

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**Efecto de la adición de ceniza
de tuza de maíz en la estabilización de subrasantes blandos,
Villa Prado – 2023**

Línea de investigación:
Ingeniería de Transportes

Sub-Línea de Investigación:
Transportes

Autor:

Pinedo Navarro, Jossep Anthony

Jurado evaluador:

Presidente : Ramal Montejo, Rodolfo Enrique

Secretario : Vines Rentería, Manuel Alberto

Vocal : Alzamora Román, Hermer Ernesto

Asesor:

Príncipe Reyes, Roger Alberto

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0498-9544>

Piura – Perú

Fecha de Sustentación: 2024/05/29

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**Efecto de la adición de ceniza
de tuza de maíz en la estabilización de subrasantes blandos,
Villa Prado – 2023**

Línea de investigación:
Ingeniería de Transportes

Sub-Línea de Investigación:
Transportes

Autor:

Pinedo Navarro, Jossep Anthony

Jurado evaluador:

Presidente : Ramal Montejo, Rodolfo Enrique
Secretario : Vinces Rentería, Manuel Alberto
Vocal : Alzamora Román, Hermer Ernesto

Asesor:

Príncipe Reyes, Roger Alberto

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-0498-9544>

Piura – Perú

2024

Fecha de Sustentación: 2024/05/29

Efecto de la adición de ceniza de tuza de maíz en la estabilización de subrasantes blandos, Villa Prado - 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	15%	1%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	7%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	7%
3	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo



Ing. Roger Alberto Principe Reyes

CIP N°43516

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Roger Alberto Príncipe Reyes, docente del Programa de Estudio de Ingeniería Civil de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis de investigación titulada **“Efecto de la adición de ceniza de tuza de maíz en la estabilización de subrasantes blandos, Villa Prado – 2023.”**, del autor **Jossep Anthony Pinedo Navarro**, dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 15 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 24 de mayo del 2024.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis **“Efecto de la adición de ceniza de tuza de maíz en la estabilización de subrasantes blandos, Villa Prado – 2023.”**, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Ciudad y fecha: Piura, 24/05/2024



Br. Jossep Anthony Pinedo Navarro
DNI: 72784764



Dr. Roger Alberto Principe Reyes
DNI:02805945
ORCID: <https://orcid.org/0000-0020-4989-544>

Dedicatoria

Deseo extender y dedicar con sinceridad a mis padres Julio y Belinda quienes hicieron posible cumplir con este sueño, caminaron en todo momento y siempre fueron mi inspiración, motivación y fortaleza. A Dios porque sin él nada es posible, a mi familia por demostrarme, aconsejarme y apoyarme para superar mis retos y afrontarlos con responsabilidad y a mi asesor por la enseñanza, apoyo y paciencia para hacer posible la culminación de este proyecto.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por bendecirme, guiarme y ayudarme a superar cada obstáculo presentado en este camino, a mis padres Julio Pinedo y Belinda Navarro por el sacrificio que hicieron para poder cumplir con mis metas profesionales, por su amor incondicional, por su constante apoyo y motivación en todo momento, por su compromiso en todos los aspectos para llegar alcanzar los resultados, a mi familia por los consejos valiosos, a mi asesor por su orientación y guía en el desarrollo del proyecto, y a mis profesores por compartir sus conocimientos, enseñanzas y herramientas necesarias para alcanzar esta meta; gracias por su excelente trabajo y por hacer posible este éxito.

Resumen

El informe investigativo tuvo como propósito principal determinar el efecto de la adición de ceniza de tusa de maíz en la estabilización de subrasantes blandos, Villa Prado 2023. La metodología que se empleó fue de tipo aplicada, nivel explicativo, no experimental; la muestra se compuso por 3 ensayos de laboratorio, concerniente a la densidad, CBR y el Índice de Plasticidad de subrasantes blandas. La técnica utilizada fue la observación directa y el instrumento fue la ficha de recolección de datos, como también los materiales fotográficos y fichas de laboratorio. Los resultados evidenciaron que las propiedades fisicoquímicas de la ceniza de tusa de maíz con mayor prevalencia fue el Silicio óxido (SiO_2) en un 61.23%. El diseño de mezcla óptimo del aditivo en las subrasantes blandos fue el 30%; debido a que mejoró la MDS pasando de 1.720 gr/cc (suelo natural) a 1.970 gr/cc; mejoró la CBR (11.6%) y el IP (9.2%). Conclusión: El efecto de ceniza de tusa de maíz en subrasantes blandas fue estadísticamente significativa con valores de p -valor de .022, .005 y .026 para adiciones del 10%, 20% y 30% respectivamente.

Palabras clave: ceniza, tusa de maíz, estabilización, subrasantes blandos.

Abstract

The main purpose of the research report was to determine the effect of the addition of corn stover ash on the stabilization of soft subgrades, Villa Prado 2023. The methodology used was applied, explanatory level, non-experimental; the sample consisted of 3 laboratory tests, concerning density, CBR and the Plasticity Index of soft subgrades. The technique used was direct observation and the instrument was the data collection form, as well as photographic materials and laboratory cards. The results showed that the physicochemical properties of corn stover ash with the highest prevalence was silicon oxide (SiO₂) at 61.23%. The optimum mix design of the additive in soft subgrades was 30%; because it improved the MDS from 1,720 gr/cc (natural soil) to 1,970 gr/cc; it improved the CBR (11.6%) and the IP (9.2%). Conclusion: The effect of corn stover ash on soft subgrades was statistically significant with p-values of .022, .005 and .026 for additions of 10%, 20% and 30%, respectively.

Keywords: ash, corn stover, stabilization, soft subgrade.

Presentación

Piura, marzo del 2024

Estimados miembros del jurado:

Brindando cumplimiento y aprobación a los requisitos estipulados en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, para lograr el Título Profesional de Ingeniero Civil, ponemos a su disposición la presente tesis titulada:

Efecto de la adición de ceniza de tuza de maíz en la estabilización de subrasantes blandos, Villa Prado – 2023.

El contenido de la presente tesis ha sido desarrollado teniendo en cuenta todos los conocimientos adquiridos durante nuestra formación profesional, guiándonos de información de investigaciones anteriores y contando con el asesoramiento del Ing. Roger Alberto Príncipe Reyes.

Atentamente,

Br. Pinedo Navarro, Jossep Anthony.

Índice de contenido

Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Presentación	v
Índice de contenido	vi
Índice de tablas	viii
I. 9	
1.1. 9	
1.2. 10	
1.3. 11	
II. 12	
2.1. 12	
2.2. 14	
2.3. 18	
2.4. 19	
2.5. 19	
III. 21	
3.1. 21	
3.2. 21	
3.3. 22	
3.4. 22	
3.5. 23	
IV. 24	
V. 28	
CONCLUSIONES	31

	7
RECOMENDACIONES	32
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
ANEXOS	39

Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades físicas de la ceniza de tusa de maíz	24
Tabla 2. Propiedades químicas de ceniza de tusa de maíz	24
Tabla 3. Diseño de mezcla para la estabilización de la subrasante	25
Tabla 4. Diseño de mezcla para la estabilización de la subrasante	25
Tabla 5. Máxima densidad seca, capacidad de soporte e índice de plasticidad	26
Tabla 6. Efecto de la adición de ceniza de tusa de maíz en la estabilización de subrasantes blandos	27

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

En España, uno de los principales desafíos y problemas en el sector construcción es la estabilización de las subrasantes compuestas por suelos blandos, debido a sus propiedades inconsistentes y baja capacidad de carga que estos presentan; por lo que son propensos a deformación y hundimiento a largo plazo (Bambo et al., 2023). Donde 10.000 km de la red vial pavimentada presentan agrietamientos gruesos y deterioro grave; es decir, más del 50% de red viaria; esto incrementó el 30% de accidentes en el país (Salesa et al., 2022).

En América Latina, es muy común que no se tomen en cuenta la durabilidad y vida útil de las carreteras a la hora de construirlas (Gerencia de Riesgos y Seguros, 2023). En el caso de Colombia, de 8.826 km de vías pavimentadas, el 18.61% se encuentran en mal estado, representando 1.642,7 km (Mejía et al., 2023). En Ecuador, 4.082 km de red vial presentan mal estado, restringiendo la conexión entre las provincias, debido a deslizamientos y derrumbes; sumado a esto la falta de mantenimiento y utilización de aditivos para mejorar las características mecánicas de los suelos (Zambrano-Bastidas & Villacreses-Viteri, 2023).

En el Perú, solo el 13,2% de la red vial departamental está pavimentada y la red vecinal solo alcanza el 1,7% (Ministerio de Transporte y Comunicaciones [MTC], 2022); además, presentan una serie de problemas como el deterioro de la infraestructura por la falta de mantenimiento, mala calidad de los subrasantes y errores en el proceso de construcción (Huamani et al., 2022); puesto que no se llevan a cabo evaluaciones geotécnicas para el desarrollo de estos proyectos, lo cual involucra la verificación de las propiedades mecánicas y físicas de los suelos; al mismo tiempo estudios del impacto ambiental (Coronel et al., 2022).

En el contexto local, el Centro Poblado Villa Prado, perteneciente al distrito de Juanjui, Provincia de Mariscal Cáceres, región San Martín; ubicada a 6 km aproximadamente de la ciudad de Juanjui, con una altitud de 280 msnm. En dicha localidad se encuentra la carretera que conecta el Centro Poblado de

Villa Prado con la ciudad de Juanjui; sin embargo, la infraestructura presenta malas condiciones desde hace muchos años por las constantes precipitaciones pluviales, lo que perjudica el transporte vehicular. Todo esto debido, al deficiente mantenimiento por parte de las autoridades y mala calidad de las subrasantes que contribuya a la estabilización de los suelos, teniendo en cuenta que son suelos blandos.

De acuerdo con lo anterior, se entiende la importancia que tiene la capacidad portante de los suelos y lo mucho que contribuyen sus características fisicoquímicas en la durabilidad de los pavimentos; por lo tanto, se tiene como fin examinar las propiedades que presentan los suelos blandos y los efectos que trae consigo la adición de ceniza de tusa de maíz en estos; debido a que en la localidad y a sus alrededores existe un alto porcentaje de producción de maíz; para contribuir en la estabilización de las subrasantes blandos; asimismo, se contribuya en la economía local, minimizando los costos de mantenimiento y la repercusión que generan los materiales químicos en el medio ambiente.

En relación con lo postulado, se plateó como problema general: ¿Cuál es el efecto de la adición de ceniza de tusa de maíz en la estabilización de subrasantes blandos, Villa Prado 2023? Problemas específicos: ¿Cuáles son las características físicas y químicas de la ceniza de tusa de maíz?; ¿Cuál es el diseño de mezcla para la estabilización de la subrasante sin adición y con adición de ceniza de tusa de maíz?; ¿Cuál es la máxima densidad seca, capacidad de soporte e índice de plasticidad antes y después de la adición de ceniza de tusa de maíz?

1.2. Objetivos

Objetivo general: Determinar el efecto de la adición de ceniza de tusa de maíz en la estabilización de subrasantes blandos, Villa Prado 2023.

Objetivos específicos: Identificar las características físicas y químicas de la ceniza de tusa de maíz, Villa Prado 2023. Identificar el diseño de mezcla para la estabilización de la subrasante sin adición y con adición de ceniza de tusa de maíz. Determinar la máxima densidad seca, capacidad de soporte e índice de plasticidad antes y después de la adición de ceniza de tusa de maíz.

1.3. Justificación del estudio

Justificación social: Se llevó a cabo la evaluación sobre los temas y luego se efectuaron experimentos para mejorar la calidad de las subrasantes blandos por medio de la adición adecuada de ceniza de tusa de maíz, de manera que sirvió para mejorar la red vial de la localidad.

Justificación académica: El estudio se ejecutó bajo las normativas estipuladas por la UPAO; puesto que fue imprescindible y necesario para la obtención del título profesional de Ingeniero Civil. Al mismo tiempo, se hizo uso de metodologías y de conocimientos adquiridos a lo largo de la formación universitaria. Por lo que se contribuyó con la comunidad estudiantil como base para estudios posteriores que traten sobre el tema.

Justificación económica: Se llevó a cabo un estudio sobre una nueva alternativa para mejorar la estabilización de subrasantes blandos; lo cual trajo consigo la reducción de los precios para su elaboración; al mismo tiempo mejoró sus propiedades de soporte y plasticidad; es decir, se evaluó las propiedades fisicoquímicas de la ceniza de tusa de maíz y su repercusión sustentable en las actividades de construcción.

II. MARCO DE REFERENCIA

II.1. Antecedentes del estudio

II.1.1. Antecedentes Internacionales

Según Dughaishi et al. (2022) en su artículo *“Fomentar el uso sostenible de materiales RAP para la construcción de pavimentos en Omán: una revisión”*. Concluyeron: Al mezclar el 20% de materiales reciclados (RAP) o menos, mejoran las propiedades mecánicas y se ahorran 39% del costo total en los pavimentos; al mismo tiempo, mejoran las construcciones de las carreteras y minimizan el impacto en el ecosistema por la dependencia de materiales vírgenes.

Según Quevedo et al. (2021) en su artículo *“Análisis de costos entre estabilización suelo cemento y el mantenimiento periódico de vías rurales en la Provincia del Cañar”*. Concluyeron: Estabilizar los suelos con el 6% de cemento incrementa sus propiedades mecánicas y reduce el costo a un 80% durante un periodo de 5 años; es decir, sin estabilización costaría el mantenimiento dentro del ese periodo 68.752,32 dólares y estabilizando alcanzaría un monto de 38.221,98 dólares; por lo que resulta ser viable económica y técnicamente.

Según Alarcón et al. (2020) en su artículo *“Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso”*. Concluyeron: La adición adecuada de lodo aceitoso es del 6% para estabilizar el material granular; esto le permite aumentar el módulo resiliente del orden al 40% en un tiempo de 7 días en comparación al módulo resiliente del material granular sin aditivo; esto a su vez reduce la plasticidad. Asimismo, para tratar la subrasante se debe adicionar 4% del aditivo seleccionado para incrementar su resistencia; volviéndole más resistente a situaciones más críticas.

II.1.2. Antecedentes Nacionales

Según Quispe (2021) en su artículo *“Estabilización de suelos expansivos con ceniza de mazorca de maíz en la ciudad del Cusco”*. Concluyó: El suelo, antes de la adición de ceniza de mazorca de maíz,

presentaba un índice de plasticidad de 10.14 (nociva para el pavimento) y una capacidad de soporte de 7.2; al adicionar un 8% de ceniza de maíz, el IP se redujo un 10,14% e incrementó el CBR inicial a 19,10%; logrando la estabilización de los suelos.

Según Coronel et al. (2021) su artículo denominado *“Efecto de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en las propiedades del concreto”*. Concluyeron: El porcentaje ideal para mejorar las propiedades del concreto mezclado con ceniza de (CBCA) es del 10% en 28 días; puesto que mejora el módulo elástico; a diferencia del 5% y 20% de dosificación que reducen la resistencia del concreto hasta un 54,83% e incrementa el calor de la mezcla, convirtiéndolo en un material de baja trabajabilidad.

Según Ramal et al. (2020) en su artículo titulado *“Materiales alternativos para estabilizar suelos: el uso de ceniza de cáscara de arroz en vías de bajo tránsito de Piura”*. Concluyeron: La utilización de ceniza de cáscara de arroz resulta ser un material supereconómico en su producción y de fácil adquisición; puesto que la cantidad de cáscara que generan los molinos es de una tonelada (8192 m³) al ser quemados y convertidos en ceniza, se obtiene un aproximado de 1589.25 m³ y cada saco cuesta S/2.50. Por lo tanto, es un material muy accesible para ser empleado en el sector construcción y a su vez contribuye de manera significativa en el incremento de las propiedades de los suelos, como su capacidad de soporte (CBR) y estabilidad de los suelos arcillosos y limosos.

II.1.3. Antecedentes Locales

Según Arévalo & López (2020) su estudio *“Adición de ceniza de la cascarilla de arroz para mejorar las propiedades de resistencia del concreto en la región San Martín”*. Concluyeron: La proporción adecuada de adición de ceniza de cascarilla de arroz es de 2%; por cuanto, mejora levemente la resistencia a la compresión del concreto de 1,65% (213.82 kg/cm²) dentro de un tiempo de 28 días; del mismo

modo la resistencia a la flexión incrementó un 5,67% con un módulo de rotura (47.83 kg/cm²).

Según Pinedo (2021) en su investigación *“Diseño de una sub rasante con adición de fibra PET para mejorar la calidad de los suelos arcillosos, Tarapoto – 2021”*. Concluyó: La adición óptima de fibra de PET para mejorar la humedad del suelo arcilloso es del 3%; es decir, disminuye la humedad (11,8%) y la densidad incrementa (1.807 gr/cm²), del mismo modo el CBR mejora un 90%; con respecto al costo, suele ser muy económico, porque la fibra de PET es reciclable en su totalidad y esto a su vez contribuye a la conservación del medio ambiente.

Según Delgado & Guerra (2020) en su trabajo investigativo *“Análisis comparativo de aceite sulfonado y cal para la estabilización de la subrasante en la carretera no pavimentada San Francisco, Tarapoto-2020”*. Concluyeron: La proporción óptima de cal es del 5%, puesto que proporciona una mayor capacidad de soporte al suelo, pasando de 11,4% a 16,2%; asimismo, estabiliza la absorción de agua y disminuye la plasticidad en un 9%. De igual forma, la cantidad adecuada del aditivo (aceite sulfonado) es del 5% (0.0.6l/m³) lo cual permite la disminución del IP al 0% actuando de manera más rápida que la cal y también mejorar el CBR y resistencia del suelo.

II.2. Marco teórico

II.2.1. Ceniza de tusa de maíz

Son restos inorgánicos que quedan del resultado de la combustión de las tusas de maíz, lo cual contiene diversos compuestos minerales, como silicatos y carbonatos (Adrianzen et al., 2022). Las propiedades que presenta son semejantes a las del cemento Portland; es decir, es muy resistente a las probetas; por lo que resulta ser un complemento esencial en la estabilización de los suelos (Zea et al., 2023). Además, puede ser empleado como un aditivo en la elaboración de equipos de construcción como el cemento y ladrillo por su alto contenido de silicatos (Oyebisi et al., 2021). De manera complementaria, Odeyemi

et al. (2020) dan a conocer que la tusa de maíz está integrada por 3 capas (núcleo, tejido leñoso y la parte exterior por la paja leñosa) que al ser quemadas se obtiene ceniza de características muy resientes.

II.2.1.1. Características

En su composición mineral presenta (K, Mg, P, Si) y carbonato, los cuales van a variar en función a los procesos de combustión y al tipo de maíz (Yifru et al., 2022). Respecto a su textura y color; estos pueden ser polvos finos o muy consistentes, con tonalidades oscuras o gris claro, dependiendo de sus compuestos (Bheel et al., 2021). Teniendo en cuenta que la tusa de maíz tiene una alta capacidad de resistencia y flexibilidad, por lo que puede ser utilizado en diversos ámbitos; sumado a esto sus características químicas: 44% Carbono, 7% Hidrógeno, 47% Oxígeno y 0.7% Nitrógeno (Garbanzo-León et al., 2021).

II.2.1.2. Ventajas

Según, Shakouri et al. (2020) considera más resaltante que permite mejorar la estructura de los suelos por su contenido de sílice; puesto que actúa como un agente de corrección del suelo, contribuyendo en potencia su permeabilidad, capacidades para la retención del agua y minimiza la compactación del suelo. Asimismo, Maglad et al. (2023) a través del su uso se fomenta el reciclaje en las comunidades, puesto que es un recurso sustentable tanto para el medio ambiente como para la economía por su bajo costo y es de fácil obtención.

II.2.1.3. Evaluación de la adición de ceniza de tusa de maíz

Después del análisis efectuado, la cantidad de ceniza de maíz que se va a emplear como aditivo para mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo de la carretera que conecta el Centro Poblado Villa Prado y la ciudad de Juanjuí es: 10%. 20% y 30%; por lo tanto, para su evaluación se consideró el método Proctor, mediante procedimiento de laboratorio, de manera que permita determinar la densidad máxima del suelo, comprobar la humedad del suelo compacto y los cohesivos.

Las pruebas de compactación que se efectúen serán con la finalidad de incrementar la densidad mecánica del suelo, por lo que se efectuó de manera apropiada para evitar el asentamiento del suelo, lo que puede producir un incremento de costos por mantenimiento que resultaría innecesario, al mismo tiempo, problemas en la estructura del pavimento (Adrianzen et al., 2022).

II.2.2. Subrasantes blandos

Son las capas de suelo o materiales que presentan una capacidad de soporte o resistencia limitada; son débiles y no pueden resistir a cargas pesadas sin sufrir deformaciones o colapsos, lo cual implica el reemplazo por materiales más adecuados o la estabilización del suelo mediante técnicas (Noriega et al., 2022). De igual manera, Zhao et al. (2022) que estos están conformados por arcilla, limos o sedimentos marinos que suelen ser partículas muy finas que no le permite tener una adecuada retención de las aguas. Por otro lado, Rivera et al. (2020) estos no son capaces de soportar cargas pesadas; porque pueden producir hundimientos o deslizamientos de los terrenos, por lo que resulta un desafío para la construcción de vías carrozables o cualquier otro tipo de infraestructura.

II.2.2.1. Estabilización de estos suelos blandos

Se debe tomar en consideración los materiales que posee el suelo en su estado natural para ser combinados con otros materiales; lo cual puede darse de diversas maneras; el primero se construye una capa de manera directa en el suelo y el segundo se lleva a cabo una excavación de manera anticipada para reemplazar los materiales de adición (Llano et al., 2020). Asimismo, Duong et al. (2021) indican que las propiedades físicas con las que debe de contar los suelos para alcanzar un resultado idóneo a la hora de mejorar sus propiedades son:

II.2.2.1.1. Resistencia: Es una característica que requiere ser aumentada para alcanzar una mayor cohesión entre las partículas del con la adición de ciertos materiales o la compactación de tipo mecánica.

II.2.2.1.2. Compresibilidad: Esta propiedad se mejora rellenando los poros, para ello, se debe de tener el cuidado

necesario, porque si no es controlada puede causar daños en el suelo, es decir, que sea apto para su utilización.

II.2.2.1.3. Permeabilidad: Es una calidad que presente el suelo, permitiendo dar paso a los fluidos sin modificar sus propiedades; por lo tanto, el agua circundante debe contar con un buen filtro para evitar poner en peligro el comportamiento de este.

II.2.2.1.4. Durabilidad: Es la facultad de resistencia ante procesos de erosión; por lo que se deben de construir capas para evitar que se dañen los materiales naturales o los estabilizadores.

II.2.2.2. Tipos de suelos

Según Macías-Echeverri et al. (2019) precisan que existe una diversidad y que cada uno de estos presenta sus propias cualidades, dentro de los cuales considera: Arcillosos; los cuales se caracterizan, porque son propensos a deformarse fácilmente y son vulnerables a la humedad, lo que le produce modificaciones o variaciones volumétricas por sus partículas pequeñas con las que cuenta y su alta plasticidad.

Según Cardona & Jimenez (2023) consideran a los suelos limosos; los cuales tienen algo de semejanza con los arcillosos; sin embargo, sus partículas son muchas más grandes, pero de igual forma las propiedades de carga son muy bajas, produciendo deformaciones al ser expuestas; por lo que requieren de estabilizantes para mejorar sus propiedades tanto físicas como químicas.

Según Vera et al. (2022) mencionan sobre los arenosos; estos son fáciles de encontrar a las orillas o cerca de ríos o zonas costeras, por lo que le confiere una textura granulada y con poca capacidad de retener el agua y son altamente compresibles, lo cual provoca hundimientos o deslizamientos de las tierras; de manera que deben utilizarse aditivos que coadyuven y fortalezcan sus propiedades para que las obras que se desarrollen en esos suelos sean duraderas.

II.2.2.3. Desventajas

Según Madrigal et al. (2020) consideran que presentan muy baja capacidad a la compresión a diferencia de otros suelos, por lo que les es difícil resistir cargas pesadas sin que no presenten algún tipo de deformación, por lo que resulta un problema a la hora de construir infraestructuras; porque afecta su estabilidad, son frágiles para la humedad como para la sequedad, como para contracciones o expansión.

II.2.2.4. Evaluación de la estabilización de subrasantes blandos

Para medir la estabilización se tomó en cuenta: Máxima densidad seca; el cual es el peso mayor posterior a la compactación, haciendo cambiar la humedad y encontrando la calidad ideal. Asimismo, se consideró la capacidad de soporte; esto permitirá medir la resistencia al esfuerzo cortante del suelo para determinar la calidad del terreno para subrasante; esto se realiza por medio de condiciones controladas de humedad y densidad; por lo tanto, para ser considerada como muy buena la CBR debe ser mayor al 20% (Noriega et al., 2022)

II.3. Marco conceptual

II.3.1. Índice de plasticidad

Mide la capacidad de un suelo para ser moldeado o deformado; por lo tanto, el IP es el resultado al sacar el límite de plasticidad y el límite líquido del suelo, el cual es expresado en términos de porcentaje; es decir, a mayor IP que contenga el suelo más probabilidad tiene de deformarse (Heru et al., 2023).

II.3.2. Aditivos

Son materiales que se agregan al suelo con la intención de que estos puedan mejorar sus características tanto físicas como químicas; es decir, pueden potenciar sus capacidades para retener agua, minimizar la erosión y captación del suelo; alguno de estos o los más conocidos son: cemento, cenizas o los residuos granulados (Villacís et al., 2022).

II.3.3. Drenaje

Es el sistema que está diseñado para recolectar, almacenar y transportar el agua hacia espacios seguros; en el ámbito de la construcción, esto se emplean para recolectar agua que se encuentra acumulada en ciertas zonas urbanas, carreteras o presas a fin de evitar daños o inundaciones (Chavarry-Vallejos et al., 2020).

II.3.4. Compactación

Son procesos que permiten incrementar la densidad y la capacidad del suelo por medio del uso de fuerzas externas para reducir los vacíos que esta contenga y a su vez se mejore su resistencia y en consecuencia su capacidad portante; de manera que se evite el asentamiento o deformación del terreno (Ospina-García et al., 2020).

II.4. Sistema de hipótesis

II.4.1. Hipótesis general

H_i: El efecto de la adición de ceniza de tusa de maíz en la estabilización de subrasantes blandos, Villa Prado 2023; es positivo.

II.4.2. Hipótesis específicas

H₁: Las características físicas y químicas de la ceniza de tusa de maíz, Villa Prado 2023; son adecuados.

H₂: El diseño óptimo de mezcla mejora la estabilización de la subrasante usando adición de ceniza de tusa de maíz.

H₃: La máxima densidad seca, capacidad de soporte e índice de plasticidad después de la adición de ceniza de tusa de maíz, es óptimo.

II.5. Variables e indicadores

II.5.1. Variable 1. Ceniza de tusa de maíz

II.5.1.1. Definición conceptual: Son restos inorgánicos que quedan del resultado de la combustión de las tusas

de maíz, lo cual contiene diversos compuestos minerales, como silicatos y carbonatos (Adrianzen et al., 2022).

II.5.1.2. Definición operacional: Para medir la dosificación de la ceniza de tusa de maíz se efectuó en función al peso del suelo del lugar en el que se realizó el estudio.

II.5.1.3. Escala de medición: Razón

II.5.1.4. Indicador: Ceniza de tusa de maíz para el mejoramiento de la subrasante del tramo de la carretera del distrito de Juanjuí al Centro Poblado Villa Prado (10%, 20%, 30%).

II.5.2. Variable 2. Subrasantes blandos

II.5.2.1. Definición conceptual: Son las capas de suelo o materiales que presentan una capacidad de soporte o resistencia limitada; son débiles y no pueden resistir a cargas pesadas sin sufrir deformaciones o colapsos, lo cual implica el reemplazo por materiales más adecuados o la estabilización del suelo mediante técnicas (Noriega et al., 2022).

II.5.2.2. Definición operacional: Para medicar la estabilización de las subrasantes blandos se tomó en cuenta su densidad máxima, CBR y el índice de plasticidad que este posea; a través de ensayos de laboratorio.

II.5.2.3. Escala de medición: Razón

II.5.2.4. Indicador: Máxima densidad seca (2600 gr/cm^3 , 2700 gr/cm^3), Capacidad de soporte (CBR) (Subrasante muy pobre $<3\%$, Subrasante pobre $3\% - 5\%$, Subrasante regular $6\% - 10\%$, Subrasante buena $11\% - 19\%$, Subrasante muy buena $>20\%$), Índice de plasticidad ($IP > 20$ Alta, $7 \leq IP \leq 20$ Media, $IP < 7$ Baja, $IP = 0$ no plástico).

III. METODOLOGÍA

III.1. Tipo y nivel de investigación

III.1.1. Tipo de investigación

Aplicada, según Firdaus et al. (2021) consiste en adquirir conocimientos por medio de la resolución de situaciones problemáticas específicas o que se presentan en la realidad; por lo que es necesario el uso de herramientas científicas disponibles para encontrar respuestas y buscar emplear los resultados alcanzados en situaciones semejantes. Bajo ese enfoque, en el trabajo investigativo se tuvo a bien mejorar la estabilización de los suelos blandos mediante la adición de ceniza de tusa de maíz en sus distintos porcentajes.

III.1.2. Nivel de investigación

Explicativo, según Ocaña & Fuster (2021) a través de estos estudios, se explora de manera profunda un fenómeno que no ha sido ampliamente examinado con el propósito de comprender eficientemente las causas o relaciones existentes a este; permitiendo comprobar teorías detrás de la realidad. En ese sentido, el informe estuvo centrado en analizar detalladamente los efectos producidos en las propiedades de las subrasantes blandos mediante la adición de ceniza de tusa de maíz; es decir, facilitó la caracterización de aspectos concretos sobre las repercusiones generadas de la adición del 10%, 20% y 30% de dicho aditivo en la MDS, CBR y en el IP de las subrasantes blandos.

III.2. Población y muestra de estudio

III.2.1. Población

Según Carrasco (2019) son una serie de elementos, cosas o sujetos que disponen de calidades semejantes que son fáciles de observar. Por lo tanto, estuvo conformada por el tramo de la carretera del Distrito de Juanjú al Centro Poblado de Villa Prado; asimismo, se contó con 3 ensayos de laboratorio sobre la densidad, CBR e índice de plasticidad.

III.2.2. Muestra

Según Arbaiza (2019) es una parte extraída que representa a la población en la que se ejecutará el estudio. Por lo que estuvo integrada por el tramo de la carretera del Distrito de Juanjuí al Centro Poblado de Villa Prado; asimismo, se contó con 3 ensayos de laboratorio sobre la densidad, CBR e índice de plasticidad.

III.3. Diseño de investigación

Según Valderrama (2020) precisa que el diseño experimental sucede cuando el investigador manipula deliberadamente los hechos ocurridos o temas en particular para registrar cambios producidos a partir del experimento efectuado. Durante el desarrollo del estudio se manipuló a la ceniza de tusa de maíz adicionando diferentes porcentajes (10%, 20% y 30%) a las subrasantes blandos para observar los cambios en sus propiedades fisicoquímicas que estas tengan después de su aplicación; de igual manera, fueron analizadas sin mezclar ningún aditivo para comparar los resultados a través de la prueba de T-Student.

III.4. Técnica e instrumentos de investigación

III.4.1. Técnica

Observación directa; según Arbaiza (2019) es un medio que consiste en registrar sistemáticamente comportamientos o fenómenos para recolectar evidencias detalladas y objetivas. Es decir, se observó la máxima densidad seca, capacidad de soporte e índice de plasticidad que alcance la subrasante blanda con y sin adictivo de ceniza de tusa de maíz en el lugar de estudio.

Análisis de datos; según Carrasco (2019) sostiene que es un medio que se encarga de examinar las evidencias obtenidas en el estudio científico, en el cual se incluye todas las etapas, desde la descripción hasta los resultados.

III.4.2. Instrumentos

Se empleó como instrumento la ficha de recolección de datos de acuerdo con cada ensayo que se realizó y fue diseñada de manera cuidadosa para garantizar la validez y confiabilidad de las evidencias. Asimismo, se contó con materiales fotográficos para evidenciar el trabajo que se llevó a cabo, fichas de laboratorio que garantizaron la calidad de los ensayos de las muestras seleccionadas, Proctor modificado y límite de consistencia modificado; estos garantizaron el cumplimiento de los requisitos exigidos por normativa.

III.5. Procesamiento y análisis de datos

En primera instancia se solicitó el permiso correspondiente por medio de una carta de autorización a la municipalidad distrital de Villa Prado en Juanjuí; luego se llevó a cabo los ensayos de laboratorio de la mecánica de los suelos (contenido de humedad, límite líquido y plástico, ensayo de compactación, Proctor modificado y CBR) para la estabilización de las subrasantes a través de la aplicación de ceniza de tusa de maíz en sus diferentes porcentajes. De manera seguida, las evidencias fueron ingresadas al software SPSS para la obtención de resultados y se empleó la prueba T-Student para contrastar las hipótesis y finalmente se presentaron las conclusiones y recomendaciones del estudio.

IV.RESULTADOS

Objetivo 1: Identificar las características físicas y químicas de la ceniza de tusa de maíz, Villa Prado 2023.

Tabla 1.

Propiedades físicas de la ceniza de tusa de maíz

Ensayos de peso específico			
Peso de Material Secado al Aire (P)	580.3	580.3	580.3
Peso Frasco + Agua (PO)	1560.3		2.16
Peso Frasco + Agua + Material (PS)	1872	2140.6	268.6

Nota. Laboratorio Consultores Arévalo SOC. R. LTDA

De acuerdo con los resultados obtenidos del laboratorio, a través de los ensayos efectuados, se constata que el peso del material después de haber sido secado al aire fue 580.3 gr, indicando que la medición fue consistente en los tres ensayos. Asimismo, el valor alcanzado por medio de los 3 ensayos sobre el peso total mostró una disminución significativa. Esto permitió el desarrollo del diseño de la mezcla.

Tabla 2.

Propiedades químicas de ceniza de tusa de maíz

Análisis químico	%
pH = 8,45	
CE (mS/cm)	0.241
Silicio óxido (SiO ₂) %	61.23
Calcio óxido (CaO) %	9.63
Magnesio óxido (MgO) %	1.36
Sodio óxido (Na ₂ O) %	0.09
Potasio óxido (K ₂ O) %	0.63
Sulfatos (SO ₄) %	1.12
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃) (%)	6.56
Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃) (%)	3.21

Nota. Laboratorio Consultores Arévalo SOC. R. LTDA

Tal como se expone en la tabla, se puede apreciar que la composición química de la ceniza de tusa de maíz en mayor porcentaje se encuentra el Silicio óxido (SiO₂) con un 61.23%, seguido de Calcio óxido (CaO) con el 9.63% y Óxido de Aluminio (Al₂O₃) con 6.56%. Este alto contenido de Sílice confiere beneficios importantes para la mejora del suelo, especialmente en términos de aumentar

su capacidad de carga y resistencia al tránsito; es decir, fortalece la estructura del suelo.

Objetivo 2: Identificar el diseño de mezcla para la estabilización de la subrasante sin adición y con adición de ceniza de tusa de maíz.

Tabla 3.

Diseño de mezcla para la estabilización de la subrasante

Tipo de ensayo	Pre	Combinación		Óptimo
	Suelo natural	10%	20%	30%
Tipo de suelo	CH 67%	CL 45%	CL 45%	CL 35%
Puzolana (ceniza de tusa de maíz)	-	10%	20%	30%
Arena natural	33%	45%	35%	35%

Nota. Laboratorio Consultores Arévalo SOC. R. LTDA

Bajo las evidencias expuestas en la tabla, el suelo natural presentó un 67% de CH (Arcilla inorgánica de alta plasticidad), según la clasificación de SUCS y para AASHTO fue de tipo A-7.6(18), lo indicó que fue muy pobre en calidad. Sin embargo, al combinar el 10% y 20% de ceniza de tusa de maíz, la calidad de la subrasante mejoró sus condiciones; sobre todo al añadir el 30% de puzolana; es decir, bajó el índice de plasticidad.

Tabla 4.

Diseño de mezcla para la estabilización de la subrasante

Tipo de ensayo	Suelo natural		10%		20%		30%	
	Resultados (%)	Cumplimiento de norma *						
% Pasa Tamiz 0.074 mm N° 200	92.00	No	77.00	No	79.00	No	34	Si
% Índice de Plasticidad del Suelo	30.10	No	23.20	No	20.30	No	9.20	Si
% CBR al 95% Dens. Max.	3.00	No	-	No	-	No	11.60	Si

Nota. Según la norma el % de Pasa Tamiz debe ser 35% max., IP 11% max., CBR 11% > a 19%

Tal como se muestra en la tabla, el diseño de mezcla óptima de ceniza de tusa de maíz tras la comparación del suelo preexistente con mezclas incorporadas de

puzolana en diferentes proporciones; se ha encontrado que la mezcla óptima fue del 30%, pues cumple con las especificaciones establecidas en la normativa; es decir, el porcentaje de pasa de tamiz 0.074 mm N° 200 fue 34%, el índice de practicidad del suelo obtenido fue 9.20% y el CBR al 95% fue del 11.60% (Densidad Máxima). Teniendo en cuenta que las normativas establecen que el máximo de pasa de tamiz 0.074 mm N° 200 debe ser 35%, el máximo IP del suelo debe ser 11% y la máxima densidad debe estar entre el 11% a 19% (CBR al 95%)

Objetivo 3: Determinar la máxima densidad seca, capacidad de soporte e índice de plasticidad antes y después de la adición de ceniza de tusa de maíz.

Tabla 5.

Máxima densidad seca, capacidad de soporte e índice de plasticidad

Tipo de ensayo	Suelo natural	Combinación de ceniza de tusa de maíz		
		10%	20%	30%
Límite Líquido	51.70	48.50	41.80	23.60
Límite Plástico	21.60	25.30	21.50	14.40
Índice de Plasticidad	30.10	23.20	20.30	9.20
% de Finos que pasa Tamiz N° 4	100.00	100.00	100.00	100.00
% de Finos que pasa Tamiz N° 200	92.00	79.00	79.00	34.00
Densidad Máxima Seca del Proctor Modificado gr/cc	1.720 gr/cc	-	-	1.970 gr/cc
Óptimo Contenido de Humedad (%)	19.00	-	-	9.80
Humedad Natural "IN-SITU"	31.30	25.20	23.10	9.50
Capacidad Portante CBR al 95% Dens. Max.	3.00	-	-	11.60
Capacidad Portante CBR al 100% Dens. Max.	8.80	-	-	17.80
Clasificación SUCS	CH	CL	CL	CL
Clasificación AASHTO	A-7-6(18)	A-7-6(15)	A-7-6(12)	A-2-4(0)

Nota. Laboratorio Consultores Arévalo SOC. R. LTDA

Los resultados obtenidos en la tabla 5, muestran que la Máxima Densidad del suelo natural fue de 1.720 gr/cc y al adicionar el 30% de Puzolana, la MDS del Proctor modificado fue de 1.970 gr/cc. Asimismo, el CBR al 95% del suelo natural fue 3.00 (sub Rasante pobre); mientras que con el adictivo de puzolana al 30%, el CBR fue 11.60. Respecto a IP del suelo natural fue de 30.10; al combinar la

ceniza de tusa de maíz al 10%, el IP fue 23.20%, al 20% alcanzó un IP de 20.30%; sin embargo, al adicionar el 30% de puzolana a la subrasante el IP disminuyó significativamente a 14.40%.

Por lo tanto, la dosificación al 30% de ceniza de tusa de maíz a la subrasante cumplen con las especificaciones técnicas; debido a que mejora significativamente la Máxima Densidad Seca (MDS), el CBR y el IP de la subrasante, catalogado un suelo de tipo CL o Arcilla Inorgánica de Mediana o Baja Plasticidad.

Objetivo general: Determinar el efecto de la adición de ceniza de tusa de maíz en la estabilización de subrasantes blandos, Villa Prado 2023.

Tabla 6.

Efecto de la adición de ceniza de tusa de maíz en la estabilización de subrasantes blandos

	Diferencias emparejadas							
	M	DE	ME	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	p
				Inferior	Superior			
Natural - C10%	5.47	6.91	2.30	0.16	10.78	2.38	8	0.022
Natural - C20%	7.19	6.50	2.17	2.20	12.19	3.32	8	0.005
Natural - C30%	15.15	20.03	6.68	-0.25	30.55	2.27	8	0.026

Nota. SPSS

En relación con los datos mostrados en la tabla anterior, el efecto de la adición de la ceniza de tusa maíz de las subrasantes blandas al 10% fue significativo; debido a que el p – valor fue .022; de igual manera, al adicionar el 20% ($p = .005$) y 30% ($p = .026$). Si bien los coeficientes en la adición al 10 y 20% demuestran una significancia estadística superior al 30%, esto se explica principalmente debido a la ausencia de CBR óptimo, MDS y contenido de humedad óptimo registrado en la tabla 5; en ese sentido, el ensayo al 30% ha demostrado ser eficiente en el diseño de mezcla por encontrarse valores dentro de los parámetros límites establecidos según la norma técnica (Especificaciones Técnicas Generales EG-2000 y 2013 del MTC y Reglamento Nacional de Edificaciones Norma C.E-010 Pavimentos Urbanos).

V. DISCUSIÓN

En la investigación se buscó demostrar el efecto de la adición de ceniza de tusa de maíz en la estabilización de las subrasantes blandas en Villa Prado; el cual se ha podido determinar por medio del estadístico T-Student ($p < 0.05$), indicando que el diseño de mezcla óptimo mejora progresivamente las propiedades físico-mecánicas del suelo a medida que se aumenta la cantidad de puzolana, sobre todo en suelos arcillosos. La información tiene similitud Noriega et al. (2022) quienes expresaron que para estabilizar o mejorar las propiedades de las subrasantes blandas es necesario llevar a cabo pruebas de laboratorio que evalúen la viabilidad y efectividad de la adición de ceniza de tusa de maíz en cada caso en particular y según las condiciones específicas del suelo y proyecto en cuestión.

La ceniza de mazorca de maíz es un producto abundante y usualmente desechado, por lo que su utilización en la mejora de propiedades de suelos blandos resulta ser una alternativa sustentable; sobre todo, porque reduce los impactos negativos en el ecosistema. Por lo tanto, es recomendable llevar a cabo estudios y pruebas adicionales de acuerdo con el tipo de suelo para que la cantidad del aditivo sea adecuado. En ese sentido, para mejorar las propiedades fisicoquímicas de los suelos blandos por medio de la adición de ceniza de tusa de maíz, se debe tomar en cuenta los parámetros establecidos Reglamento Nacional de Edificaciones Norma C.E-010 Pavimentos Urbanos a fin de que tengan las condiciones óptimas de CBR, IP y MDS y garanticen construcciones eficientes (Adrianzen et al., 2022; Noriega et al., 2022).

Concerniente al primer objetivo específico, se identificaron las características y químicas de la ceniza de tusa de maíz por medio de las pruebas de laboratorio realizadas; en donde el peso de Material Secado al Aire en los tres ensayos fue la misma ($P = 580.3$). Por otro lado, en el análisis químico se evidenció que el componente con mayor presencia en la ceniza de tusa de maíz fue el Silicio óxido (SiO_2) en un 61.23% y en un 9.63% el Calcio óxido (CaO). Los hallazgos se vinculan con los de Quispe (2021) quien determinó por medio del análisis de laboratorio que la composición química de la puzolana en mayor abundancia fue del SiO_2 .

Estos datos indican que este tipo de material resulta de gran utilidad para proyecto de construcción; debido a su alto contenido de sílice; el cual actúa como un agente correctivo del suelo, mejorando su permeabilidad y reduciendo el índice de compactación (Adrianzen et al., 2022). También, Maglad et al. (2023) infieren que el Sílice tiene la facultad de mejorar la resistencia a la tracción del suelo, lo que resulta beneficioso en aplicaciones donde se requiere una mayor resistencia, como en la construcción de carreteras y cimientos. En ese sentido, es oportuno tener en cuenta que la efectividad de este componente como estabilizador de suelos puede modificarse en relación con las características específicas del terreno o subrasante.

Respecto al segundo objetivo específico, se ha determinado que el diseño de mezcla óptimo de ceniza de tusa de maíz para la estabilización de la subrasante fue del 30%; debido a que con este porcentaje el IP del suelo paso de 30.1% (suelo natural) a 9.2%; de igual manera, el CBR al 95% en el suelo natural fue del 3% y al adicionar el 30% de dicho aditivo, el CBR incrementó a 11.6%. Los hallazgos guardan relación con los de Quispe (2021) quien a través de trabajo investigativo identificó que la dosificación óptima para mejorar las propiedades de los suelos expansivos fue del 8% de puzolana; permitiendo disminuir el IP y mejorando la capacidad portante y de resistencia del suelo. Por lo tanto, para la estabilización de suelos blandos, debe de considerarse sus características tanto físicas como mecánicas a fin de que los resultados a la hora de agregar dicho aditivo cumplan con las especificaciones técnicas (Noriega et al., 2022).

En cuanto al tercer objetivo específico, se determinó que la Máxima Densidad Seca (MDS) de la subrasante antes de la dosificación de ceniza de tusa de maíz fue 1.720 gr/cc y al combinar el 30% la MDS fue 1.970 gr/cc; el CBR al 95% antes fue de 3% y al 30% incremento un 8.6%. Asimismo, el IP antes fue del 30.1% y al 30% de aditivo disminuyó 20.9% de plasticidad. Los datos son contrastados con los de Quispe (2021), donde estableció que el IP del suelo tuvo una reducción del 10.14% al dosificar con el 8% de puzolana a la subrasante y el CBR incrementó a 19.1%. Así también, Pinedo (2021) demostró que para mejorar la capacidad portante de los suelos arcillosos y reducir el IP, se debe de considerar las dosificaciones apropiadas y específicas de los aditivos naturales; es decir, tiene que cumplir con lineamientos técnicos del MTC.

En relación con los hallazgos alcanzados en el objetivo general, se evidenció que la dosificación de ceniza de tusa de maíz al 10%, 20% y 30% tiene influencia estadísticamente significativa en la estabilización de las subrasantes blandas ($p < 0.05$); estos resultados son semejantes con los de Quispe (2021) quienes dieron a conocer que al adicionar 8% de ceniza de mazorca de maíz repercute significativamente en la capacidad portante de los suelos y el IP. En ese sentido, la estabilización de subrasantes blandas es un aspecto curial en la ingeniería y construcción de las carreteras; si se puede mejorar sus propiedades fisicoquímicas mediante el uso de ceniza de tusa de maíz, esto tendría un impacto positivo en los proyectos y mantenimiento de infraestructuras viales (Llano et al., 2020).

Por último, cabe exponer las limitaciones identificadas en el informe científico, estas se centran en el alcance geográfico; pues se limita su aplicabilidad a otras áreas, considerando que cada suelo es distinto y se ve influenciado por diversos factores. También, la falta de diversidad de materiales; es decir, solo se trabajó con un aditivo, lo que limitó la evaluación de otros componentes y las repercusiones en la estabilización de los suelos blandos. Sin embargo, es oportuno destacar sus fortalezas, debido a que el estudio estuvo centrado en un problema común en la construcción de infraestructuras viales, que es la estabilización de subrasantes blandas; por lo que se proporciona información consistente para abordar dicho desafío. Además, el uso de este aditivo natural, como lo es la ceniza de tusa de maíz, presenta un enfoque innovador y sustentable; debido a que tiene beneficios económicos y ambientales.

CONCLUSIONES

1. Las propiedades físicas y químicas de la ceniza de tusa de maíz muestran que tiene un alto contenido de Silicio óxido (SiO_2) en un 61.23%; lo cual beneficia significativamente la calidad del suelo, fortaleciendo su estructura y aumentando su capacidad de carga y resistencia (CBR).
2. El diseño de mezcla óptimo de ceniza de tusa de maíz a la subrasante blanda fue del 30%, debido a que cumplió con las especificaciones técnicas requeridas en la normativa, mostrando un Índice de Plasticidad del 9.2% y 11.6% de CBR en un tamiz de 0.074 mm N° 200. Lo que indica su idoneidad para la aplicación en la ingeniería civil.
3. La Máxima Densidad Seca (MDS) del suelo antes de adicionar la ceniza de tusa de maíz fue 1.720 gr/cc, el CBR fue 3.0% y el Índice de Plasticidad (IP) fue 30.10%. Mientras que al combinar el 30% del aditivo, se obtuvo un MDS de 1.970 gr/cc, 11.6% de CBR y 9.2% de IP; es decir, la cantidad de dosificación fue óptima; debido a que mejoró de manera positiva las propiedades de la subrasante.
4. La adición de ceniza de tusa de maíz en subrasantes blandas demostró ser significativa, con valores de p -valor de .022, .005 y .026 para adiciones del 10%, 20% y 30% respectivamente. Aunque los coeficientes para el 10% y 20% mostraron una mayor significancia estadística, esto se atribuye a la falta de valores óptimos de CBR, MDS y contenido de humedad. El ensayo con una adición del 30% resultó eficiente al cumplir con los parámetros establecidos en las normativas pertinentes.

RECOMENDACIONES

1. A los ingenieros civiles que trabajan en ejecución de obras públicas; considerar incorporar la ceniza de tusa de maíz en las mezclas de suelo utilizadas para la construcción de bases y sub-bases de carreteras. Asimismo, realizar un análisis geotécnico detallado para determinar la cantidad óptima de ceniza de tusa de maíz a incorporar en la mezcla de suelo para garantizar que se obtengan los beneficios deseados en términos de resistencia y capacidad de carga, sin comprometer la estabilidad del suelo.
2. A las instituciones gubernamentales encargadas de financiar proyecto de inversión en infraestructura vial; impulsar la adopción de prácticas y tecnologías sostenibles en la construcción de carreteras y vías, no solo puede mejorar la calidad de las obras, sino también reducir el impacto ambiental y promover la economía circular. De igual forma, desarrollar lineamientos y normativas claras que promuevan el uso adecuado y seguro de la ceniza de tusa de maíz en la construcción de subrasantes blandas y otras aplicaciones viales.
3. Al Ministerio de Transporte y Comunicaciones; elaborar guías de buenas prácticas para la incorporación de ceniza de tusa de maíz en proyectos de infraestructura vial, donde proporcionen instrucciones detalladas sobre la selección del material, pruebas de laboratorio, diseño de mezclas y procedimientos de construcción. También, revisar y actualizar las especificaciones técnicas relacionadas con el uso de materiales estabilizantes como la ceniza de tusa de maíz en la construcción y mantenimiento de carreteras. Asegúrate de incluir pautas claras sobre la dosificación óptima, métodos de aplicación y criterios de aceptación.
4. A futuros investigadores, evaluar el efecto de la adición de ceniza de tusa de maíz en una gama más amplia de parámetros geotécnicos, como la capacidad portante, la resistencia al corte y la estabilidad a largo plazo. Esto puede proporcionar una comprensión más completa de cómo este material puede influir en el comportamiento de las subrasantes blandas en diferentes condiciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adrianzen, O. J., Azula, J. J., Pacherras, C. F., Rodriguez, E. D., & Muñoz, S. P. (2022). Uso de distintos tipos de fibras para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica: Una revisión literaria. *Infraestructura Vial*, 24(43), 1–16. <https://doi.org/10.15517/IV.V24I43.47931>
- Alarcón, J., Jiménez, M., & Benítez, R. (2020). Estabilización de suelos mediante el uso de lodos aceitoso. *Revista Ingeniería de Construcción*, 35(1), 5–20. <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v35n1/0718-5073-ric-35-01-5.pdf>
- Arbaiza, L. (2019). *Como elaborar una tesis de grado*. Colombia: Esan Ediciones. <https://www.biblioteca.une.edu.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=61>
- Arévalo, A. F., & López, L. (2020). *Adición de ceniza de la cascarilla de arroz para mejorar las propiedades de resistencia del concreto en la región San Martín* [Universidad Nacional de San Martín]. [https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/3740/1/CIVIL - Andy Fabián Arévalo Torres %26 Luis López del Aguila.pdf](https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/3740/1/CIVIL%20-%20Andy%20Fabián%20Arévalo%20Torres%20Luis%20López%20del%20Aguila.pdf)
- Bambo, R., De la Cal, P., Diéz, C., Ezquerro, I., García-Pérez, S., & Monclús, J. (2023). Quality of public space and sustainable development goals: analysis of nine urban projects in Spanish cities. *Frontiers of Architectural Research*, 12(3), 477–495. <https://doi.org/10.1016/J.FOAR.2023.01.002>
- Bheel, N., Ahmed, M. O., Liu, Y., Tafsirojjan, T., Awoyera, P., Hamah, N., & Bendezu, L. M. (2021). Utilization of corn cob ash as fine aggregate and ground granulated blast furnace slag as cementitious material in concrete. *Buildings*, 11(9), 1–22. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS11090422>
- Cardona, E. J., & Jimenez, J. A. (2023). Estado del arte, técnicas de mejoramiento y estabilización para rellenos antrópicos. *Revista Espacios*, 37(04), 37–52. <https://doi.org/10.48082/espacios-a23v44n04p04>
- Carrasco, S. (2019). *Metodología de la investigación científica: Pautas metodológicas para diseñar y elaborar el proyecto de investigación*. Editorial San Marcos.
- Chavarry-Vallejos, C., Figueroa-Merino, R., & Reynaga-Tejada, R. (2020).

- Estabilización química de capas granulares con cloruro de calcio para vías no pavimentadas. *Polo del Conocimiento*, 5(6), 40–69. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7518100>
- Coronel, R. S., Muñoz, S. P., & Rodriguez, E. D. (2021). Efecto de la ceniza de bagazo de caña de azúcar en las propiedades del concreto. *INGENIERÍA: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 8(2), 61–76. <https://doi.org/10.26495/ICTI.V8I2.1904>
- Coronel, Y. C., Altamirano, L. F., & Muñoz, S. P. (2022). Cenizas y fibras utilizadas en la elaboración de concreto ecológico: una revisión de la literatura. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 25(49), 321–329. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i49.20814>
- Delgado, I., & Guerra, B. (2020). *Análisis comparativo de aceite sulfonado y cal para la estabilización de la sub-rasante en la carretera no pavimentada San Francisco, Tarapoto-2020* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/67008>
- Dughaiishi, H. Al, Lawati, J. Al, Bilema, M., Babalghaith, A. M., Mashaan, N. S., Yusoff, N. I., & Milad, A. (2022). Encouraging sustainable use of rap materials for pavement construction in Oman: a review. *Recycling*, 7(3), 1–35. <https://doi.org/10.3390/RECYCLING7030035>
- Duong, N. T., Satomi, T., & Takahashi, H. (2021). Potential of corn husk fiber for reinforcing cemented soil with high water content. *Construction and Building Materials*, 271(1), 1–12. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.121848>
- Firdaus, A., Caniago, F., & Zulfadilla, Z. (2021). Research methodology: Types in the new perspective. *Manazhim*, 3(1), 1–15. <https://doi.org/10.36088/manazhim.v3i1.903>
- Garbanzo-León, G., Alvarado-Hernández, A., Vargas-Rojas, J. C., Cabalceta-Aguilar, G., & Vega-Villalobos, E. V. (2021). Fertilización con nitrógeno y potasio en maíz en un Alfisol de Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 32(1), 137–148. <https://doi.org/10.15517/AM.V32I1.39822>

- Gerencia de Riesgos y Seguros. (2023). *Infraestructuras viales y renovables: dinamizadoras de la inversión en América Latina*.
<https://1dhx7rmv5f.execute-api.eu-west-1.amazonaws.com/generatepdf/generatepdf/?id=361326>
- Heru, B., Hanudin, E., & Destri, E. (2023). Accumulation levels of available Cu and Cu absorption in corn in Ultisol and Alfisol after the addition of fly ash and organic materials. *Jurnal Lahan Suboptimal: Journal of Suboptimal Lands*, 12(1), 11–26. <https://doi.org/10.36706/JLSO.12.1.2023.617>
- Huamani, J., Rimayhuaman, O. E., & Tito, X. S. (2022). Influencia del Mantenimiento Vial y Satisfacción del Usuario. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 6(5), 1876–1896. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3202
- Llano, E., Ríos, D., & Restrepo, G. (2020). Evaluación de tecnologías para la estabilización de suelos viales empleando intemperismo acelerado. Una estrategia de análisis de impactos sobre la biodiversidad. *Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia*, 1(1), 1–17. <https://doi.org/10.22430/22565337.1624>
- Macías-Echeverri, E., Marín-Pavas, A., Osorio-Vega, W., & Hoyos-Carvajal, L. (2019). Suelos y microorganismos rizosféricos asociados en la reserva de biosfera “Seaflower”. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 7(2), 73–87. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2308-38592019000200002&script=sci_arttext
- Madrigal, M., Botero, E., Ossa, A., & Shelley, O. (2020). Principio de compensación parcial de masas: una alternativa para la construcción de vialidades en suelos blandos. *Revista Ciencia y Construcción*, 1(1), 3–13. <https://rcc.cujae.edu.cu/index.php/rcc/article/view/2>
- Maglad, A. M., Amin, M., Zeyad, A. M., Tayeh, B. A., & Agwa, I. S. (2023). Engineering properties of ultra-high strength concrete containing sugarcane bagasse and corn stalk ashes. *Journal of Materials Research and Technology*, 23(1), 3196–3218. <https://doi.org/10.1016/J.JMRT.2023.01.197>
- Mejía, G., Sánchez, O., Castañeda, K., & Pellicer, E. (2023). Stakeholders’ issues as a source of project delays: a meta-analysis between building and road

- projects. *Revista de la Construcción. Journal of Construction*, 22(1), 51–73.
<https://doi.org/10.7764/RDLC.22.1.51>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2022, diciembre 21). *Estadística - Infraestructura de Transportes - Infraestructura Vial*. Plataforma digital única del Estado Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/344790-estadistica-infraestructura-de-transportes-infraestructura-vial>
- Noriega, Y. V., Vives, J. A., & Muñoz, S. P. (2022). Uso de estabilizadores de suelo: Una revisión del impacto al corte y asentamiento. *Avances Investigación en Ingeniería*, 19(1), 1–15. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/AVANCES.1.6856>
- Ocaña, Y., & Fuster, D. (2021). Bibliographic review as a research methodology. *Revista Tempos E Espaços Em Educação*, 14(33), 15–34. <https://doi.org/10.20952/revtee.v14i33.15614>
- Odeyemi, S., Atoyebi, O., & Ayo, E. (2020). Effect of Guinea Corn Husk Ash on the Mechanical Properties of Lateritic Concrete. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 445(1), 12034–12041. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/445/1/012034>
- Ospina-García, M., Chaves-Pabón, S., & Jiménez, L. (2020). Mejoramiento de subrasantes de tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 11(1), 185–196. <https://doi.org/10.19053/20278306.V11.N1.2020.11692>
- Oyebisi, S., Ede, A., Ofuyatan, O., Li, Z., Li, H., & Ying, T. (2021). Study of Improving Soil Using Permit, Corn Ash and Sodium Silicate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 921(1), 1–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/921/1/012042>
- Pinedo, K. del P. (2021). *Diseño de una sub rasante con adición de fibra PET para mejorar la calidad de los suelos arcillosos, Tarapoto – 2021* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/66749>
- Quevedo, D., Benigno, M., & Calle, C. (2021). Análisis de costos entre

- estabilización suelo cemento y el mantenimiento periódico de vías rurales en la Provincia del Cañar. *Dominio de las Ciencias*, 7(1), 804–821. <https://doi.org/10.23857/DC.V7I1.1678>
- Quispe, D. (2021). Estabilización de suelos expansivos con ceniza de mazorca de maíz en la ciudad del Cusco. *Ambiente, Comportamiento y Sociedad*, 4(2), 75–86. <https://revistas.unsaac.edu.pe/index.php/ACS/article/view/808/1114>
- Ramal, R., Raymundo, J., & Chávez, J. (2020). Materiales alternativos para estabilizar suelos: el uso de ceniza de cáscara de arroz en vías de bajo tránsito de Piura. *Tzhoecoen*, 12(1), 131–140. <http://revistas.uss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/1251>
- Rivera, J., Aguirre-Guerrero, A., Mejía, R., & Orobio, A. (2020). Estabilización química de suelos - Materiales convencionales y activados alcalinamente (revisión). *Informador Técnico*, 84(2), 43–67. <https://doi.org/10.23850/22565035.2530>
- Salesa, Á., Esteban, L. M., Lopez-Julian, P. L., Pérez-Benedicto, J. Á., Acero-Oliete, A., & Pons-Ruiz, A. (2022). Evaluation of characteristics and building applications of multi-recycled concrete aggregates from precast concrete rejects. *Materials* 2022, 15(16), 1–19. <https://doi.org/10.3390/MA15165714>
- Shakouri, M., Exstrom, C. L., Ramanathan, S., Suraneni, P., & Vaux, J. S. (2020). Pretreatment of corn stover ash to improve its effectiveness as a supplementary cementitious material in concrete. *Cement and Concrete Composites*, 112(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/J.CEMCONCOMP.2020.103658>
- Valderrama, S. (2020). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica. Cuantitativa, cualitativa y mixta*. Editorial San Marcos. <http://www.bibvirtual.ucb.edu.bo:8000/opac/Record/100025114/Details>
- Vera, R., Del Valle, W., Loor, P., Iván, R., Muñoz, D., & Isabel, K. (2022). Determinación de las propiedades físicas y químicas de los suelos agrícolas de la parroquia El Esfuerzo del cantón Santo Domingo de los Tsáchilas. *Revista Científica Sinapsis*, 2(21), 1–17. <https://doi.org/10.37117/S.V2I21.534>

- Villacís, M., Luna, G., Escadeillas, G., Román, K., Licuy, C., Orbe, L., Zúñiga, P., & Guerrero, V. (2022). Estabilización de arcillas expansivas con ceniza volcánica y ceniza de cascarilla de arroz. *Revista Tecnológica - ESPOL*, 34(2), 15–28. <https://doi.org/10.37815/RTE.V34N2.821>
- Yifru, W., Getu, N., Kifile, D., Mesfin, A., Sewunet, A., & Tamene, M. (2022). Effects of corn cob ash as partial replacement of cement for stabilization of an expansive clay. *Advances in Civil Engineering*, 2022(1), 1–15. <https://doi.org/10.1155/2022/6788120>
- Zambrano-Bastidas, C. E., & Villacreses-Viteri, C. G. F. (2023). Gestión de la conservación de la vía de acceso a San Juan del Cantón Manta-Ecuador a través del sistema hdm-4. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada Yachasun*, 7(12), 286–322. <https://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/349>
- Zea, J. A., López, A., Hernández, D., Mandujano, J. E., & Cabrera, J. A. (2023). Desempeño de la adición de ceniza de bagazo de caña como filler para producir concretos autocompactantes. *Revista ALCONPAT*, 13(1), 80–96. <https://doi.org/10.21041/RA.V13I1.642>
- Zhao, X., Oyedeji, O., Webb, E., Wasti, S., Bhagia, S., Hinton, H., Li, K., Kim, K., Wang, Y., Zhu, H., Vaidya, U., Labbé, N., Tekinalp, H., Gallego, N. C., Pu, Y., Ragauskas, A. J., & Ozcan, S. (2022). Impact of biomass ash content on biocomposite properties. *Composites Part C: Open Access*, 9(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/J.JCOMC.2022.100319>

ANEXOS

Anexo 1. Instrumentos de la recolección de datos

Ensayo Proctor Modificados

Proyecto: Efecto de la adición de ceniza de tusa de maíz en la estabilización de subrasantes blandos, Villa Prado 2023

Material:

Suelo tipo:

Ubicación:

CALICATA:

N° Capas:

Molde N°:

N° Golpes:

MÉTODO DE COMPACTACIÓN	PROCTOR MODIFICADO					
VOLÚMEN DEL MODELO (cm ³)	PESO DEL MOLDE (gr)					MOLDE N°
Número de ensayos						
Peso suelo + molde						
Peso suelo húmedo compactado						
Densidad húmeda (gr/cc)						
Recipiente N°						
Peso suelo húmedo + tara						
Pesos suelo seco + tara						
Peso de la tara						
Peso de agua						
Peso de suelo seco						
Contenido de agua						
Densidad seca (gr/cc)						
DENSIDAD MÁXIMA SECA:	HUMEDAD ÓPTIMA TOTAL:					

RESULTADOS DEL CONTENIDO		
Máxima densidad seca teórica:		gr/cc
óptimo contenido de humedad:		%

FIGURA 01

Ubicación de Calicata C-01



Nota: Esta figura muestra la realización de calicata C-01 en campo.

FIGURA 02

Ubicación de Calicata C-02



Nota: Esta figura muestra la realización de calicata C-02 en campo.

FIGURA 03

Ubicación de Calicata C-03



Nota: Esta figura muestra la realización de calicata C-03 en campo.

Anexo 3. Ensayos de laboratorio inicial



R.U.C. 2028493251
 Jr. Mzal. Caseros N° 497- Ygs.
 Telf. 0953 352429
 Jr. Camilla Morry N° 229
 Tarapoto-PÉRU

CONSULTORES AREVALO SOC. R. LTDA.

ESTUDIOS DE PROYECTOS Y GEOTECNIA

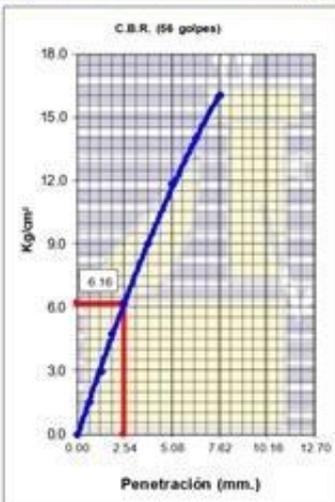
- * MECÁNICA DE SUELOS
- * CANTERAS
- * LABORATORIO
- * ASFALTOS
- * PROYECTO DE CARRETERAS
- * CONCRETOS
- * CIMENTACIONES
- * BOCATOMAS

Laboratorio de Mecánica de Suelos Asfalto y Concreto

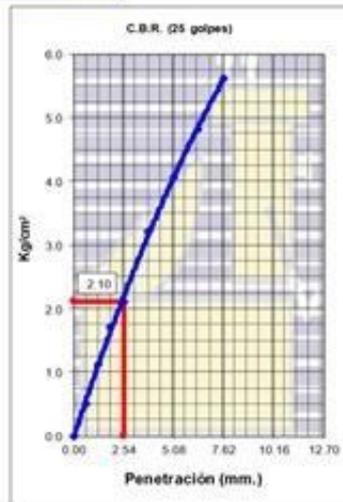
ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

Material :	TERRENO DE FUNDACIÓN	Realizado por :	P.N.J.A.
Suelo Tipo :	(CH) ó Arcilla Inorgánica de Alta Plasticidad.	Revisado por :	A.A.P.
Ubicación :	CARRETERA VILLA PRADO-JUANJUI CALICATA: C-01 - M2		

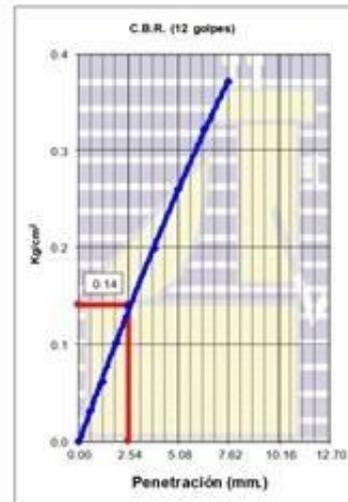
Máxima Densidad Seca (gr/cm^3) :	1.720
Óptimo Contenido de Humedad (%) :	19.00



C.B.R. (0.1")-56 GOLPES : 8.8

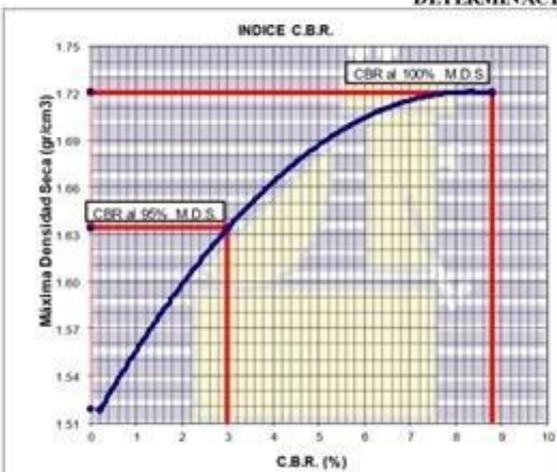


C.B.R. (0.1")-25 GOLPES : 3.0



C.B.R. (0.1")-12 GOLPES : 0.2

DETERMINACION DE C.B.R.



95% DE M.D.S. : 1.634

C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1" : 8.8 %
 C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1" : 3.0 %

OBSERVACIONES:

.....

.....

.....

.....

Reg. Marca INDECOPI C - 00052954



R.U.C. 2026493214
 Jr. Mist. Cañeros N° 407- Ygs.
 Telf. (085) 332420
 Jr. Camila Moray N° 229
 Tarapoto-PERU

CONSULTORES AREVALO SOC. R. LTDA.

ESTUDIOS DE PROYECTOS Y GEOTECNIA

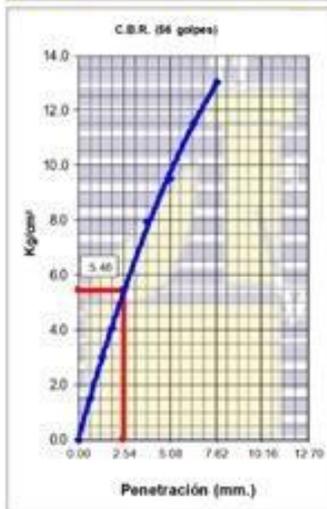
- * MECÁNICA DE SUELOS
- * CANTERAS
- * LABORATORIO
- * ASFALTOS
- * PROYECTO DE CARRETERAS
- * CONCRETOS
- * CIMENTACIONES
- * BOCATOMAS

Laboratorio de Mecánica de Suelos Asfalto y Concreto

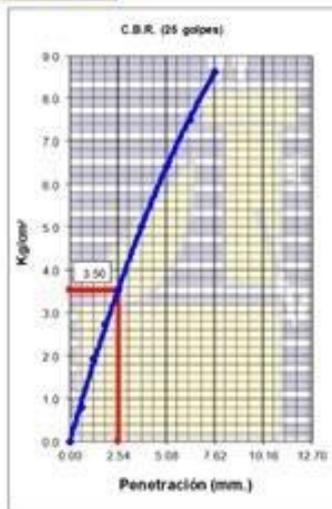
ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

Material :	TERRENO DE FUNDACIÓN	Realizado por :	P.N.J.A.
Suelo Tipo :	(CL) ó Arcilla Inorgánica de Mediana Plasticidad.	Revisado por :	A.A.P.
Ubicación :	CARRETERA VILLA PRADO-JUANJUI	CALCATA: C-02-M-2 - C-03-M2	

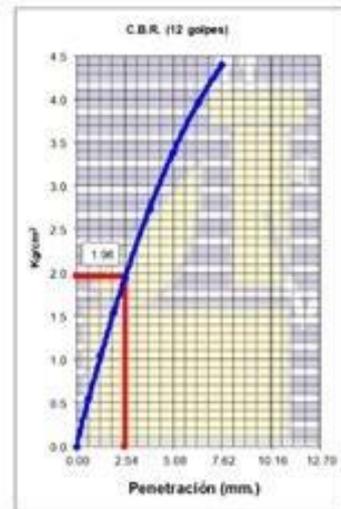
Máxima Densidad Seca (gr/cm^3) :	1.830
Óptimo Contenido de Humedad (%) :	17.00



C.B.R. (0.1")-56 GOLPES : 7.8

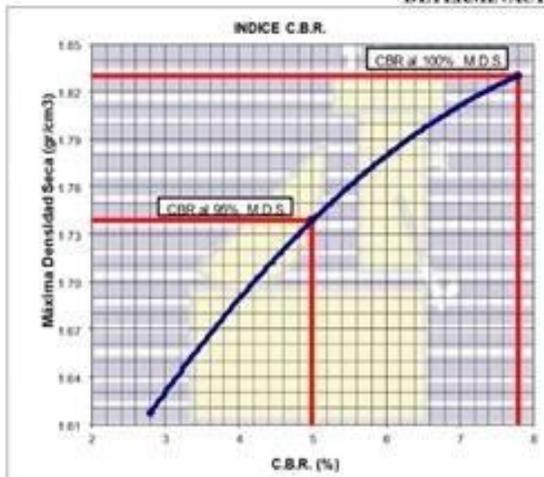


C.B.R. (0.1")-25 GOLPES : 5.0



C.B.R. (0.1")-12 GOLPES : 2.8

DETERMINACION DE C.B.R.



95% DE M.D.S. : 1.739

C.B.R. (100% M.D.S.) 0.1" : 7.8 %
 C.B.R. (95% M.D.S.) 0.1" : 5.0 %

OBSERVACIONES:

Reg. Marca INDECOPI C - 00052954

Propiedades Químicas

Las Propiedades de tusa de maíz son variadas, es decir, es ligero, sólido y cilíndrico, parte de los esclerénquimas estas células muertas forman el tejido y ayudan a sostener. No presenta una superficie constante, sino conformada por capas, porosa y esponjosa mediante pequeños huecos, es denso considerado con 170 kg/m^3 hasta 295 kg/m^3 . Composición de tusa de maíz con 3 capas largas y de tubo, núcleo blando y esponjoso, el anillo presenta tejidos leñosos y la parte externa tiene paja leñosa.

Análisis químico	Contenido
Carbono	44%
Hidrógeno	7%
Oxígeno	47%
Nitrógeno	.7%

Fuente. READE "Speacilty Chemicals resource"