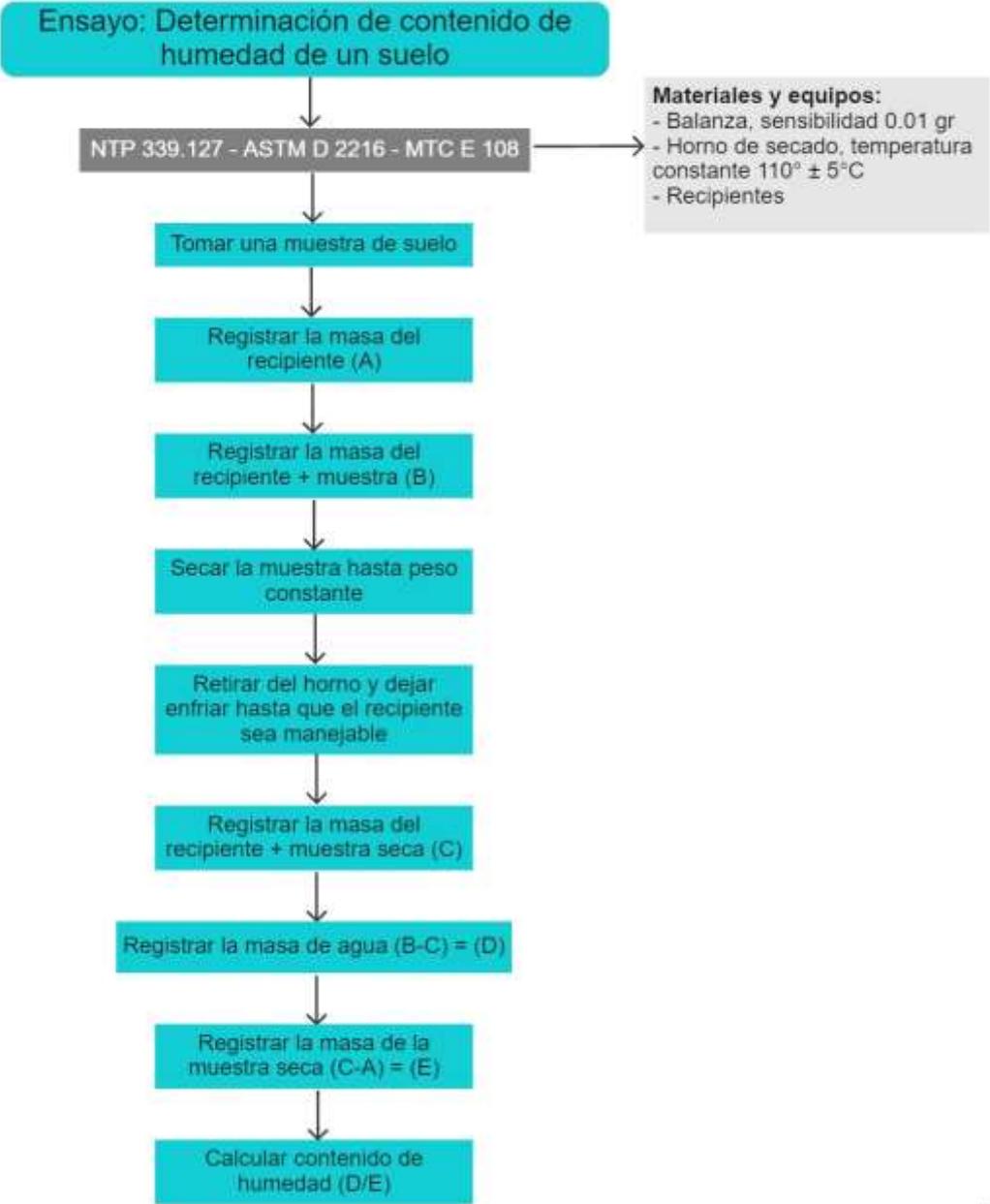
En la siguiente tabla, se muestra el costo de la ceniza para el tramo de estudio y los tratamientos aplicados.

Descripción	Cant. Ceniza (Ton)	Precio	Parcial
Suelo 95% + 5%CCA	105.99	S/1.250.00	S/132.482.25
Suelo 90% + 10%CCA	210.74	S/1.250.00	S/263.425.50
Suelo 85% + 15%CCA	313.03	S/1.250.00	S/391.290.75

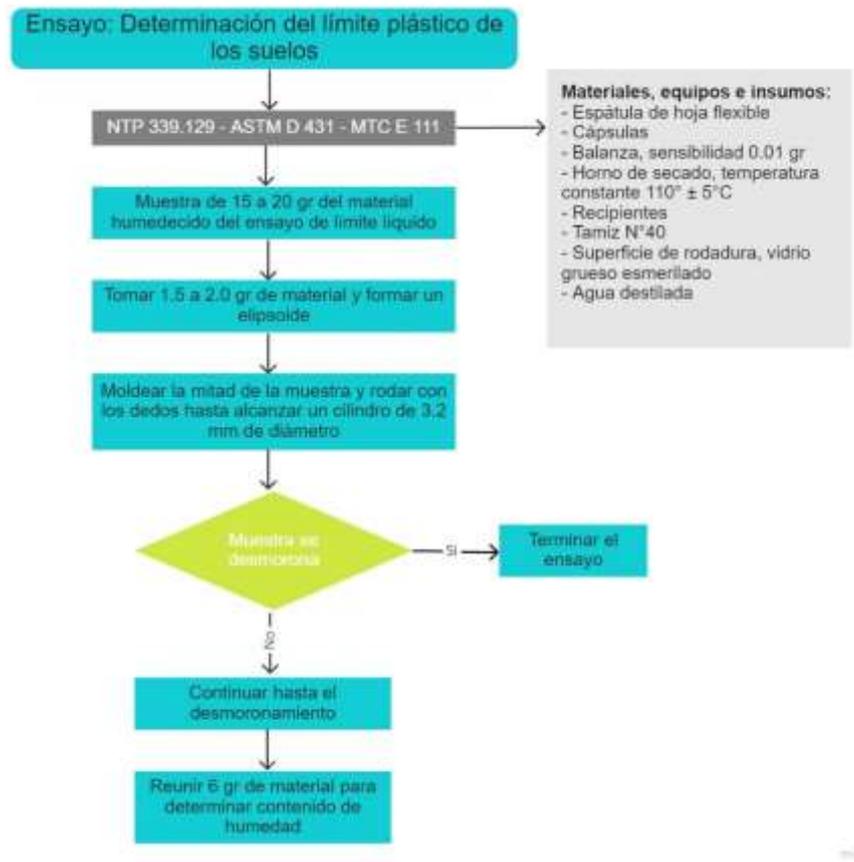
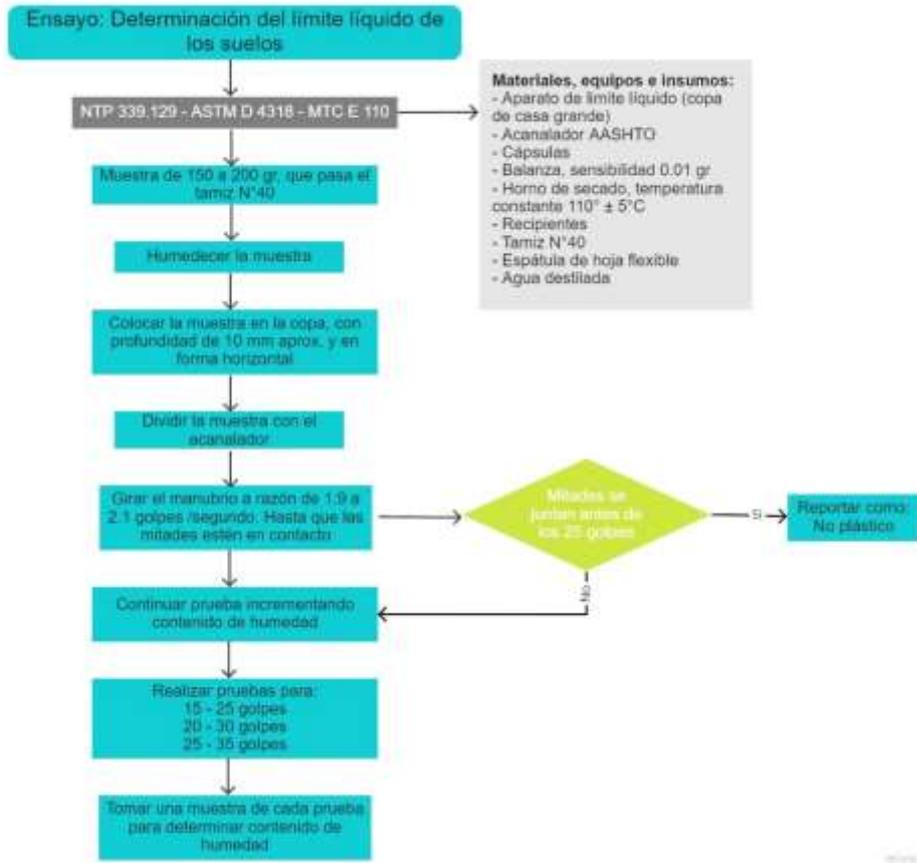
Anexo 3: Flujograma de ensayos realizados en laboratorio.

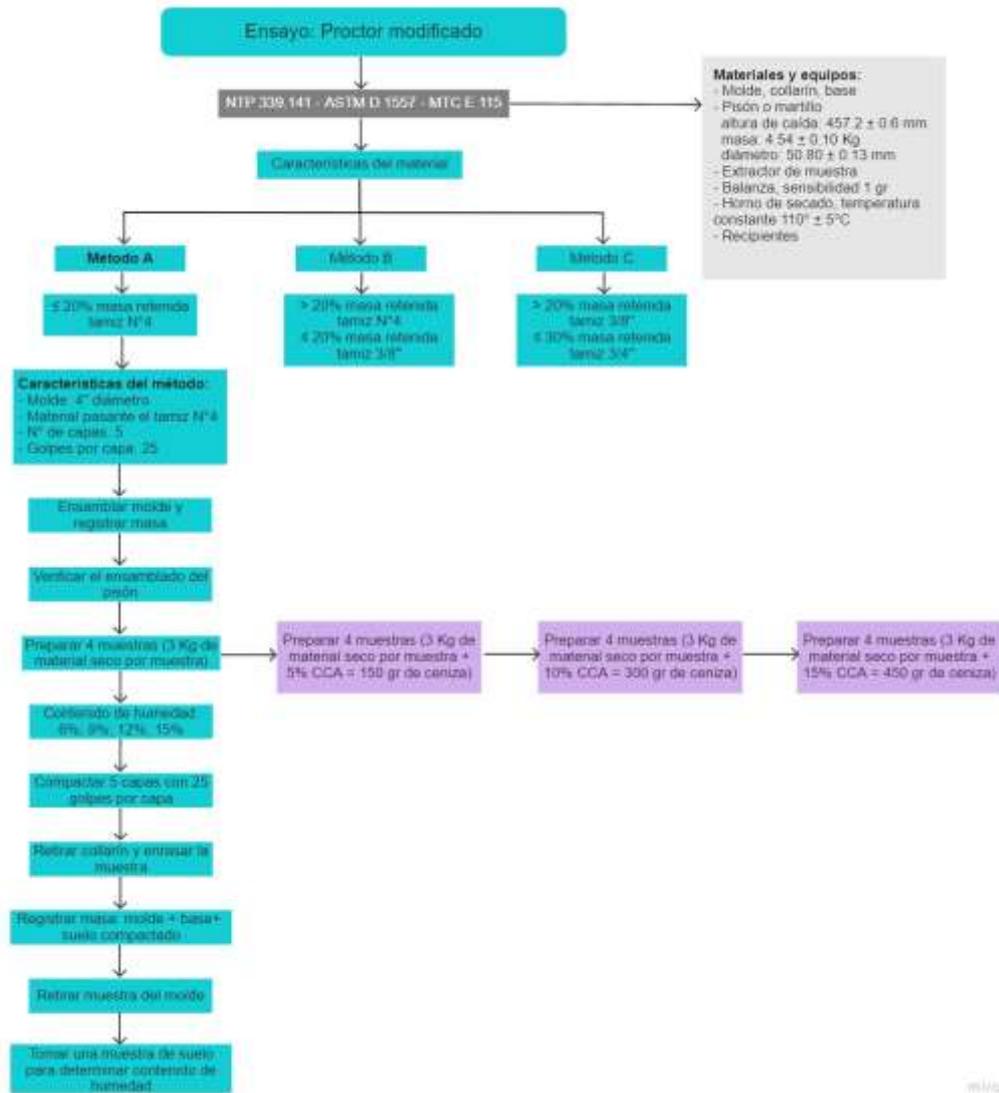


mira

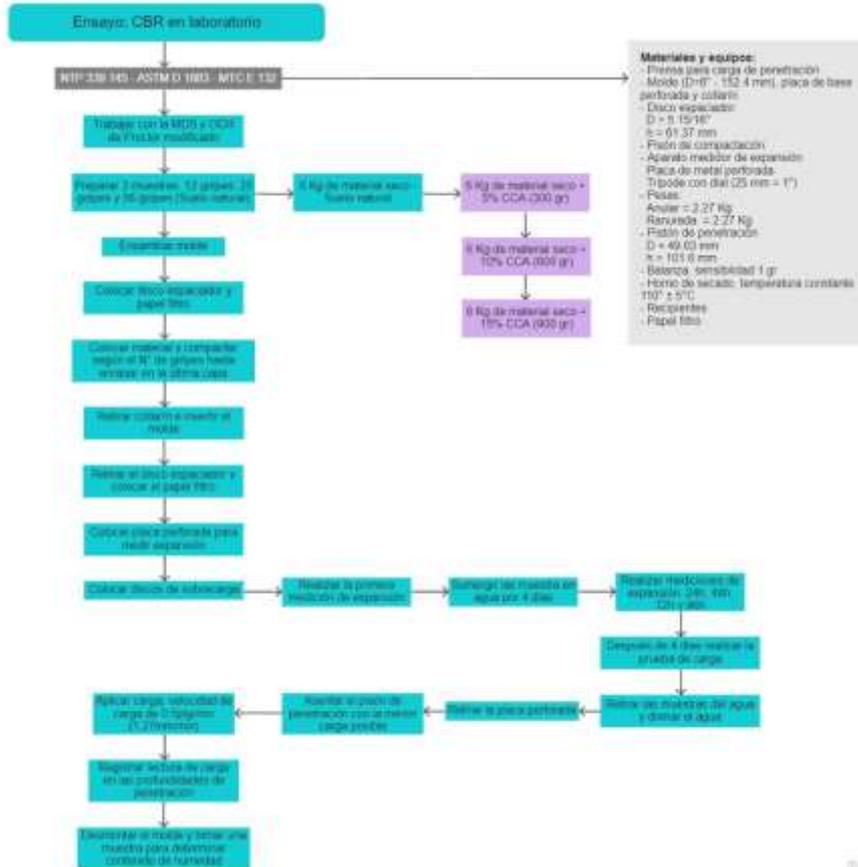


mira





m112



Panel fotográfico de ensayos

Recojo de material en campo



Av. Jhan Franco Munier Centro Poblado Naranjal

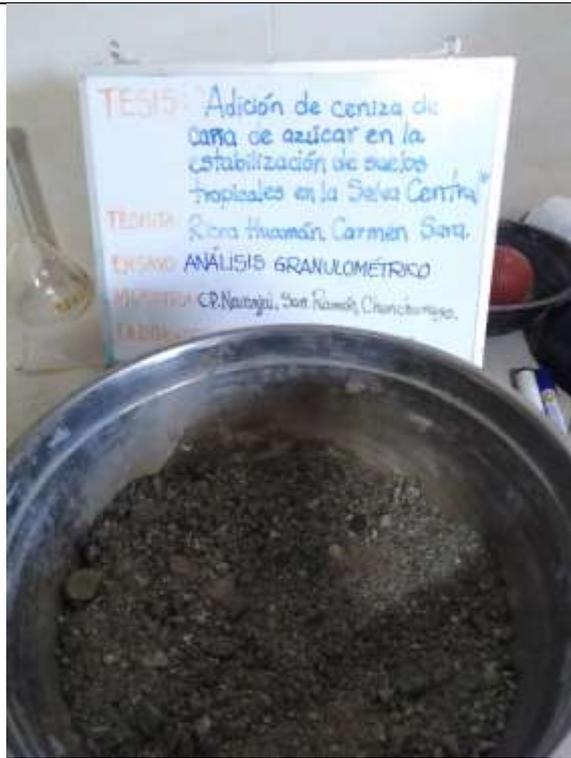


Av. Jhan Franco Munier Centro Poblado Naranjal



Calicata: 1.50 x 1.50 x 2.00 m

Ensayo: Análisis granulométrico



Muestra de suelo lavada



Serie de tamices



Colocación de la muestra



Suelo tamizado

Ensayo: Límites de consistencia



Tamizado del suelo (Tamiz N°40)



Preparación de la muestra



Límite líquido



Límite plástico

LÍMITES DE CONSISTENCIA:

* Límite plástico:

Se probó una muestra de suelo en papel donde la muestra fue:



Indica presencia de arcillas en el material

Esto se observó cuando se colocó y rodó una pequeña muestra de suelo.



Indica presencia de limos en el material

PROCTOR MODIFICADO:

	Peso retenido	% retenida
Hasta $\frac{3}{4}$ "	-	-
Hasta $\frac{3}{8}$ "	152,7 gr	5,25
Hasta N°4	400,9	13,78
-N°4.	2355,4	80,97
	<u>2909 gr</u>	<u>100,00%</u>

% Retenido:

$$\begin{aligned} \# \frac{3}{4} &= 0 \\ \# \frac{3}{8} &= 5,25\% \\ \# 4 &= 19,03\% \end{aligned} \left\{ \begin{array}{l} \text{Método A.} \\ \text{Molde: } \phi = 4'' \end{array} \right.$$

Agua: Intervalos de 3%

$$\begin{array}{cccc} 6\% & - & 9\% & - & 12\% & - & 15\% \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ 1^{\text{a}} \text{ punto} & & 2^{\text{do}} \text{ punto} & & 3^{\text{er}} \text{ punto} & & 4^{\text{to}} \text{ punto.} \end{array}$$

Ensayo: Proctor modificado



Preparación de la muestra (Tamiz N°4)



Mezcla del suelo con agua al 3%



Toma de medidas del molde, para calcular el volumen



Compactación del suelo



Molde con muestra de suelo

Ensayo: CBR de suelos en laboratorio



Preparación de las muestra para 12; 25 y 56 golpes



Moldes y pesas



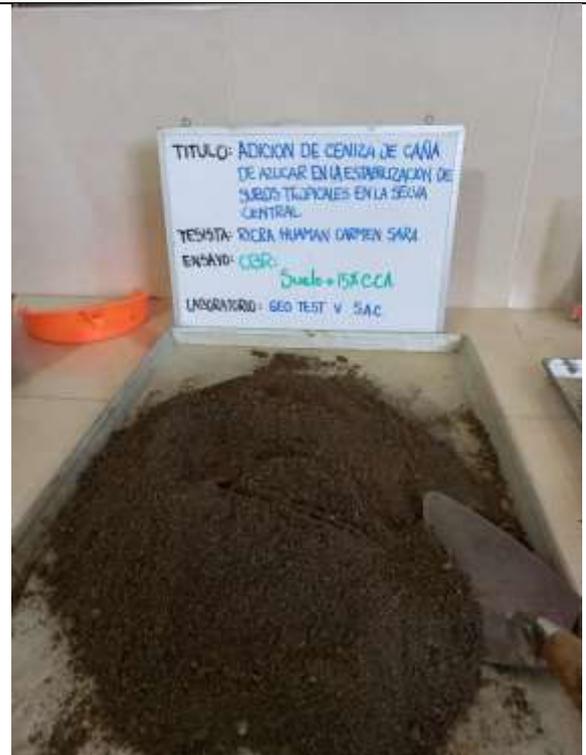
Compactación del suelo



Suelo con ceniza de caña de azúcar al 5 %



Suelo con ceniza de caña de azúcar al 10 %



Suelo con ceniza de caña de azúcar al 15 %



Medición de la expansión del suelo



Escurrecimiento de agua de las muestras para la prueba de penetración



Prueba de penetración – suelo con 5% de ceniza de caña de azúcar



Prueba de penetración – suelo con 10% de ceniza de caña de azúcar

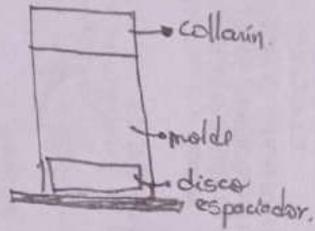


Prueba de penetración – suelo con 15% de ceniza de caña de azúcar

CBR:

Método C de Proctor modificado

ϕ molde = 6"



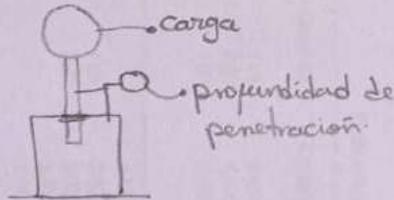
12 golpes	25 golpes	56 golpes
8.2%	8.2%	8.2%

Humedad del ensayo de Proctor Modificado.

Lecturas:

- Expansión: horas
24 "
48 "
72 "
96 "

- Penetración:



Ensayos de laboratorio

DIRECCIÓN	AV. ARRAÚZ Nº 211 - CHIMBOTE	E-MAIL	LABORATORIO@GEO-TEST.COM GEO-TEST@GMAIL.COM
TELÉFONO	051-1-843-1000	FACEDOR	051-1-843-1000
CÉLULAR	99522131 / 99522132 / 99522133	RUC	3000050329



PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL SUELO

PROYECTO : TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"
SOLICITA : Bach. CARMEN SARA RIVERA HUAMAN
Expediente N° : EXP-37-GEO-TEST-V-2021
UBICACIÓN : C.P. NARANJAL-SAN RAMON-CHANCHAMAYO
MATERIAL : CALICATA #1
FECHA DE EMISIÓN : AGOSTO 2021

EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO						
PROFUNDIDAD (cm)	SUCS	ALTURAS	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	ESTRATOS	DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DEL MATERIAL	SÍMBOLOS DE ESTRATOS
0.00		0.1m	-	-	Suelo orgánico, presencia de vegetación.	
-0.10						
-0.20						
-0.30						
-0.40						
-0.50						
-0.60						
-0.70						
-0.80						
-0.90						
-1.00						
-1.10						
-1.20						
-1.30	SC	2.4 m	14.80%	E1	Arenas con mezcla de finos, de coloración gris oscura, sin presencia de grava ni materia orgánica.	
-1.40						
-1.50						
-1.60						
-1.70						
-1.80						
-1.90						
-2.00						
-2.10						
-2.20						
-2.30						
-2.40						
-2.50						

Observaciones: El punto de investigación estuvo a cargo del solicitante



GEO TEST V. SAC
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO ASFALTO E HIDRAULICA

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
 CIP N° 28732
 JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA GEO
TEST V. SAC



DIRECCIÓN	J. BRAUN N° 21 - CHILCA	E-MAIL	LABORTESTV@GMAIL.COM
	RECITA UNA SUCASA FRENTE AL PARQUE PUEBLO FERRICARRIL CRUCE CON AV. LORONDO PABLO		GEOTEST.V@GMAIL.COM
		FACEBOOK	Geo Test V. S.A.C
CELULAR	982225191 - 972225191 - 99137899	RUC	30404829239

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

Proyecto	: TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"		
Expediente N°	: EXP-ST-GEO-TEST-V-2021	Cantera	: Material de calicata
Código de formato	: PCA-EX-011 REV. 01/FECHA 2021-02-11	N° de muestra	: M-1
Peticionario	: Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN	Clase de material	: Alterado
Ubicación	: -	Norma	: NTP-ASTM-MTC
Estructura	: Subrasante	Ensayado por	: A.Y.G
Fecha de recepción	: JULIO 2021	Fecha de emisión	: AGOSTO 2021

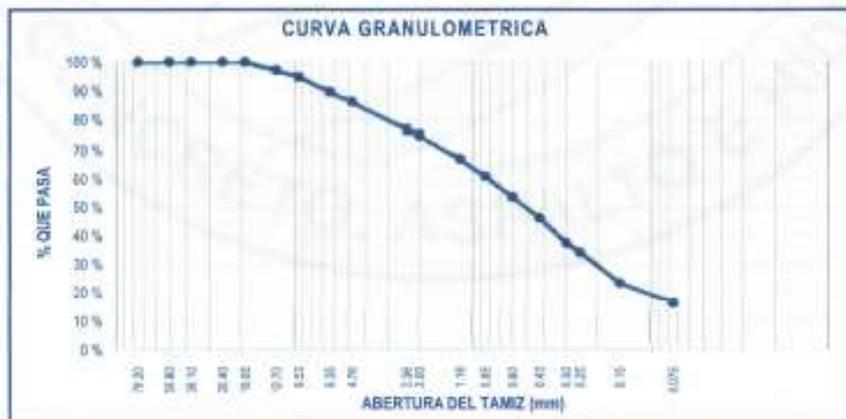
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
NTP 339.128 (1999)-ASTM D 422-MTC E 107

Hoja: 01 de 02

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE (%)
3"	76.20	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.70	85.50	2.94	2.94	97.06
3/8"	9.53	67.20	2.31	5.25	94.75
1/4"	6.35	149.00	5.12	10.37	89.63
N° 4	4.75	99.20	3.41	13.78	86.22
N° 8	2.36	272.80	9.38	23.16	76.84
N° 10	2.00	53.00	1.82	24.98	75.02
N° 16	1.18	235.30	8.09	33.07	66.93
N° 20	0.85	177.90	6.12	39.19	60.81
N° 30	0.60	213.50	7.34	46.52	53.48
N° 40	0.43	212.70	7.31	53.84	46.16
N° 50	0.30	254.30	8.74	62.58	37.42
N° 60	0.25	95.90	3.30	65.87	34.13
N° 100	0.15	315.50	10.85	76.72	23.28
N° 200	0.075	202.60	6.96	83.69	16.31
FONDO		474.60	16.31	100.00	0.00
TOTAL		2909.00	100.00 %		

GRUPO SEGÚN EL SISTEMA UNIFICADO CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)	
GRAVA	13.70 %
ARENA	69.90 %
FINO	16.31 %
TOTAL	100.00 %

CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO (NTP 339.127)	
Código de recipiente	P-03
Masa de recipiente (g)	74.10 g
Masa de recipiente + suelo húmedo (g)	425.50 g
Masa de recipiente + suelo seco (g)	380.20 g
Masa de agua (g)	45.30 g
Masa de suelo seco (g)	306.10 g
Contenido de humedad %	14.80 %



Simbolo del grupo (SUCS)	= SC
Nombre del grupo (SUCS)	= ARENA ARCILLOSA
AASHTO	= A-2-4 (0)



GEO TEST V. SAC
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
CIP N° 247312
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA GEO
TEST V. S.A.C



DIRECCIÓN	JR. BRAUN N° 211 CHILCA	E-MAIL	LABOR@GEOTESTV.COM
	INTEC A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUÑO AL PERROCARRE, CRUCE CON AV. LEONDO PRADO		GEOTEST.V@BHNC.COM
		FACEBOOK	GEOTEST V S.A.C
CELULAR	+51 9829181 - 972821977-991378993	WUC	+51 9829182228

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

Proyecto	: TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"		
Expediente N°	: EXP-3T-GEO-TEST-V-2021	Cantera	: Material de calicata
Código de formato	: PCA-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11	N° de muestra	: M-1
Peticionario	: Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN	Clase de material	: Alterado
Ubicación	: -	Norma	: NTP-ASTM-MTC
Estructura	: Subrasante	Ensayado por	: A.Y.G
Fecha de recepción	: JULIO 2021	Fecha de emisión	: AGOSTO 2021

Hoja: 02 de 02

MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL LÍMITE LÍQUIDO, LÍMITE PLÁSTICO E ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS
NTP 339.129 (2014)-ASTM D 4318-MTC E 110-111

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	I	II
Nº. De cápsula	-	-	-	-	-
Masa cápsula + Suelo húmedo (g)	-	-	-	-	-
Masa cápsula + Suelo seco (g)	-	-	-	-	-
Masa cápsula (g)	-	-	-	-	-
Masa del agua (g)	-	-	-	-	-
Masa del suelo seco (g)	-	-	-	-	-
Contenido de humedad %	-	-	-	-	-
Nº. De golpes	-	-	-	I	II



LÍMITE LÍQUIDO	
LL.:	N.P.

LÍMITE PLÁSTICO	
LP.:	N.P.

ÍNDICE PLÁSTICO	
IP.:	N.P.

NOTAS:

1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario

2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad

3) Resolución N°002-88-INDECOP-CRT-ART.8.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas ISO 9001:2000 u otros certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V. S.A.C
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. SAC



DIRECCIÓN : JR. BRAU N°211 - CHILCA
 RPT. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV.
 FERROCARRIL CRUCE CON AV. LEONEL PRADO
 E-MAIL : LABORTESTV2021@GMAIL.COM
 GEOTEST_V@GMAIL.COM
 FACEBOOK : Geo Test V S.A.C
 CELULAR : 982221811 - 972231911 - 981275083
 RUC : 20506223220

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

Proyecto : TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"
 Expediente N° : EXP-37-GEO-TEST-V-2021
 Código de formato : PM-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11
 Peticionario : Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN
 Ubicación : -
 Estructura : Subrasante
 Fecha de recepción : Julio 2021
 Cantera : Material de calicata
 N° de muestra : M-1
 Clase de material : SUELO NATURAL
 Norma : NTP-ASTM-MTC
 Ensayado por : A.Y.G.
 Fecha de emisión : Agosto 2021

PROCTOR MODIFICADO
NTP 339.141-ASTM D 1537-MTC E 115

Hoja : 01 DE 01

COMPACTACION				
N° Capas	5	5	5	5
N° Golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5,948.0	5,957.0	5,912.0	5,854.0
Peso molde (gr.)	3,764.0	3,764.0	3,764.0	3,764.0
Peso suelo compactado (gr.)	2,084.0	2,223.0	2,145.0	2,090.0
Volumen del molde (cm ³)	947.9	947.9	947.9	947.9
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.199	2.345	2.266	2.205

HUMEDAD (%)				
Tara N°	1	2	3	4
Tara + suelo húmedo (gr.)	89.5	100.7	86.5	99.6
Tara + suelo seco (gr.)	85.4	93.8	78.9	88.1
Peso de agua (gr.)	4.1	6.9	7.6	11.5
Peso de tara (gr.)	17.5	17.1	15.6	10.8
Peso de suelo seco (gr.)	67.9	76.7	63.3	77.3
Humedad (%)	6.0	9.0	12.0	14.9
Densidad Seca (g/cm ³)	2.073	2.152	2.023	1.919

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
MÉTODO	A	B	C
TIPO DE MOLDE	4"	6"	8"

CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE	
PESO (g)	3,764.0
VOLUMEN (CM ³)	947.9

RESULTADOS DE PROCTOR	
Máxima Densidad Seca (g/cm ³)	2.160
Óptimo Contenido de Humedad (%)	6.2

RESULTADOS DE PROCTOR CORREGIDO	
Máxima Densidad Seca Corregida (g/cm ³)	-
Óptimo Contenido de Humedad Corregido(%)	-



NOTAS:

- 1) Muestras e identificación realizadas por el peticionario
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- 3) Resolución N°092-99-INDECOPI-CRT/ART.5.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producción o como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

GEO TEST V. SAC
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

 ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
 CIP N° 217212
 JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. SAC



DIRECCION : JR. GRAD N° 21 - CHILCA
 EMAIL : LABGEOTESTVD2@GMAIL.COM
 DEF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE RUZO AV.
 FERROCARRIL BRUCE CON AV. LEONDO PRADO
 WEBTEST.V@GMAIL.COM
 CELULAR : 982525151 - 972831911 - 991375003
 FACEBOOK : GEO TEST V. S.A.C.
 RUC : 20805539284

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

Proyecto : TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"
 Expediente N° : EXP-37-GEO-TEST-V-2021
 Codigo de formato : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11
 Peticionario : Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN
 Ubicación :
 Estructura : Subrasante
 Fecha de recepción : Julio 2021
 Cantera : Material de calicata
 N° de muestra : M-1
 Clase de material : SUELO NATURAL
 Norma : NTP-ASTM-MTC
 Ensayado por : A.Y.G.
 Fecha de emisión : Agosto 2021

ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NTP 399.145-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193

Página 1 de 22

COMPACTACION

Molde N°	1		2		3	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13088.0	13254.0	12758.0	12830.0	12695.0	12936.0
Peso de molde (g)	7570.0	7570.0	7544.0	7544.0	7725.0	7725.0
Peso del suelo húmedo (g)	5519.0	5684.0	5214.0	5286.0	4974.0	5111.0
Volumen del molde (cm ³)	2322.7	2322.7	2322.7	2322.7	2322.7	2322.7
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.378	2.447	2.245	2.276	2.142	2.209
Tara (N°)	--	--	--	--	--	--
Peso suelo húmedo + tara (g)	101.2	81.2	182.4	107.3	186.0	196.2
Peso suelo seco + tara (g)	94.2	75.0	188.5	99.0	171.7	87.0
Peso de tara (g)	15.5	11.3	13.7	17.6	11.8	17.4
Peso de agua (g)	7.0	6.2	13.9	8.3	14.3	9.2
Peso de suelo seco (g)	78.7	63.7	154.8	81.1	159.9	79.6
Contenido de humedad (%)	8.89	9.74	8.98	10.25	8.94	11.55
Densidad seca (g/cm ³)	2.182	2.239	2.069	2.264	1.968	1.973

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	LECTURA DEL DIAL MOLDE N°1	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°2	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°3	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
16/08/2021	1.15pm	0	3.060	3.060	2.55	1.050	1.050	0.88	2.370	2.370	1.98
17/08/2021	1.15pm	24	3.060	3.060	2.55	1.050	1.060	0.88	2.380	2.380	1.98
18/08/2021	1.15pm	48	3.070	3.070	2.56	1.070	1.075	0.89	2.390	2.390	1.99
19/08/2021	1.15pm	72	3.080	3.080	2.57	1.090	1.090	0.91	2.390	2.390	1.99
20/08/2021	1.15pm	96	3.080	3.080	2.57	1.090	1.090	0.91	2.390	2.390	1.98

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°1				MOLDE N°2				MOLDE N°3			
		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION				
Pulgadas	kg/cm ²	Dial	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial	kg/cm ²	kg/cm ²	%
0.000		0.000	0.00			0.000	0.00			0.000	0.00		
0.025		0.035	5.68			0.012	2.87			0.005	2.01		
0.050		0.049	7.39			0.017	3.48			0.007	2.25		
0.075		0.061	8.86			0.020	3.85			0.008	2.37		
0.100	70.31	0.075	10.57	10.9	15.5	0.023	4.21	4.5	6.3	0.010	2.62	2.6	3.6
0.150		0.111	14.57			0.029	4.95			0.013	2.99		
0.200	105.46	0.138	18.26	17.4	18.5	0.033	5.44	0.7	5.4	0.016	3.36	3.4	3.2
0.250		0.157	20.57			0.038	6.05			0.018	3.60		
0.300		0.176	22.86			0.042	6.54			0.020	3.85		
0.400		0.224	28.71			0.051	7.64			0.025	4.46		
0.500		0.279	35.37			0.061	8.86			0.030	5.07		



ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
CIP N° 247312
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. SAC



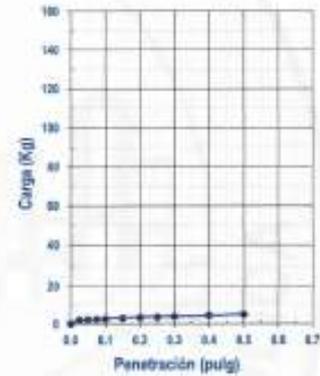
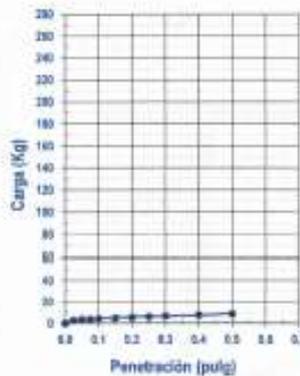
DIRECCIÓN : JR. 9840 N° 211 - CHILCA
 EMAIL : LABGEOTESTV@GMAIL.COM
 REF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUELO AV.
 FERROVARIIL DRUJE CON AV. LEONOR PRADO
 FACEBOOK : GEO TEST V S.A.C
 CELULAR : 945261111 - 972631911 - 981375093
 RUC : 20606599269

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

Proyecto : TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"
 Expediente N° : EXP-37-GEO-TEST-V-2021
 Codigo de formato : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11
 Peticionario : Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN
 Ubicación : -
 Estructura : Subrasante
 Fecha de recepción : Julio 2021
 Cantera : Material de calicata
 N° de muestra : IM-1
 Clase de material : SUELO NATURAL
 Norma : NTP-ASTM-MTC
 Ensayado por : A.Y.G.
 Fecha de emisión : Agosto 2021

ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
 NTP 399.145-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193

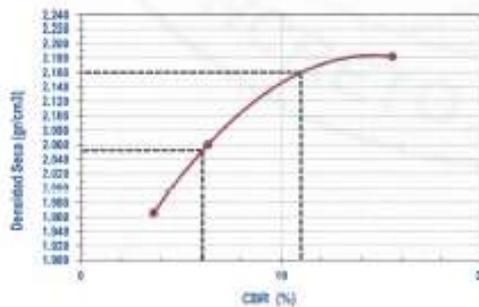
Página - 02 de 02



MOLDE N°1	
CBR (0.1")	15.5 %
CBR (0.2")	16.5 %
Densidad seca (g/cm³)	2.182

MOLDE N°2	
CBR (0.1")	6.3 %
CBR (0.2")	5.4 %
Densidad seca (g/cm³)	2.060

MOLDE N°3	
CBR (0.1")	3.6 %
CBR (0.2")	3.2 %
Densidad seca (g/cm³)	1.966



Método de comparación : ASTM D1557
 Máxima densidad seca (g/cm³) : 2.160
 Óptimo contenido de humedad (%) : 6.3
 95% máxima densidad seca (g/cm³) : 2.052

CBR al 100% de M.D.S. (%)	0.1"	11.0	0.2"	17.8
CBR al 95% de M.D.S. (%)	0.1"	6.1	0.2"	21.2

RESULTADOS:

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 11.0 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 6.1 (%)

NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- Resolución N°002-96-INDECOPI-ORT-ART.8.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con los requisitos de un producto, sino como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V. SAC
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
 ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
 CIP N° 247312
 JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. SAC



DIRECCIÓN : JR. ORAZU N° 211 CHILCA E-MAIL : LABORATORIO@GMAIL.COM
 IREJA UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZZ AV. GEO TEST V@GMAIL.COM
 FERROCARRIL CRUCE CON AV. LEONIDAS PRADO FACEBOOK : GEO TEST V S.A.C
 CELULAR : 992226151 - 972221111 - 991375092 RUC : 20606322223

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

Proyecto : TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"
 Expediente N° : EXP-37-GEO-TEST-V-2021 Centro : Material de calicte
 Código de formato : PM-EX-01/REV.01/FECHA 2021-02-11 N° de muestra : M-1
 Peticionario : Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN Clase de material : SUELO NATURAL 95%+ADICIÓN DE 5% DE CENIZA DE CAÑA
 Ubicación : - Norma : NTP-ASTM-MTC
 Estructura : Subrasante Ensayado por : A.Y.O.
 Fecha de recepción : Julio 2021 Fecha de emisión : Agosto 2021

PROCTOR MODIFICADO
NTP 339.141-ASTM D 1557-MTC E 115

Hoja : 01 DE 01

COMPACTACION				
N° Capas	5	5	5	5
N° Golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5,753.0	5,858.0	5,924.0	5,817.0
Peso molde (gr.)	3,764.0	3,764.0	3,764.0	3,764.0
Peso suelo compactado (gr.)	1,989.0	2,094.0	2,160.0	2,053.0
Volumen del molde (cm ³)	947.9	947.9	947.9	947.9
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.098	2.209	2.279	2.166

HUMEDAD (%)				
Tara N°	1	2	3	4
Tara + suelo húmedo (gr.)	96.8	101.2	81.1	96.9
Tara + suelo seco (gr.)	92.5	94.4	74.8	87.6
Peso de agua (gr.)	4.3	6.8	6.3	9.3
Peso de tara (gr.)	16.0	14.7	13.7	15.6
Peso de suelo seco (gr.)	76.5	79.7	61.1	72.0
Humedad (%)	5.6	8.5	10.3	12.9
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.987	2.035	2.066	1.918

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
METODO	A	B	C
TIPO DE MOLDE	4"	6"	6"

CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE	
PESO (g)	3,764.0
VOLUMEN (CM ³)	947.9

RESULTADOS DE PROCTOR	
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2.066
Óptimo Contenido de Humedad (%)	10.2

RESULTADOS DE PROCTOR CORREGIDO	
Máxima Densidad Seca Corregida (gr/cm ³)	-
Óptimo Contenido de Humedad Corregido (%)	-



NOTAS:

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario.
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad.
- 3) Resolución N°092-88-INDECOPI-CRT-ART.8.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con los requisitos de especificación de los productos, sino como una evidencia del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V. SAC
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
CIP N° 247312
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. SAC

DIRECCIÓN : UR. DRAG N° 21 - CHILCA E-MAIL : LABORTESTV@GMAIL.COM
 (REF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV. FERROVIARIA, CRUCE CON AV. LEONZIO PRADO) GEO TEST V. SAC
 CELULAR : 952525151 - 972871811 - 991375092 RUC : 20000529829



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

Proyecto : TESIS - *ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL*

Expediente N° : EXP-37-GEO-TEST-V-2021 Cantera : Material de calicata
 Código de formato : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11 N° de muestra : M-1
 Peticionario : Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN Clase de material : SUELO NATURAL 32%+ADICIÓN DE 1% DE CENIZA DE CAÑA
 Ubicación : - Norma : NTP-ASTM-MTC
 Estructura : Subrasante Ensayado por : A.Y.G.
 Fecha de recepción : Julio 2021 Fecha de emisión : Agosto 2021

ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NTP 399.145-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193

Hoja : 01 de 02

COMPACTACION

Molde N°	1		2		3	
	5		5		5	
Capas N°	56		25		12	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12825.0	13057.0	12820.0	12850.0	12600.0	12820.0
Peso de molde (g)	7570.0	7570.0	7544.0	7544.0	7725.0	7725.0
Peso del suelo húmedo (g)	5255.0	5487.0	5076.0	5306.0	4875.0	5095.0
Volumen del molde (cm ³)	2308.2	2308.2	2308.2	2308.2	2308.2	2308.2
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.277	2.377	2.199	2.299	2.112	2.207
Tara (N°)	--	--	--	--	--	--
Peso suelo húmedo + tara (g)	101.2	81.7	82.4	108.0	86.3	103.5
Peso suelo seco + tara (g)	93.3	74.4	76.0	96.0	79.0	93.0
Peso de tara (g)	15.5	11.3	13.6	17.3	11.8	17.4
Peso de agua (g)	8.0	7.3	6.4	10.0	7.9	10.5
Peso de suelo seco (g)	77.8	63.1	62.4	75.1	68.3	75.6
Contenido de humedad (%)	10.23	11.57	10.26	12.81	10.25	13.88
Densidad seca (g/cm ³)	2.066	2.131	1.995	2.038	1.916	1.938

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	LECTURA DEL DIAL MOLDE N°1	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°2	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°3	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
16/08/2021	2:22pm	0	2.820	2.820	2.35	1.260	1.260	1.06	2.400	2.400	2.00
17/08/2021	2:22pm	24	2.830	2.830	2.36	1.270	1.270	1.06	2.400	2.400	2.00
18/08/2021	2:22pm	48	2.840	2.840	2.37	1.270	1.270	1.06	2.500	2.500	2.08
19/08/2021	2:22pm	72	2.880	2.880	2.40	1.270	1.270	1.06	2.600	2.600	2.17
20/08/2021	2:22pm	96	2.880	2.880	2.40	1.270	1.270	1.06	3.600	2.600	2.17

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°1				MOLDE N°2				MOLDE N°3			
		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION		CARGA		CORRECCION	
Pulgadas	kg/cm ²	Dial	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial	kg/cm ²	kg/cm ²	%
0.000		0.000	0.00			0.000	0.00			0.000	0.00		
0.025		0.093	12.77			0.046	7.03			0.021	3.97		
0.050		0.151	19.64			0.074	10.45			0.034	6.56		
0.075		0.194	25.07			0.096	13.38			0.044	6.78		
0.100	70.31	0.196	25.56	29.3	41.6	0.119	15.94	16.1	22.9	0.053	7.88	7.7	10.8
0.150		0.283	35.86			0.152	19.96			0.064	9.23		
0.200	105.46	0.380	47.58	44.0	41.8	0.183	23.73	24.2	22.9	0.099	13.50	12.1	11.5
0.250		0.390	48.77			0.211	27.13			0.101	13.75		
0.300		0.401	50.09			0.239	30.53			0.105	14.24		
0.400		0.474	58.66			0.292	36.95			0.110	14.85		
0.500		0.543	67.11			0.347	43.69			0.126	16.67		



ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
CIP N° 247312
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. SAC



DIRECCION : JR. BRAL N° 211 - CHILCA
 REF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV. FERROCARRIL CRUCE CON AV. LEONCIO PRADO
 E-MAIL : LABORTESTV@GMAIL.COM
 LABORTESTV@GMAIL.COM
 FACEBOOK : GEO TEST V S A C
 DELULAR : 95292151 - 952921911 - 951375093
 RUC : 2065652924

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

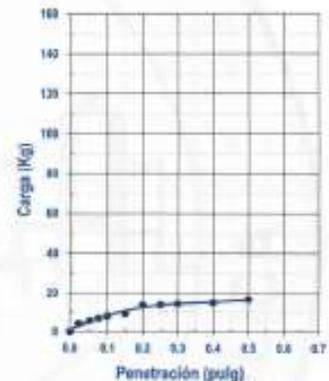
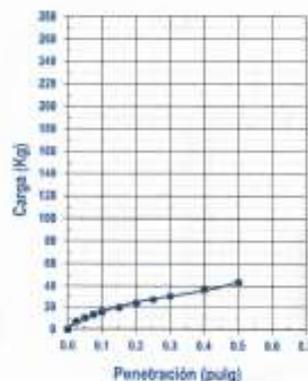
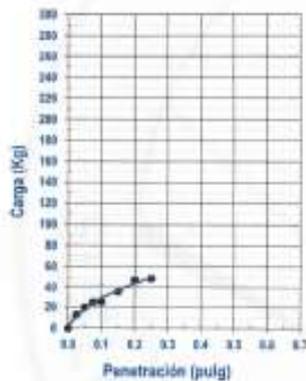
Proyecto : TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"

Expediente N° : EXP-37-GEO-TEST-V-2021
 Código de formato : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11
 Peticionario : Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN
 Ubicación : *
 Estructura : Subrasante
 Fecha de recepción : Julio 2021

Cantera : Material de calicata
 N° de muestra : M-1
 Clase de material : SUELO NATURAL 95%+ADICIÓN DE 5% DE CENIZA DE CAÑA
 Norma : NTP-ASTM-MTC
 Ensayado por : A.Y.G.
 Fecha de emisión : Agosto 2021

ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NTP 399,145-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193

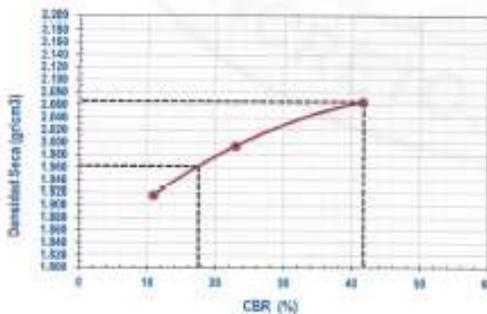
Hoja : 02 de 02



MOLDE N°1	
CBR (0.1")	41.6 %
CBR (0.2")	41.8 %
Densidad seca (g/cm3)	2.066

MOLDE N°2	
CBR (0.1")	22.9 %
CBR (0.2")	22.9 %
Densidad seca (g/cm3)	1.995

MOLDE N°3	
CBR (0.1")	10.9 %
CBR (0.2")	11.5 %
Densidad seca (g/cm3)	1.916



Método de compactación : ASTM D1557
 Máxima densidad seca (g/cm3) : 2.066
 Óptimo contenido de humedad (%) : 19.2
 95% máxima densidad seca (g/cm3) : 1.863

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%) 0.1" 41.7 0.2" 41.8
 C.B.R. al 95% de M.D.S. (%) 0.1" 17.5 0.2" 17.8

RESULTADOS:

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 41.7 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 17.5 (%)

NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- Resolución N°002-98-INDECOPI-CRT/ART.6.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas nacionales o internacionales, sino como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V SAC
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

[Signature]
 ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
 CIP N° 247312
 JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. SAC



DIRECCIÓN : JR. BRAD N° 211 - CHILCA E-MAIL : LABORTESTV22@GMAIL.COM
 TEL: A UNA MANO FRENTE AL PARQUE PUZO AV. FERROCARRIL CRUCE CON AV. LEONIDAS PRADO SKOTEST.V@GMAIL.COM
 CELULAR : 952925151 - 979821911 - 991372092 FACEBOOK : GEO TEST V S.A.C.
 RUC : 2000029229

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

Proyecto : TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"
 Expediente N° : EXP-17-GED-TEST-V-2021 Centro : Material de calicata
 Código de formato : PM-EX-01/REV.01/FECHA 2021-02-11 N° de muestra : M-1
 Peticionario : Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN Clase de material : SUELO NATURAL NTP-ADICIÓN DE 1% DE CENIZA DE CAÑA
 Ubicación : C.P. NARANJAL-SAN RAMON-CHANCHAMAYO Norma : NTP-ASTM-MTC
 Estructura : Sobrasante Ensayado por : A.Y.G.
 Fecha de recepción : Julio 2021 Fecha de emisión : Agosto 2021

PROCTOR MODIFICADO
NTP 338.141-ASTM D 1557-MTC E 115

Hoja : 01 DE 01

COMPACTACION				
N° Capas	5	5	5	5
N° Golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5,620.0	5,767.0	5,905.0	5,830.0
Peso molde (gr.)	3,764.0	3,764.0	3,764.0	3,764.0
Peso suelo compactado (gr.)	1,856.0	2,003.0	2,141.0	2,066.0
Volumen del molde (cm ³)	947.9	947.9	947.9	947.9
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.958	2.113	2.259	2.180

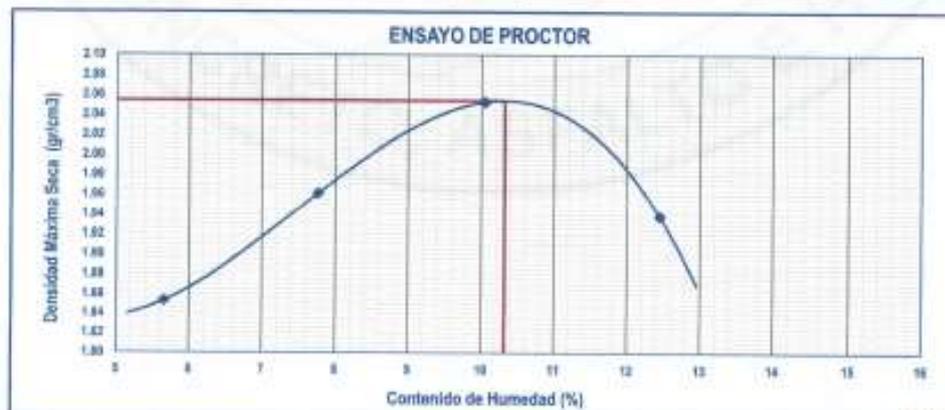
HUMEDAD (%)				
Tara N°	1	2	3	4
Tara + suelo húmedo (gr.)	78.5	97.1	89.3	87.4
Tara + suelo seco (gr.)	74.9	91.3	82.7	79.6
Peso de agua (gr.)	3.6	5.8	6.6	7.8
Peso de tara (gr.)	11.3	16.6	17.0	16.9
Peso de suelo seco (gr.)	63.6	74.7	65.7	62.7
Humedad (%)	5.7	7.8	10.0	12.5
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.853	1.961	2.062	1.938

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
MÉTODO	A	B	C
TIPO DE MOLDE	4"	6"	6"

CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE	
PESO (g)	3,764.0
VOLUMEN (CM ³)	947.9

RESULTADOS DE PROCTOR	
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2.954
Óptimo Contenido de Humedad (%)	10.3

RESULTADOS DE PROCTOR CORREGIDO	
Máxima Densidad Seca Corregida (gr/cm ³)	-
Óptimo Contenido de Humedad Corregido(%)	-



NOTAS:

- Muestra e identificación realizados por el peticionario
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, así como la reproducción sea en su totalidad
- Resolución N° 002-86-INDECOPI-CRT-ART. E. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con los requisitos o como certificación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V. SAC
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
ING. MAX JERRY VELIZ SIB
CIP N° 21111
JEFE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. SAC



DIRECCIÓN : JR. ORAZU N° 211 - CHILECA
E-MAIL : LABGEOTESTV02@GMAIL.COM
REF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV. FERROCARRIL CRUCE CON AV. LEONARDO PRADO
WETTESTV02@GMAIL.COM
DE LUJAR : 052539181 - 073431611 - 091375093
FACEBOOK : GEO TEST V. S.A.C.
RUC : 20606520028

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

Proyecto : TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"

Expediente N° : EXP-37-GEO-TEST-V-2021
Codigo de formato : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11
Peticiónario : Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN
Ubicación : C.P. NARANJAL-SAN RAMON-CHANCHAMAYO
Estructura : Subrasante
Fecha de recepción : Julio 2021
Cantera : Material de calicata
N° de muestra : M-1
Clase de material : SUELO NATURAL 90%+ADICIÓN DE 10% DE CENIZA DE CAÑA
Norma : NTP-ASTM-MTC
Ensayado por : A.Y.G.
Fecha de emisión : Agosto 2021

ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NTP 399.145-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193

Página : 01 de 02

COMPACTACION						
Molde N°	7		8		9	
Capas N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	96		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	13162.0	13260.0	12950.0	12820.0	12428.0	12635.0
Peso de molde (g)	7955.0	7955.0	7505.0	7505.0	7629.0	7629.0
Peso del suelo húmedo (g)	5227.0	5325.0	5065.0	5235.0	4599.0	4806.0
Volumen del molde (cm ³)	2308.2	2308.2	2308.2	2308.2	2308.2	2308.2
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.266	2.307	2.194	2.266	1.993	2.082
Tara (N°)	--	--	--	--	--	--
Peso suelo húmedo + tara (g)	103.5	354.0	154.4	107.0	86.9	230.0
Peso suelo seco + tara (g)	95.3	319.5	141.3	97.1	79.9	209.0
Peso de tara (g)	15.5	11.0	13.7	17.0	11.0	17.4
Peso de agua (g)	8.2	34.5	13.1	9.9	7.0	26.0
Peso de suelo seco (g)	79.8	306.2	127.6	79.3	68.1	191.6
Contenido de humedad (%)	10.26	11.19	10.27	12.48	10.28	13.57
Densidad seca (g/cm ³)	2.054	2.075	1.990	2.016	1.807	1.833

EXPANSION											
FECHA	HORA	TIEMPO	LECTURA DEL DIAL MOLDE N°1	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°2	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°3	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
16/08/2021	4:25pm	0	1.730	1.730	1.44	0.160	0.13	1.200	1.200	1.00	1.00
17/08/2021	4:25pm	24	1.740	1.740	1.45	0.170	0.14	1.300	1.300	1.08	1.08
18/08/2021	4:25pm	48	1.750	1.750	1.46	0.170	0.14	1.400	1.400	1.17	1.17
19/08/2021	4:25pm	72	1.750	1.750	1.46	0.180	0.15	1.400	1.400	1.17	1.17
20/08/2021	4:25pm	96	1.750	1.750	1.46	1.180	0.15	1.400	1.400	1.17	1.17

PENETRACION													
PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°1				MOLDE N°2				MOLDE N°3			
		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION		
Pulgadas	kg/cm ²	Dial	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial	kg/cm ²	kg/cm ²	%
0.000		0.000	0.00			0.000	0.00			0.000	0.00		
0.025		0.033	5.44			0.025	4.46			0.081	11.31		
0.050		0.120	16.06			0.066	9.47			0.143	18.67		
0.075		0.260	33.07			0.126	16.80			0.191	24.71		
0.100	70.31	0.410	51.17	42.1	59.9	0.300	37.91	31.7	45.0	0.250	31.86	28.3	40.2
0.150		0.450	55.96			0.369	46.24			0.260	33.07		
0.200	105.46	0.530	65.56	69.1	65.5	0.480	59.58	61.3	58.1	0.350	43.95	43.8	41.4
0.250		0.650	79.86			0.520	64.36			0.399	49.85		
0.300		0.816	99.75			0.760	92.90			0.444	55.26		
0.400		1.143	137.75			0.920	111.74			0.527	65.20		
0.500		1.520	181.07			1.100	139.76			0.605	74.51		

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
CIP N° 247317
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. SAC



DIRECCIÓN : JR. GRAU N° 211 CHILCA E-MAIL : LABREGESTV02@GMAIL.COM
 187P.A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV. PERRODARRIL CRUCE CON AV. LEONCIO PRADO WEB : GEO TEST V. SAC
 CELULAR : 952525151 - 972631911 - 991378098 FACEBOOK : GEO TEST V. S.A.C. RUC : 2060959289

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

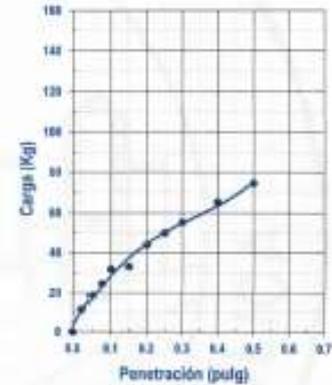
Proyecto : TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"

Expediente N° : EXP-37-GEO-TEST-V-2021
 Código de formato : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11
 Peticionario : Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN
 Ubicación : C.P. NARANJAL-SAN RAMON-CHANCHAMAYO
 Estructura : Subrasante
 Fecha de recepción : Julio 2021

Cantera : Material de calicata
 N° de muestra : M-1
 Clase de material : SUELO NATURAL 95%+ADICIÓN DE 5% DE CENIZA DE CAÑA
 Norma : NTP-ASTM-MTC
 Ensayado por : A.Y.G.
 Fecha de emisión : Agosto 2021

ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NTP 399.145-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193

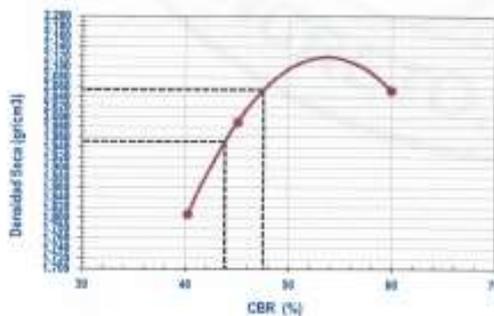
Foja : 02 de 02



MOLDE N°1	
CBR (0.1")	59.9 %
CBR (0.2")	65.5 %
Densidad seca (g/cm ³)	2.054

MOLDE N°2	
CBR (0.1")	45.0 %
CBR (0.2")	58.1 %
Densidad seca (g/cm ³)	1.990

MOLDE N°3	
CBR (0.1")	40.2 %
CBR (0.2")	41.4 %
Densidad seca (g/cm ³)	1.807



Método de compactación : ASTM D1557
 Máxima densidad seca (g/cm³) : 2.054
 Óptimo contenido de humedad (%) : 10.3
 95% máxima densidad seca (g/cm³) : 1.951

C.B.R. al 100% de M.D.S. (%) 0.1" 47.5 0.2" 144.5
 C.B.R. al 95% de M.D.S. (%) 0.1" 43.8 0.2" 158.0

RESULTADOS:

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. = 47.5 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. = 43.8 (%)

NOTAS:

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- 2) El presente documento no deberá reproducirse en la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- 3) Resolución N°003-98-INDECOPI-CRT ART. 6.- Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de conformidad con las normas de prueba que se aplican como certificados del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V. SAC
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
 ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
CIP N° 247312
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. SAC



DIRECCIÓN : JR. BRAG N° 311 - CHILCA E-MAIL : LABGEOTESTV202@GMAIL.COM
 (REF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV. FERRUCARILL BRUCE EDIF. AN. LEONORO PRADO) GEOTEST.V@GMAIL.COM
 CELULAR : 952325151 - 972031911 - 991375093 FACEBOOK : GEO TEST V S. A. C.
 RUC : 20606939229

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

Proyecto : TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"
 Expediente N° : EXP-37-GEO-TEST-V-2021 Cantera : Material de calicata
 Código de formato : FM-EX-41/ REV.01/FECHA 2021-02-11 N° de muestra : M-1
 Peticionario : Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN Clase de material : SUELO NATURAL 65%+ADICIÓN DE 15% DE CENIZA DE CAÑA
 Ubicación : - Norma : NTP-ASTM-MTC
 Estructura : Subrasante Ensayado por : A.Y.G.
 Fecha de recepción : Julio 2021 Fecha de emisión : Agosto 2021

PROCTOR MODIFICADO
NTP 339.141-ASTM D 1557-MTC E 115

Foja : 01 DE 01

COMPACTACION				
N° Capas	5	5	5	5
N° Golpes	25	25	25	25
Peso suelo + molde (gr.)	5,713.0	5,795.0	5,885.0	5,822.0
Peso molde (gr.)	3,764.0	3,764.0	3,764.0	3,764.0
Peso suelo compactado (gr.)	1,949.0	2,031.0	2,121.0	2,058.0
Volumen del molde (cm ³)	947.9	947.9	947.9	947.9
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.056	2.143	2.238	2.171

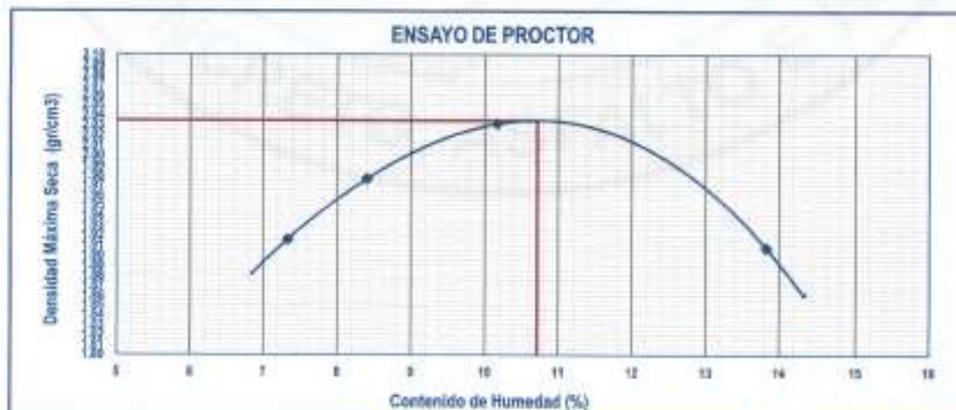
HUMEDAD (%)				
Tara N°	1	2	3	4
Tara + suelo húmedo (gr.)	90.5	111.1	94.9	93.7
Tara + suelo seco (gr.)	85.5	103.8	87.7	84.2
Peso de agua (gr.)	5.0	7.3	7.2	9.5
Peso de tara (gr.)	17.3	16.9	16.9	15.5
Peso de suelo seco (gr.)	68.2	86.9	70.8	68.7
Humedad (%)	7.3	8.4	10.2	13.8
Densidad Seca (gr/cm ³)	1.916	1.977	2.031	1.907

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO			
MÉTODO	A	B	C
TIPO DE MOLDE	4"	6"	6"

CARACTERÍSTICAS DEL MOLDE	
PESO (g)	3,764.0
VOLUMEN (CM ³)	947.9

RESULTADOS DE PROCTOR	
Máxima Densidad Seca (gr/cm ³)	2.034
Óptimo Contenido de Humedad (%)	10.7

RESULTADOS DE PROCTOR CORREGIDO	
Máxima Densidad Seca Corregida (gr/cm ³)	-
Óptimo Contenido de Humedad Corregido(%)	-



NOTAS:

- 1) Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- 3) Resolución N°002-98-INDECOPI-CRT-ART.6.-Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como validación del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V. SAC
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
CIP N° 247312
JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. SAC



DIRECCION : JK. GRAU N° 211 CHILDA E-MAIL : LABGEOTESTV2@GMAIL.COM
 (REF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUZO AV. FERNANDARIL CRUCE CON AV. LEONCIO PRADO) GEOTESTV2@GMAIL.COM
 CELULAR : 98202515 / 97263191 / 991376092 FACEBOOK : GEO TEST V S.A.E
 RUC : 30606939329

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

Proyecto : TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"

Expediente N° : EXP-37-GEO-TEST-V-2021
 Código de formato : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11
 Peticionario : Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN
 Ubicación : +-
 Estructura : Subrasante
 Fecha de recepción : Julio 2021
 Cantera : Material de calicata
 N° de muestra : M-1
 Clase de material : SUELO NATURAL 85%+ADICIÓN DE 15% DE CENIZA DE CAÑA
 Norma : NTP-ASTM-MTC
 Ensayado por : A.Y.G.
 Fecha de emisión : Agosto 2021

ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R)
NTP 399.145-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193

Hoja : 11 de 09

COMPACTACION

Molde N°	1		2		3	
	5		5		5	
Capas N°	56		25		12	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (g)	12992.0	12510.0	12130.0	12200.0	12502.0	12241.0
Peso de molde (g)	7570.0	7570.0	7544.0	7544.0	7725.0	7725.0
Peso del suelo húmedo (g)	4822.0	4940.0	4576.0	4716.0	4277.0	4516.0
Volumen del molde (cm ³)	2141.2	2141.2	2141.2	2141.2	2141.2	2141.2
Densidad húmeda (g/cm ³)	2.252	2.307	2.137	2.202	1.987	2.109
Tara (N°)	--	--	--	--	--	--
Peso suelo húmedo + tara (g)	111.0	121.0	185.0	117.0	235.0	109.0
Peso suelo seco + tara (g)	101.7	109.8	108.5	105.6	213.4	97.8
Peso de tara (g)	15.0	11.3	14.0	16.5	11.8	15.2
Peso de agua (g)	9.3	11.2	18.0	11.4	21.6	11.4
Peso de suelo seco (g)	86.7	98.5	153.7	89.1	201.8	82.4
Contenido de humedad (%)	10.73	11.37	10.74	12.79	10.71	13.83
Densidad seca (g/cm ³)	2.034	2.072	1.930	1.953	1.804	1.853

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	LECTURA DEL DIAL MOLDE N°1	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°2	EXPANSION		LECTURA DEL DIAL MOLDE N°3	EXPANSION	
				mm	%		mm	%		mm	%
20/08/2021	3:07pm	0	1.100	1.100	0.92	1.200	1.200	1.09	2.100	2.100	1.75
21/08/2021	3:07pm	24	1.200	1.200	1.00	1.300	1.300	1.08	2.200	2.200	1.83
22/08/2021	3:07pm	48	1.300	1.300	1.08	1.300	1.300	1.08	2.300	2.300	1.92
23/08/2021	3:07pm	72	1.300	1.300	1.08	1.400	1.400	1.17	2.400	2.400	2.00
24/08/2021	3:07pm	96	1.300	1.300	1.08	1.400	1.400	1.17	2.400	2.400	2.00

PENETRACION

PENETRACION	CARGA STAND.	MOLDE N°1				MOLDE N°2				MOLDE N°3			
		CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION	CARGA	CORRECCION				
Pulgadas	kg/cm ²	Dial	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial	kg/cm ²	kg/cm ²	%	Dial	kg/cm ²	kg/cm ²	%
0.000		0.000	0.00			0.000	0.00			0.000	0.00		
0.025		0.067	9.60			0.043	6.96			0.057	8.37		
0.050		0.150	19.72			0.098	13.38			0.111	14.97		
0.075		0.236	30.17			0.157	20.57			0.148	19.48		
0.100	70.31	0.311	39.24	39.1	55.6	0.214	27.50	27.2	38.7	0.176	22.88	23.0	32.7
0.150		0.460	57.18			0.314	39.61			0.224	28.71		
0.200	105.46	0.586	72.24	73.0	66.2	0.409	51.05	50.7	48.1	0.280	35.50	34.5	32.7
0.250		0.724	88.64			0.491	60.89			0.300	37.91		
0.300		0.842	102.57			0.572	70.58			0.328	41.30		
0.400		1.076	129.98			0.721	88.29			0.387	48.41		
0.500		1.293	155.08			0.865	105.28			0.443	55.14		



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
CIP N° 247312
REF. DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. SAC



DIRECCIÓN : JR. ORAZO N°211 - CHILCA E-MAIL : LABORTESTV@GMAIL.COM
 (REF. A UNA CUADRA FRENTE AL PARQUE PUECO AV. FERREÑARRIL CRUCE CON AV. LEONCIO PRADO) GEO TEST V@GMAIL.COM
 CELULAR : 992225191 - 973621811 - 991375093 FACEBOOK : Geo Test V S.A.S.
 RUC : 3006624222

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRÁULICA

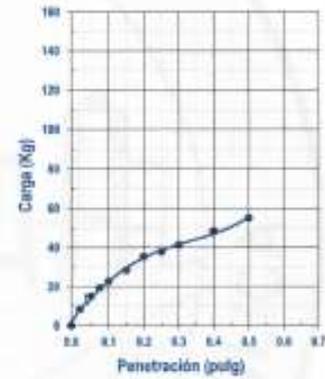
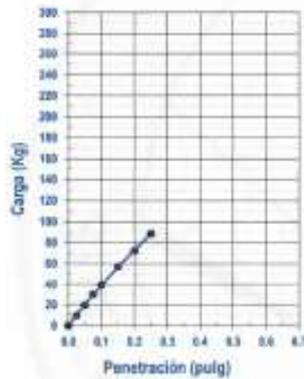
Proyecto : TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"

Expediente N° : EXP-37-GEO-TEST-V-2021
 Código de formato : CBR-EX-01/ REV.01/FECHA 2021-02-11
 Peticionario : Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN
 Ubicación : -
 Estructura : Subrasante
 Fecha de recepción : Julio 2021

Cantera : Material de calicata
 N° de muestra : M-1
 Clase de material : SUELO NATURAL 85%+ADICIÓN DE 15% DE CENIZA DE CAÑA
 Norma : NTP-ASTM-MTC
 Ensayado por : A.Y.G.
 Fecha de emisión : Agosto 2021

ENSAYO DE RELACIÓN DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
 NTP 399.145-ASTM D 1883-MTC E 132-AASHTO T-193

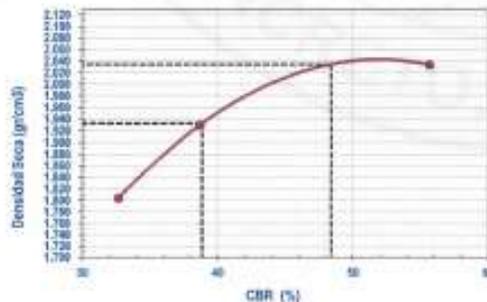
Hoja : 02 de 02



MOLDE N°1	
CBR (0.1")	55.6 %
CBR (0.2")	69.2 %
Densidad seca (g/cm ³)	2.034

MOLDE N°2	
CBR (0.1")	38.7 %
CBR (0.2")	48.1 %
Densidad seca (g/cm ³)	1.930

MOLDE N°3	
CBR (0.1")	32.7 %
CBR (0.2")	32.7 %
Densidad seca (g/cm ³)	1.804



Método de compactación : ASTM D1557
 Máxima densidad seca (g/cm³) : 2.034
 Óptimo contenido de humedad (%) : 10.7
 95% máxima densidad seca (g/cm³) : 1.933

CBR al 100% de M.D.S. (%) 0.1" 48.4 0.2" 69.4
 CBR al 95% de M.D.S. (%) 0.1" 38.9 0.2" 48.5

RESULTADOS:

Valor de C.B.R. al 100% de la M.D.S. * 48.4 (%)
 Valor de C.B.R. al 95% de la M.D.S. * 38.9 (%)

NOTAS:

- Muestreo e identificación realizados por el peticionario
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad
- Resolución N°002-98-INDECOPI-CRT/ART.5.-Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas técnicas, sino como un informe técnico, emitido por el laboratorio, que no garantiza la conformidad con las normas técnicas, sino que certifica el sistema de calidad de la entidad que lo produce.



GEO TEST V. SAC
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

[Signature]
 MAURICIO VELIZ SULCARAY
 CIP N° 247312
 JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. SAC



DIRECCIÓN : Jr. ORAU N°211 CHILCA
 (Ref. a una cuadra frente al parque Pizaro Av. Ferrocarril cruce con Av. Leoncio Prado)
 E-MAIL : labgeotestv02@gmail.com
 geotest.v@gmail.com
 FACEBOOK : Geo Test V S.A.C
 RUC : 20906029229
 CELULAR : 982525191 - 972931911 - 991378993

ANALISIS DE PH DEL SUELO

ASTM D 4972 – 95a, NTP 339.176, MTC E 129

PROYECTO : TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"
 SOLICITA : Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN
 Expediente N° : EXP-37-GEO-TEST-V-2021
 UBICACIÓN : C.P. NARANJAL-SAN RAMON-CHANCHAMAYO
 MATERIAL : SUELO NATURAL, SUELO NATURAL CON ADICION DE % DE CENIZA DE CAÑA DE AZUCAR
 FECHA DE EMISION: : AGOSTO 2021

Muestra :	VALOR		
	Lectura 1	Lectura 2	Promedio
SUELO NATURAL	8.05	8.47	8.3

Interpretación: El pH del SUELO NATURAL tiene como grado de acidez: Moderadamente Alcalino

Muestra :	VALOR		
	Lectura 1	Lectura 2	Promedio
SUELO NATURAL CON ADICION DE 5% DE CENIZA DE CAÑA DE AZUCAR	8.07	8.06	8.1

Interpretación: El pH del SUELO NATURAL CON ADICION DE 5% DE CENIZA DE CAÑA DE AZUCAR tiene como grado de acidez: Moderadamente Alcalino

Muestra :	VALOR		
	Lectura 1	Lectura 2	Promedio
SUELO NATURAL CON ADICION DE 10% DE CENIZA DE CAÑA DE AZUCAR	8.07	8.04	8.1

Interpretación: El pH del SUELO NATURAL CON ADICION DE 10% DE CENIZA DE CAÑA DE AZUCAR tiene como grado de acidez: Moderadamente Alcalino

Muestra :	VALOR		
	Lectura 1	Lectura 2	Promedio
SUELO NATURAL CON ADICION DE 15% DE CENIZA DE CAÑA DE AZUCAR	7.97	7.96	8

Interpretación: El pH del SUELO NATURAL CON ADICION DE 15% DE CENIZA DE CAÑA DE AZUCAR tiene como grado de acidez: Moderadamente Alcalino

GEO TEST V. SAC
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

 ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
 CIP N° 247312
 JEFE DE LABORATORIO

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA
GEO TEST V. SAC



DIRECCIÓN : Jr. GRAU N° 211 CHILCA
 (Frente una cuadra frente al parque Puze Av. Ferrocarril
 cruce con Av. Leoncio Prado)
 E-MAIL : labgtestv12@gmail.com
geotest.v@gmail.com
 FACEBOOK : Geo Test V S.A.C
 RUC : 20006529229

ANALISIS DE PH DEL SUELO
 ASTM D 4972 - 95a, NTP 339.176, MTC E 129

PROYECTO : TESIS - "ADICIÓN DE CENIZA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA ESTABILIZACIÓN DE SUELOS TROPICALES EN LA SELVA CENTRAL"
 SOLICITA : Bach. CARMEN SARA RICRA HUAMAN
 Expediente N° : EXP-37-GEO-TEST-V-2021
 UBICACIÓN : C.P. NARANJAL-SAN RAMON-CHANCHAMAYO
 MATERIAL : AGUA - CENIZA DE CAÑA DE AZUCAR
 FECHA DE EMISION: : AGOSTO 2021

Muestra :	VALOR		
	Lectura 1	Lectura 2	Promedio
AGUA	7.95	7.93	7.9

Interpretación:
 El pH del AGUA tiene como grado de acidez:
 Moderadamente Alcalino

Muestra :	VALOR		
	Lectura 1	Lectura 2	Promedio
CENIZA DE CAÑA DE AZUCAR	8.01	8.05	8

Interpretación:
 El pH del CENIZA DE CAÑA DE AZUCAR tiene como grado de acidez: Moderadamente Alcalino



GEO TEST V. SAC
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO, ASFALTO E HIDRAULICA

 ING. MAX JERRY VELIZ SULCARAY
 CIP N° 247312
 JEFE DE LABORATORIO

Certificado de calibración de equipos

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 175 - 2020**

Página 1 de 3

1. Expediente	200508	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	ORDÓÑEZ CAMPOSANO VLADIMIR	
3. Dirección	Jr. Grau N° 211 Huancayo - JUNIN	
4. Equipo	PRENSA CBR	Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
Capacidad	50 kN	
Marca	UTEST	
Modelo	UTAS-0852	
Número de Serie	18/D00906	
Identificación	NO INDICA	
Procedencia	TURQUIA	
Identificación	NO INDICA	
5. Indicador	DIGITAL	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Marca	UTEST	
Número de Serie	NO INDICA	
División de Escala / Resolución	0,001 mm	
6. Fecha de Calibración	2020-10-09	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
		El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2020-10-10

Jefe del Laboratorio de Metrología


ELEAZAR CESAR CHAVEZ RARAZ

Sello



Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá M: F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú

Telf.: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282

email: metrologia@metrologiatecnicas.com

ventas@metrologiatecnicas.com

calibración@metrologiatecnicas.com

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 175 - 2020

Página 2 de 3

7. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones de LEDI-PUCP tomado como referencia al método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2005.

8. Lugar de calibración

Las instalaciones de la empresa TÉCNICAS CP S.A.C.
Av. Santa Ana Mz H lote 2 Urb. San Diego, San Martín de Porres - Lima

9. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	22,3 °C	22,8 °C
Humedad Relativa	67 % HR	67 % HR

**10. Patrones de referencia**

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en HOTTINGER BALDWIN MESSTECHNIK GmbH - Alemania	Celda de carga calibrado a 20 tnf con incertidumbre del orden de 0,5 %	LEDI-PUCP INF-LE 012-20B

11. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación **CALIBRADO**.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanezca estable dentro de un intervalo de $\pm 2,0$ °C.

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LF - 175 - 2020

Página 3 de 3

12. Resultados de Medición

El equipo presenta ANILLO DE CARGA con las siguientes características:

Capacidad : 50 kN

Marca : UTEST

Clase : NO INDICA

N° de Serie : 18/0019

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia				Error de Exactitud q (%)	Incertidumbre U (k=2) (%)
%	mm	F ₁ (kgf)	F ₂ (kgf)	F ₃ (kgf)	F ₄ (kgf)		
10	0,200	502,5	500,7	498,9	501,1	0,5	0,24
20	0,400	973,4	973,9	970,6	974,4	0,0	0,24
30	0,800	1439,7	1444,9	1442,0	1444,7	-0,3	0,24
40	0,800	1901,5	1902,7	1899,4	1903,6	0,0	0,24
50	1,000	2358,9	2361,3	2353,3	2360,7	0,0	0,24
60	1,200	2811,7	2817,8	2809,3	2811,0	0,0	0,24
70	1,400	3260,0	3263,9	3256,5	3258,8	0,0	0,24
80	1,600	3703,6	3708,9	3695,6	3701,8	0,0	0,24
90	1,800	4143,1	4140,8	4132,9	4138,7	0,1	0,24
100	2,000	4577,9	4564,1	4578,3	4566,9	-0,1	0,24

Con los resultados obtenidos se realizó la siguiente ecuación de ajuste:

Y = Fuerza (kgf)

X = Valores del Dial (mm)

$$Y = -56,304 x^2 + 2\,388,001 x + 27,159$$

**13. Incertidumbre**

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del Documento

Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá M- F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú

Tel: (511) 540-0642

Fax: (511) 540-0642 / 005 11 540 0642

email: metrologia@metrologiatecnicas.com

ventas@metrologiatecnicas.com

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LL - 219 - 2020***Área de Metrología
Laboratorio de Longitud*

Página 1 de 3

1. Expediente	200508	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	ORDOÑEZ CAMPOSANO VLADIMIR	
3. Dirección	Jr. Grau N° 211 Huancayo - JUNIN	
4. Instrumento de Medición	COMPARADOR DE CUADRANTE (DIAL)	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
Alicance de indicación	0 pulg. a 1,00 pulg.	
División de Escala / Resolución	0,001 pulg.	
Marca	BAKER	
Modelo	J50A	
Número de Serie	R2672	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	NO INDICA	
Tipo de indicación	ANALÓGICO	
5. Fecha de Calibración	: 2020-10-10	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
		Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
		El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2020-10-10


ELEAZAR CESAR CHAVEZ RARAZ*Metrología & Técnicas S.A.C.**Av. San Diego de Alcalá M: P1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú**Tel: (511) 540-0642**Cel: (511) 971 450 373 / 987 846 766 / 945 635 343 / 981 450 373**email: metrologia@metrologiatecnicas.com**ventas@metrologiatecnicas.com*

Área de Metrología
Laboratorio de Longitud

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LL - 219 - 2020

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-014: "Procedimiento de Calibración de Comparadores de Cuadrante (Usando Bloques)" del SNM-INDECOPI. Segunda Edición.

7. Lugar de calibración

Laboratorio de Longitud de METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. - METROTEC
Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego, San Martín de Porres - Lima

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	20,7 °C	20,8 °C
Humedad Relativa	68 %	68 %

9. Patrones de Referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado/informe de calibración
BLOQUES PATRÓN (Grado K) 170439001	BLOQUES PATRÓN (Grado 0) Modelo 4100-47	DM / INACAL LLA-149-2020
COMPARADOR MECANICO DE BLOQUES: LLA-125-2020		

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.



11. Resultados de mediciónALCANCE DEL ERROR DE INDICACIÓN (f_e)

VALOR PATRÓN		INDICACIÓN DEL COMPARADOR (pulg.)	ERROR DE INDICACIÓN (mil)
(mm)	(pulg.)		
2,50	0,0984	0,0988	0,4
5,00	0,1969	0,1972	0,3
7,50	0,2953	0,2955	0,2
10,00	0,3937	0,3942	0,5
12,50	0,4921	0,4922	0,1
15,00	0,5906	0,5909	0,3
17,50	0,6890	0,6891	0,1
20,00	0,7874	0,7878	0,4
22,50	0,8858	0,8861	0,3
25,00	0,9843	0,9846	0,3

Alcance del error de indicación (f_e) : 0,43 mils.Incertidumbre del error de indicación : $\pm 0,59$ mils para ($k=2$)ALCANCE DEL ERROR DE REPETIBILIDAD (f_w)

VALOR PATRÓN		INDICACIÓN DEL COMPARADOR (pulg.)	ERROR DE INDICACIÓN (mil)
(mm)	(pulg.)		
10,00	0,3937	0,3942	0,5
		0,3942	0,5
		0,3942	0,5
		0,3942	0,5
		0,3942	0,5

Error de Repetibilidad (f_w) : 0,00 milsIncertidumbre del error de indicación : $\pm 0,59$ mils para ($k=2$)Nota 1.- 1 mils es equivalente a 25,4 μm .**12. Incertidumbre**

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%. La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú

Telf.: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282

email: metrologia@metrologiatecnicas.com

ventas@metrologiatecnicas.com

calidad@metrologiatecnicas.com