



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Efecto de la influencia de la adición de ceniza de cáscara de pajuro en las propiedades físico mecánicas de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancho, Cajamarca 2023”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Civil**

AUTORA:

Idrogo Rodrigo, Laura (orcid.org/0009-0009-3610-9386)

ASESOR:

MG: Ing. Vildoso Flores, Alejandro (orcid.org/0000-0003-3998-5671)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA — PERÚ

2023

DEDICATORIA

Dedico esta tesis. A Dios por regalarme vida y salud, sin su guía, bendición y protección nada lograría.

A mis padres por el amor incondicional que me regalaron en esta vida, ya que ahora se encuentran gozando en el reino de Dios todo poderoso. (Amen)

A mi persona, esposo e hijos que me acompañan en este camino de mi vida que Dios me designo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por estar conmigo en todo momento para lograr mi objetivo.

A mis padres, esposo e hijos quienes fueron mi fuerza y motivación para seguir adelante en este logro de mi vida.

A la Universidad, CÉSAR VALLEJO, por brindarnos la oportunidad de cumplir una meta más en la vida.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, VILDOSO FLORES ALEJANDRO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, asesor de Tesis titulada: "EFECTO DE LA INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE PAJURO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE PARA SUELOS ARCILLO LIMOSOS EN LA CARRETERA CA 893, TRAMO CHOTA – CABRACANCHA, CAJAMARCA 2023", cuyo autor es IDROGO RODRIGO LAURA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 20.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

CHICLAYO, 06 de Diciembre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
ALEJANDRO VILDOSO FLORES DNI: 10712728 ORCID: 0000-0003-3998-5671	Firmado electrónicamente por: AVILDOSOFL el 18- 12-2023 08:59:46

Código documento Trilce: TRI – 0685150

DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, IDROGO RODRIGO LAURA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - CHICLAYO, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "EFECTO DE LA INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE CENIZA DE CÁSCARA DE PAJURO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DE LA SUBRASANTE PARA SUELOS ARCILLO LIMOSOS EN LA CARRETERA CA 893, TRAMO CHOTA – CABRACANCHA, CAJAMARCA 2023", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
LAURA IDROGO RODRIGO DNI: 27440147 ORCID: 0009-0009-3610-9386	Firmado electrónicamente por: IDROGOLA el 06-12- 2023 12:04:50

Código documento Trilce: TRI - 0685151

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD DEL ASESOR	iv
DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD DEL AUTOR	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE ECUACIONES	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA.....	15
3.1. Tipo y diseño de la investigación	15
3.2. Variables del estudio y operacionalización	15
3.3 Población, muestra y muestreo de la investigación	17
3.4 Técnicas de recolección de datos e instrumentos	18
3.5 Procedimientos	19
3.6 Método de análisis de datos	25
3.7 Aspectos éticos	25
IV. RESULTADOS	27
V. DISCUSIÓN.....	51
VI. CONCLUSIONES.....	54
VII. RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS.....	56

ANEXOS 61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química especificada de la ceniza volante según la ASTM C618-08	7
Tabla 2: Categoría de Subrasante.....	9
Tabla 3: Clasificación SUCS del suelo	10
Tabla 4: Clasificación AASHTO del suelo.....	10
Tabla 5: Categoría del suelo por gradación	11
Tabla 6: Categoría del suelo según IP.....	12
Tabla 7: Número de ensayos de CBR según tipo de carretera dado por el (5).....	18
Tabla 8: Distribución de muestra	18
Tabla 9: Especificaciones para Ensayo de Proctor Modificado.....	23
Tabla 10 Resultados de Composición Química	27
Tabla 11 Límites de Consistencia de la Calicata 1.....	28
Tabla 12 Límites de Consistencia de la Calicata 2.....	29
Tabla 13 Límites de Consistencia de la Calicata 3.....	30
Tabla 14 Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural – Calicata 1	34
Tabla 15 Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 9% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 1.....	34
Tabla 16 Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 12% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 1.....	35
Tabla 17 Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 15% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 1.....	35
Tabla 18 Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural – Calicata 2	36
Tabla 19 Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 9% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 2.....	36
Tabla 20 Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 12% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 2.....	36
Tabla 21 Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 15% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 2.....	37
Tabla 22 Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural – Calicata 3	37
Tabla 23 Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 9% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 3.....	38
Tabla 24 Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 12% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 3.....	38
Tabla 25 Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 15% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 3.....	38

Tabla 26 Densidad Seca Máxima (gr/cm ³)	41
Tabla 27 Optimo Contenido de Humedad.....	43
Tabla 28 CBR para la Calicata 1	46
Tabla 29 CBR para la Calicata 2	46
Tabla 30 CBR para la Calicata 3	46
Tabla 31 Análisis de Precios Unitario de la ceniza de cáscara de pajuro.....	49
Tabla 32 Presupuesto de la adición de ceniza de tallo de pimiento	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fruto del pajuro, A) con cáscara, B) sin cáscara.....	7
Figura 2: Diferentes tipos de suelos.....	9
Figura 3: Tipologías de estabilización de subrasante.....	13
Figura 4: Carretera CA893, tramo Chota – Cabracancha.....	17
Figura 5 Ensayo Granulométrico.....	21
Figura 6 Ensayo de Limite de Consistencia.....	23
Figura 7 Ensayo de Proctor Modificado.....	24
Figura 8 Ceniza de cáscara de Pajuro.....	27
Figura 9: Media de Limite Liquido (%) para la Calicata 1.....	30
Figura 10: Media de Limite Plástico (%) para la Calicata 1.....	31
Figura 11: Media de Limite Liquido (%) para la Calicata 2.....	32
Figura 12: Media de Limite Plástico (%) para la Calicata 2.....	32
Figura 13: Media de Limite Liquido (%) para la Calicata 3.....	33
Figura 14: Media de Limite Plástico (%) para la Calicata 3.....	33
Figura 15: Medias marginales estimadas de deformación en grados de expansión de la calicata 1.....	39
Figura 16: Medias marginales estimadas de deformación en grados de expansión de la calicata 2.....	40
Figura 17: Medias marginales estimadas de deformación en grados de expansión de la calicata 3.....	40
Figura 18: Medias de Densidad Seca Máxima (gr/cm ³) para la calicata 1.....	42
Figura 19: Medias de Densidad Seca Máxima (gr/cm ³) para la calicata 2.....	42
Figura 20: Medias de Densidad Seca Máxima (gr/cm ³) para la calicata 3.....	43
Figura 21: Media de Óptimo Contenido de Humedad (%) para la calicata 1.....	44
Figura 22: Media de Óptimo Contenido de Humedad (%) para la calicata 2.....	44
Figura 23: Media de Óptimo Contenido de Humedad (%) para la calicata 3.....	45
Figura 24: Media de CBR (%) de la calicata 1.....	47
Figura 25: Media de CBR (%) de la calicata 2.....	48
Figura 26: Media de CBR (%) de la calicata 3.....	48

RESUMEN

En el primer capítulo se menciona sobre la realidad problemática que Ministerio de Transportes y Comunicaciones, suelos con capacidad de soporte (CBR) inferior a 6%, deben ser estabilizados, previo a la construcción vial, pero, entre otros, la producción de aditivos usados para la estabilización química, como la cal, el cemento y el asfalto

En el segundo capítulo se puede apreciar que la investigación es de tipo aplicada de nivel explicativo con un enfoque cuantitativo y de diseño cuasi – experimental para la población está conformada por los 9.00 km de la carretera CA893, tramo Chota – Cabracancha y la muestra tomará 3 km de la carretera por conveniencia del investigador, en donde se encuentran la mayor cantidad de fallas, al ser una carretera de bajo tránsito.

Para el tercer objetivo se resuelve que la adición de la ceniza de cáscara de pajuro se encuentra entre los márgenes (según NTP y AASHTO) tanto para la resistencia mecánica (CBR) y físicas (expansión, óptimo contenido de humedad, máxima densidad seca y límites de consistencia) el cual se mejora considerablemente en las propiedades físico y mecánicas de la subrasante para suelos arcillo limosos

Para el cuarto objetivo se concluye que al adicionar la ceniza de cáscara de pajuro mejora las propiedades físico mecánicas de la subrasante para suelos arcillo limosos y entre los más relevantes es al adicionar el 15% de ceniza.

Palabras clave: Ceniza de cascara de pajuro, CBR, propiedades físico mecánicas, suelos arcillo limosos.

ABSTRACT

In the first chapter it is mentioned about the problematic reality that the Ministry of Transport and Communications, soils with bearing capacity (CBR) lower than 6%, must be stabilized, prior to road construction, but, among others, the production of additives used for chemical stabilization, such as lime, cement and asphalt, is one of the main problems.

In the second chapter it can be seen that the research is of an applied type of explanatory level with a quantitative approach and quasi-experimental design for the population is formed by the 9.00 km of the CA893 road, section Chota - Cabracancha and the sample will take 3 km of the road for the convenience of the researcher, where the largest number of failures are found, being a low traffic road.

For the third objective, it was decided that the addition of the strawberry husk ash is between the margins (according to NTP and AASHTO) for both mechanical resistance (CBR) and physical resistance (expansion, optimum moisture content, maximum dry density and consistency limits), which considerably improves the physical and mechanical properties of the subgrade for silty clay soils.

For the fourth objective, it is concluded that the addition of straw husk ash improves the physical and mechanical properties of the subgrade for silty clay soils, and among the most relevant is the addition of 15% ash.

KEYWORDS: Straw husk ash, CBR, physical-mechanical properties, silty clay soils

I. INTRODUCCIÓN

A **nivel internacional**, las carreteras son importantes sistemas de infraestructura (Ibrahim, y otros 2020), pero a menudo presentan deterioro e inestabilidad por la baja capacidad de carga del firme (Heidari, Najafi y Alavi 2018). La subrasante es el material sobre el que se asientan las vías (Henderson 2020) y desempeña un papel importante en la absorción de las cargas de transporte y contribuye a la estabilidad estructural (Sadiq, y otros 2020), pero, los suelos débiles causan daños a la capa de rodadura de una carretera, formando deformaciones en la superficie, que pueden estabilizarse y reforzarse mediante el mejoramiento del suelo (Ibrahim, y otros 2020).

Así mismo **nivel nacional** según el MTC (MTC 2014), suelos con capacidad de soporte (CBR) inferior a 6%, deben estabilizarse, antes de la construcción vial, pero, argumentan (Indiramma, Sudharani y Needhidasan 2020), (Ran, y otros 2023), (Gou, y otros 2023), entre otros, la producción de aditivos usados para la estabilización química, como la cal, el cemento y el asfalto, conlleva a la contaminación atmosférica y el consumo de materias primas naturales como es el caso de la roca caliza, por lo que, deben utilizarse otros tipos de aditivos para la mejora del CBR, como las cenizas de la cascara de pajuro (Sahay y Bansal 2022).

Finalmente, a **nivel regional**, la Provincia de Chota, en su red vial departamental, tiene 9.80 km de vías afirmadas y 49.40 sin afirmar, en su red vial vecinal, 379.30 km son vías afirmadas, 55.10 km son vías sin afirmar, y 531.50 son trochas (MTC 2018), de las cuales el 60% están en malas condiciones según la Municipalidad Provincial de Chota (MPCH 2018), a causa del bajo CBR de los suelos de las subrasantes. Una de las carreteras con mayor incidencia del detrimento de la subrasante es la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha (Fernández y Ticlla-Ríos 2020), vía en la que, los suelos arcillo limosos presentan rangos altos de plasticidad y bajo CBR, por lo que, deben ser estabilizados, para ello, se ha propuesto el uso de cenizas de cáscara de pajuro, debido a que, este fruto es ampliamente consumido en el distrito de Chota, y su cáscara es desechada, siendo un residuo que, puede utilizarse en la estabilización de la subrasante de carreteras.

Frente a ello, se esboza como **problema general**: ¿De qué manera influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en las propiedades físico mecánicas de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023?, y como, **problemas específicos**: ¿Cómo se obtiene la ceniza de la cáscara de pajuro en el distrito de Chota 2023? ¿Cuáles son las propiedades químicas de la ceniza de la cáscara de pajuro obtenida en el distrito de Chota 2023? ¿Cómo influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en los límites de consistencia de la subrasante para suelos

arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023?, ¿Cómo influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023?, ¿Cómo influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el CBR, densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023?, ¿Cómo influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el costo – beneficio de la estabilización de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023?

Por tanto, la **justificación teórica**; será determinar el efecto del aumento de ceniza de cáscara de pajuro para lograr las mejoras de las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcillo limoso de la subrasante de la carretera CA 893 en el tramo Chota – Cabracancha; según **Neguse et al. (2023)** (Neguse, Assefa y Assefa 2023) las cenizas de residuos orgánicos, como la cáscara de pajuro, puede tener efectos positivos en las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos, debido a que, por su contenido alto de silicio en contacto con el suelo genera la activación alcalina, aumentando significativamente el CBR, siendo así, los autores determinaron que, con 10% de cenizas aumentaban hasta un 6.8% del CBR, por tanto, con el desarrollo de la investigación se pretende lograr un aporte significativo a futuros estudios. La **justificación metodológica**; se apoya en la aplicación de un proceso metodológico que, permite evaluar la validez y fiabilidad de los resultados y caracterizarlos como un estudio cuantitativo tras el uso de pruebas de laboratorio, valorando el efecto de la influencia en las propiedades físico mecánicas del suelo arcillo limoso al adicionar ceniza de la cáscara de pajuro en la subrasante. La **justificación técnica**; existen antecedentes del empleo de otro tipo de cenizas de desechos orgánicos con resultados favorables, pero no con el uso de ceniza de la cáscara de pajuro, siendo así, en este estudio se busca alcanzar mejoras en la subrasante, esperando que este tipo de cenizas producto del desecho de una planta natural del distrito de Chota pueda potenciar las propiedades físicas y mecánicas del suelo arcillo limoso de la subrasante de la carretera CA 893, en el tramo Chota-Cabracancha. La **justificación social**, se da porque, de forma indirecta la población Chotana será beneficiada, específicamente los transeúntes y transportistas de la carreta CA 893, tramo Chota – Cabracancha, debido a que, tendrán una propuesta técnica que, puede ser usada para mejorar la subrasante vial. La **justificación económica**, se da al buscar utilizar un material de desecho para producir un estabilizante (ceniza de la cáscara del pajuro), con aplicabilidad en la subrasante de suelos arcillo limosos según costo beneficio. La **justificación ambiental** se sustenta en el

uso de materiales que, son desechados del consumo diario de las personas, como la cáscara de pajuro, lo que, ayudara de positivamente al entorno ambiental.

Como **objetivo general** se tiene: Determinar la influencia de adicionar ceniza de cáscara de pajuro en las propiedades físico mecánicas de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023. Con los **objetivos específicos**: Obtener la ceniza de la cáscara de pajuro en el distrito de Chota 2023, Determinar las propiedades químicas de la ceniza de la cáscara de pajuro obtenida en el distrito de Chota 2023; Determinar como influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en los límites de consistencia de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023; Determinar la influencia de la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023; Determinar la influencia en la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el CBR, densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023. Determinar la influencia de la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el costo – beneficio de la estabilización de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

La **hipótesis general**: Al adicionar ceniza de cáscara de pajuro influye de forma positiva en las propiedades físico mecánicas de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023. Las **hipótesis específicas** son: La ceniza de la cáscara de pajuro en Chota 2023 se obtiene de la cocción de residuo orgánico a 800 °C de calcinación. Las propiedades químicas de la ceniza de la cáscara de pajuro obtenida en Chota 2023 están dentro de la clasificación F para cenizas. La adición de ceniza de cáscara de pajuro influye positivamente en los límites de consistencia de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023; La adición de ceniza de cáscara de pajuro en las influye positivamente en el CBR, densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023. La adición de ceniza de cáscara de pajuro influye positivamente en el costo – beneficio de la estabilización de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

II. MARCO TEÓRICO

Se ha utilizado como material de investigación estudios realizados en años anteriores, como **antecedentes internacionales** se ha considerado a **Ewa et al. (2023)** (Ewa, y otros 2023), El objetivo era determinar si el polvo de piedra caliza (LSD) y la ceniza de bagazo de caña de azúcar (SCBA) eran adecuados como estabilizadores para mejorar las propiedades geotécnicas del suelo subrasante de Calabar. Su investigación presenta una metodología cuasi-experimental que utilizó un suelo arcilloso (LC) de baja plasticidad con un CBR de 6,92 por ciento, que se mezcló de forma independiente y en combinación con 0% a 50% de LSD y SCBA. Los resultados mostraron una disminución del potencial de hinchazón del suelo, mejoras en las características de compactación en un rango de 4,3 a 9,8%, un aumento en el CBR de 50% a 78,5% y mejoras en la resistencia al corte y el módulo seco. Se encontró que el LSD como estabilizador independiente y en combinación con el SCBA mostró una mejora en términos de estabilización independiente. Por lo tanto, una combinación de polvo de piedra caliza y SCBA se puede utilizar para el mejoramiento del suelo, lo que contribuye a la conversión de desechos útiles y apoya la defensa global del desarrollo sostenible en términos de utilización económica de los recursos.

De igual modo, **Asif et al. (2022)** (Asif , y otros 2022) Utilizaron una variedad de combinaciones de cenizas de incineración de desechos activadas con álcalis y cenizas volantes de plantas de energía alimentadas con carbón, también conocidas como geopolímeros, para evaluar las características de resistencia del suelo subrasante. Su método fue experimental; las muestras se prepararon utilizando el método Proctor modificado con contenido de humedad óptimo (OCH) para contenidos de geopolímero (GPC) de cero, cinco, diez, quince y veinte por ciento. Se descubrió que el contenido de geopolímero aumentaba el valor de compresión libre y que la humedad no disminuía la resistencia del suelo tratado después de un 10% de GPC. Por lo tanto, concluyeron que el valor má. El CBR y la resistencia del suelo no tratado son casi tres veces mayores que los del suelo tratado.

Así mismo, **Melese (2022)** (Melese 2022) El objetivo de su artículo científico fue investigar cómo las propiedades físico-mecánicas del suelo de una subrasante expansiva se ven afectadas por las cenizas de fondo de la incineración de desechos. Su método fue prácticamente experimental y utilizó cenizas de fondo de incineración de desechos (CFIR) en proporciones de 10 %, 15 %, 20 %, 25 % y 30 % en peso seco para estabilizar muestras de suelo arcilloso. Como resultado, cuando el porcentaje de CFIR varía del 10 % al 30 %, el índice plástico disminuye del 46,4 % al 42,5% y la contracción lineal también disminuye. 62%, pero la densidad seca máxima (MDS) aumentó de 1 punto 42 g/cm² a 1 punto 47

g/cm³, lo que aumentó el valor de CBR al 25% de la mezcla de cenizas de fondo de incineración de residuos. Sin embargo, la densidad seca máxima (MDS) disminuyó al 30% de las cenizas de fondo de incineración de residuos, lo que llevó a la conclusión de que existen mejoras significativas en la resistencia del suelo tratado con la mezcla de cenizas de fondo de incineración de residuos.

De igual manera, **Neguse et al. (2023)** (Neguse, Assefa y Assefa 2023) El propósito de su publicación era investigar las características físico-mecánicas de los suelos de subrasante expansivos estabilizados con ceniza de Enset. Su investigación utilizó un suelo arcilloso de alta plasticidad con un límite líquido (LL) de 96.88%, un índice de plasticidad (PI) de 39.75 % y un CBR de 1.7 %. Como resultado, la cantidad de ceniza Enset aumentó de 0 a 10%, el límite líquido del suelo disminuyó en un 14 %, el MDS disminuyó en un 14 % y el OCH aumentó. Además, descubrieron que los valor.

Además, **Gallardo et al. (2022)** (Gallardo Amaya, Coronel Rojas y Cely Calixto 2022) El objetivo del estudio fue mejorar los suelos plásticos de subrasante de los caminos terciarios en Colombia mediante el uso de cenizas de carbón (CC) extraídas de hornos Hoffman. El estudio empleó una técnica cuasiexperimental. Se seleccionó un suelo de alta plasticidad para realizar mezclas con dosis de 0 a 15 % CC con respecto al peso seco del suelo para la muestra. Los hallazgos demostraron que el suelo con ceniza de carbón de 0%, 3%, 6%, 9%, 12% y 15% alcanzó una CBR de 10.10%, 15.80%, 9.10%, 12.0%, 21.30% y 17.70%. Se concluyó que la mezcla que se agrega al suelo con un 12% de CC como porcentaje del peso seco del suelo tiene un mejor comportamiento físico y capacidad de carga que el suelo natural, mejorando la CBR hasta.

Como **antecedentes nacionales** consideramos a **Vilca (2022)** (Vilca 2022), quien hizo un estudio con la finalidad de evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos mediante el aumento de ceniza de cáscara de girasol (CMF) a la carretera de Altocosco en Cusco. El **método** utilizado tuvo diseño cuasi-experimental y la muestra fue un tramo (2.5 km) de la carretera Qosqo en la carretera Inti Raymi, desde la tercera estación de buses de San Sebastián hasta el distrito de Quillahuata, obtuvo como **resultado** para el suelo arcilloso, con 0%, 15% y 30% CMF, CBR de 4.97%, 11.65% y 4.50% al 100% MDS, por lo que **concluyó** que, utilizando hasta 15% de ceniza de semilla de girasol con OCH de 6.33% y MDS de 1.59 kg/m³, el CBR del suelo incrementa en 6.68% más, respecto al suelo natural.

De igual modo **Champi & Garcia (2022)** (Champi y Garcia 2022) en su investigación, que tuvo el **objetivo** fue evaluar la eficacia de añadir ceniza de rastrojo de maíz (CTM) y ceniza de cáscara de cacahuete (CCM) al 11%, 12%, 13% y 14% del peso del suelo para estabilizar el firme de la carretera. Su estudio de **tipo** aplicado tuvo un diseño

cuasiexperimental con una población de 5 km de carretera IC-1110171 y muestra de cinco calicatas de suelo areno limoso. Los **resultados** más favorables los obtuvieron en la calicata 3 (24.50% de CBR al 100% MDS) donde con adición de CTM se alcanza CBR al 100% MDS de 25.1%, 25.4%, 25.6% y 26%, mientras que, con CCM se alcanza 25.5%, 25.8%, 26.2% y 26.4%, por lo que **concluyeron** que con la adición de 14% CTM y CCM se logra efectos positivos en las propiedades físico-mecánicas del suelo del firme de la carretera.

Igualmente, **Aldoradin (2022)** (Aldoradin 2022), realizó una tesis, con la finalidad fue evaluar el impacto de la ceniza de cáscara de huevo (CCH) en la superficie de la carretera de la calle Santa Rosa en Ica. La **metodología** de su estudio fue aplicada, cuyo diseño fue cuasiexperimental, en el cual, la muestra fue 285 m de subrasante de la Av. Santa Rosa, con lo que, llegó al **resultado** de que, cuando se incorpora 12% CCH el IP se reduce hasta 16%, pero el CBR aumenta hasta 7.40%, respecto al suelo natural con solo 5.60%, por lo que **concluye** que, la CCH influye propiciamente en las propiedades física y mecánicas del suelo.

De la misma manera, **Iquira (2022)** (Iquira 2022) el **objetivo** de su investigación, fue utilizar 0%, 5%, 7% y 9% cenizas de cisco de café (CCC) para estabilizar el suelo arcilloso de la subrasante de la Av. Circunvalación, Puno. Su **metodología** fue de tipo aplicada y su diseño cuasiexperimental teniendo como muestra a 3 calicatas, obtuvo como **resultado**, el CBR al 100% MDS para las calicatas 1, 2, 3 siendo 6.6%, 5.2% y 5.6%, pero al usar 5%, 7% y 9% de CCC el CBR alcanza valores de 8.1%, 13.3% y 16.8%. Por lo tanto, **concluyó** que, al aumentar la CCC el índice de plasticidad disminuye y el CBR aumenta, siendo el porcentaje óptimo 9% CCC.

Igualmente, **Alvarez & Fuentes (2022)** (Alvarez y Fuentes 2022), en su investigación cuyo **objetivo** fue usar 0%, 10%, 12%, 15%, 17% y 20% ceniza de la corteza de café (CCC) para que mejore el CBR del suelo arcilloso en Jaén. Su **metodología** lleva un modo aplicada con diseño cuasiexperimental en la cual la población y muestra fue 5.08 km de la carretera del CP Yanuyacu Bajo – Señor Cautivo, obtuvo como **resultado** que, el suelo natural tenía CBR al 95% MDS de 1.1%, pero con CC alcanza hasta 28.48%, 31.15%, 30.09%, 30.89% y 30.32%. Por lo que, **concluyó** que con 15% CCC se logra mejorar efectivamente el CBR del suelo arcilloso de la subrasante.

Respecto a **bases teóricas** tenemos: **Ceniza de cáscara de pajuro (CCP)**; esta ceniza de CCP es el producto de la ignición de este mismo producto vegetal y su liberación en el ambiente genera una contaminación del aire que a su vez incide de forma perjudicial a la salud de la población (Giraldo, y otros 2012). En diversas investigaciones se ha comprobado que, el uso de cenizas procedentes de cáscara de desechos vegetales logra

un acrecentamiento significativo en el CBR del suelo de la subrasante, dependiendo de la clasificación de la ceniza volante, no obstante, esta se clasifica en base a la composición química (Vilca 2022).

Tabla 1:

Composición química de la ceniza volante según la ASTM C618-08

Requisitos químicos	Ceniza clase		Ceniza volante TPN
	F	C	
Dióxido de Silicio (SiO ₂) + Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃) + Oxido Férrico (Fe ₂ O ₃), mínimo, %	70	50	94.5
Trióxido de azufre (SO ₃), máximo, %	5	5	Menor a 0.1
Contenido de humedad, máximo, %	3	3	Menor a 0.1
Pérdida por Ignición, máximo, %	6	6	1.8

Fuente: (Escobar 2012)

Cáscara de pajuro;

La cascara del pajuro está conformada por el desecho de las semillas de pajuro. El pajuro es un árbol de flores rojas y frutos comestibles con altura media de 8 m y un tronco de 24 cm diámetro, que produce entre 160 a 195 kg de frutos, se halla en las áreas tropicales y areas sub tropicales de América (Tingal 2019). En nuestro país se halla en los valles interandinos desde los 900 a 3200 msnm, como son las regiones de Cajamarca (Delgado-Soriano, y otros 2020). Es una de las 112 especies diferentes de árboles y de arbustos oriundos del país, pero solo la erythrina produce semillas comestibles, de las cuales se deshecha su cáscara (Tingal 2019), tal como se representada en la Figura 1.

Figura 1:

Fruto del pajuro, A) con cáscara, B) sin cáscara.



Fuente: (Tingal 2019)

Propiedades físico-químicas de las cenizas:

Humedad; volumen de agua dentro de la muestra de la ceniza, es determinado por el método indirecto por volatilización (Pojić, y otros 2015).

Ecuación 1:% Humedad

$$\%Humedad = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Donde:

Ww= peso del agua que existe en la masa de suelo,

Ws= peso de la muestra en condición seca.

Finura; propiedad que, define la medida del granulo de la ceniza; la dimensión de las cenizas permite que, estas llenen vacíos del suelo (Trivedi y Sud 2002).

Peso específico; correspondencia que, hay entre su peso y volumen de masa; la ceniza presenta un peso específico de 1.6 a 3.1 g/cm³ (Pandian 2004).

Ecuación 2:Peso específico

$$\gamma = \frac{\omega}{V} = \frac{mg}{V} = pg$$

Donde:

W= peso,

V= volumen,

p= densidad,

g= gravedad

Pérdida por calcinación; se determina por la pérdida de material orgánico de la muestra; la pérdida por calcinación oscila mucho, refleja el contenido de inquemados que posee la ceniza (Carević, y otros 2019).

Composición química; caracterización porcentual de los minerales dentro de la muestra de ceniza; se compone principalmente de sílice y óxido de calcio, con pequeñas cantidades de magnesio, aluminio, potasio y óxidos de fósforo. La composición mineral de las cenizas de plantas con un largo periodo de reproducción (por ejemplo, árboles) es muy diferente de la de las cenizas de plantas cosechadas varias veces al año (cereales), estas últimas contienen más óxidos de bajo punto de fusión, sobre todo potasio y fósforo (Buneviciene, y otros 2021).

Carretera no pavimentada; vía con peculiaridades que permiten el tránsito eficaz y la movilización sistemática de gran cantidad de vehículos (Gongora 2019). Adaptación a la

superficie de manera que la anchura, la alineación y la pendiente de la vía estén en condiciones tales que permitan al vehículo circular correctamente (Keller y Sherar 2003). Pueden ser: (MTC 2014)

Carreteras de tierra. Superficie con suelo natural.

Carreteras gravosas. Superficie con suelo pétreo.

Carreteras afirmadas. Superficie con suelo de cantera.

Carreteras con subrasante tratada. Superficie estabilizada.

Subrasante de una carretera; superficie terminada (corte y relleno) en el suelo donde se colocan las estructuras del pavimento (MTC 2014). Suelo hasta una profundidad aproximada de 1 m, incluido el relleno parcial o totalmente que, sustituya al suelo natural inadecuado para la construcción de la subrasante (Silvestre 2018).

Tabla 2:

Categoría de Subrasante

Categoría de subrasante (S)	0	1	2	3	4	5
	Inadecuada	Insuficiente	Regular	Buena	Muy Buena	Excelente
CBR (%)	<3	3-6	6-10	10-20	20-30	≥ 30

Fuente: (MTC 2014)

Suelo; agregado no reforzado formado por partículas minerales y de materia orgánica en descomposición (sólidos) mezclados con líquido (agua), con espacios entre los sólidos ocupados por huecos. En proyectos, el suelo se utiliza como material de construcción y para sostener cimientos estructurales. (Braja 2001).

Tipos de suelo: (Crespo 2012)

Gravas, fragmentos de rocas con 4.75 a 7.62 mm de diámetro (3”).

Arena, granos finos dados por la trituración de rocas, con granos de 0.075 a 4.75 mm de diámetro.

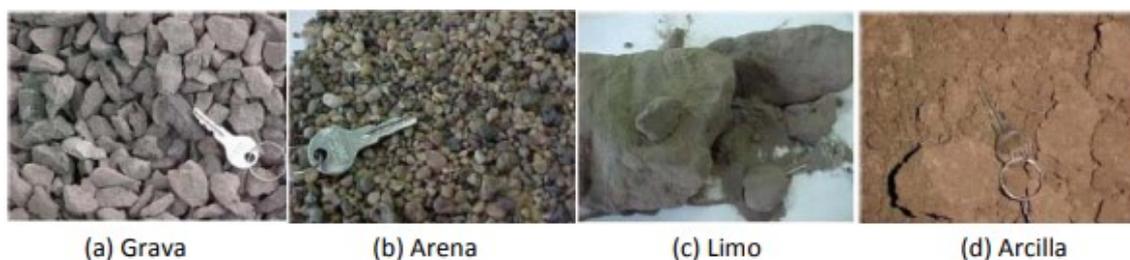
Limos, Son suelos extremadamente finos con diámetros inferiores a 0.75 mm.

Arcillas, partículas de suelo que miden 0.075 mm y su característica principal es que cuando se mezclan con agua, se vuelven muy plásticas.

Turbas, este tipo de suelo se deriva de la descomposición de materiales orgánico cuyo color varía entre castaño claro y negro.

Figura 2:

Diferentes tipos de suelos.



Fuente: (Zapata 2018)

Tabla 3:

Clasificación SUCS del suelo

Suelos	Tipo	Prefijo	Sub grupo	Sufijo
Gruesos < 50% pasa malla N° 200	Grava	G	Buena gradación	W
	Arena	S	Gradación pobre	P
Finos > 50% pasa malla N° 200	Limo	M	LL < 50%	L
	Arcilla	C	LL > 50%	H
	Orgánico	O		

Fuente: adaptado (Bañon y Bevia 2000).

Tabla 4:

Clasificación AASHTO del suelo

Suelos	Clasificación		Tamiz (mm)			Límites (%)		Tipo
	Grupos	Subgrupos	2	0.5	0.008	LL	IP	
Granulares (< 35% pasa 0.008 mm)	A-1	A-1 ^a	≤50	≤30	≤15	≤6	Gravas y arenas	
		A-1b		≤50	≤25			
	A-3		≥51	≤10	NP ⁽¹⁾	Arena fina		
	A-2	A-2-4				≤40	Gravas y arena limosas o arcillosas	
		A-2-5			≤35	≥41		
		A-2-6				≤40		≥11
		A-2-7				≥41		
Finos (> 35% bajo 0.008 mm)	A-4					≤40	Limosos	
	A-5			≥36		≥41		
	A-6					≤40		≥11
	A-7	A-7-5			≥36	≥41	Arcillosos	
		A-7-6				≥41		≥11

Fuente: adaptado (MTC 2014). Nota: (1) No plástico.

Suelo arcilloso; partículas sólidas menores a 0.005 mm de diámetro que, se plastifican fácilmente al mezclarlas con agua. Existen tres tipos primordiales de minerales arcillosos: caolinita, illita y montmorillonita. Químicamente, la arcilla es un silicato de aluminio, magnesio y hierro. Suele ser un mineral con una estructura cristalina compleja en la que los átomos están dispuestos en forma de lámina. Tienen baja capacidad de soporte in situ son blandas cuando están secas, pero pegajosas e impermeables húmedos, por lo que, favorecen el estancamiento del agua. Del mismo modo, los suelos arcillosos tienden a cambiar de volumen a medida que varía su contenido de agua, estos cambios se conocen como hinchamiento cuando el volumen aumenta y contracción cuando disminuye (Ishibashi y Hazarika 2015).

Propiedades físicas del suelo:

Contenido de humedad; volumen de agua que es parte del suelo, y que, se distingue por su diferencia de pesos en estado natural, y seco (Braja 2001).

Ecuación 3: Contenido de humedad

$$H\% = \frac{W_h - W_s}{W_s} \times 100$$

Donde:

Wh= peso del suelo natural,

Ws= peso del suelo en estado seco

Granulometría; consiste en la separación de los granos de suelo por tamaños, es decir representa la medida del diámetro de partícula (Botía 2015).

Ecuación 4: Granulometría

$$\% \text{ que pasa} = \frac{PP}{PT} \times 100$$

Donde:

PP= peso que pasa, y es el resto del peso total y retenido acumulado. El peso retenido se obtiene de pesar el material por malla.

PT= peso total de la muestra.

Tabla 5:

Categoría del suelo por gradación

Suelo	Tamaño de partículas (mm)		
Grava		4.75 – 75	
Arena	Gruesa: 2-4.75	Media: 0.425-2	Fina: 0.075-0.425
Limo		0.005- 0.075	
Arcilla		< 0.005	

Fuente: (MTC 2014)

Límites de consistencia; los suelos finos pueden hallarse en diferentes estados, según su cuantía de agua (Marinho 2005). El límite plástico (LP) es cuando la consistencia del suelo pasa de ser semisólida a ser plástico. (Dolinar, Mišić y Trauner 2007). El límite líquido

(LL) es el punto en el que la consistencia se pasa plástico a líquido. LP y LL se conocen colectivamente como los límites de Atterberg (Dolinar, Mišić y Trauner 2007).

Ecuación 5: Índice de plasticidad

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP= índice de plasticidad,

LL= límite líquido,

LP= límite plástico.

Tabla 6:

Categoría del suelo según IP

Plasticidad	Alto	Medio	Baja	NP
IP	>20	7-20	<7	0
Arcilloso	Muy	Normal	Poco	Exento

Fuente: (MTC 2014)

Propiedades mecánicas del suelo:

Compactación (Proctor modificado); estima la proporción de agua en el suelo y el peso unitario seco utilizando la curva de compactación. (Shafigh, y otros 2020).

– **Óptimo contenido de humedad (OCH);** contenido de humedad correspondiente a la MDS; se estima por la prueba de Proctor (Shafigh, y otros 2020).

– **Máxima densidad seca (MDS);** corresponde a la mayor densidad que puede alcanzarse compactando el suelo hasta su OCH, se estima por la prueba de Proctor modificado (Shafigh, y otros 2020).

Ecuación 6:Densidad seca

$$Ds = \frac{Dh}{(100 + H\%)} \times 100$$

Ecuación 7:Capacidad de soporte del suelo

$$CBR\% = \frac{CUE}{CUP} \times 100$$

Donde:

CBR= capacidad de soporte del suelo,

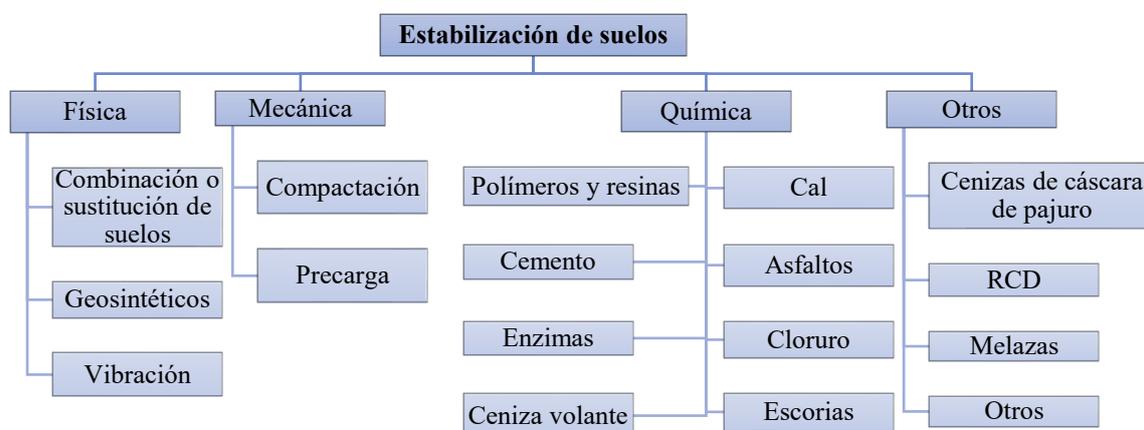
Cue= carga unitaria de la prueba,

Cup= carga unitaria del estándar

Estabilización de subrasante; representa el incremento del CBR del suelo, disminución del hinchamiento y plasticidad con la adición de componentes físicos o químicos, o por medio de procesos mecánicos (Montejo, Montejo y Montejo 2018). De allí, surgen los diferentes tipos de estabilización que, se puntualizan en la figura 3.

Figura 3:

Tipologías de estabilización de subrasante.



Fuente: Adaptado (MTC 2014).

Estabilización de subrasante con ceniza de la cáscara del pajuro; esta no tiene referentes de análisis, no obstante, existen investigaciones donde se ha indagado el uso de cenizas de otros residuos vegetales producto del fruto o semilla de árboles, como, el realizado por (Ewa, y otros 2023), (Asif , y otros 2022), (Melese 2022), (Neguse, Assefa y Assefa 2023), (Gallardo Amaya, Coronel Rojas y Cely Calixto 2022), entre otros, que, destacan los beneficios de utilizar cenizas de cáscara de vegetales, lo que, representa el acrecentamiento del CBR por medio de la adición de este componente químico, sin embargo, se necesitan mayores estudios específicos, como, el que, se presenta.

El **planteamiento conceptual** es el siguiente: la cáscara de pajuro es un material secundario que deriva de residuos de la producción de pajuro que, se utiliza como elemento de consumo primario; el CCP es el producto de la combustión de la cáscara de pajuro a temperaturas de cocción superiores a 800°C, la ceniza debe analizarse física y químicamente para determinar su clasificación en el Grupo C o el Grupo F de la gama de cenizas; Dosificación: es la adición de componentes a la matriz del suelo en proporciones adecuadas para la mejora de las propiedades físico mecánicas de una subrasante. Fichas

de recolección: es una forma escrita de información valiosa obtenida mediante el proceso de recolección de la información.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de la investigación

Tipo: Aplicada en el sentido de que, se realiza con fines prácticos, es decir, para modificar, adaptar o cambiar determinados ámbitos de la realidad (Carrasco 2006), En este caso, se incluye la ceniza de la cascara de pajuro para mejorar las propiedades físico mecánicas de la subrasante.

Diseño de investigación Debido a que los grupos de trabajo no se asignaron al azar, se formaron antes del inicio del experimento, esto lo convierte en un estudio cuasiexperimental. (Carrasco 2006). De tipo, con posprueba únicamente e intactos grupos, según (Carrasco 2006) En este modelo, se propone dos grupos: uno que recibe el estímulo experimental y otro que no. El efecto de la variable independiente sobre la variable dependiente, en este caso el efecto de la ceniza de cáscara de pajuro sobre las propiedades físico mecánicas de la subrasante, se mide mediante pruebas posteriores.

$$\begin{array}{l} G1 \quad X \quad O1 \\ G2 \quad \rightarrow \quad O2 \end{array}$$

Donde:

G1,2= grupos de estudio, G1 experimental, y G2 control,

O1,2= observación al grupo G1 y G2,

X= variable independiente, ceniza de cáscara de pajuro.

Nivel de investigación: El estudio tiene un nivel **explicativo**; La relación causa-efecto de un fenómeno es el objetivo principal de este estudio. (Cauas 2015), El estudio analizará cómo las propiedades físico mecánicas del suelo de la subrasante cambian cuando se agregan cenizas de cáscara de pajuro.

Enfoque de investigación: Cuantitativo, ya que su objetivo es cuantificar y estimar la escala de los fenómenos y las preguntas de investigación (Hernández, Fernández y Baptista 2014). Las propiedades físico-mecánicas de la subrasante del suelo con ceniza de cáscara de pajuro se evaluarán en este estudio.

3.2. Variables del estudio y operacionalización

Variable:

Independiente: Ceniza de cáscara de pajuro (CCP)

Definición conceptual: la CCP es un residuo inerte vegetal que, se consigue por la quema de la cáscara de pajuro.

Definición operacional: Posteriormente a la definición, la cantidad de ceniza de cáscara de pajuro se agregará como porcentaje del peso del suelo seco.

Dimensión: Dosificación.

Indicadores: 0%, 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro.

Escala para la medición: De razón.

Dependiente: Propiedades físico mecánicas de la subrasante.

Definición conceptual: La clasificación, la caracterización plástica y la capacidad de soporte de la subrasante dependen de sus características físico mecánicas. (Goñas y Saldaña 2020).

Definición operacional: Las características físico mecánicas del suelo de la subrasante se reflejarán en: límites de consistencia, fluidez y plasticidad del suelo, compactación, CBR capacidad de soporte del suelo (Goñas y Saldaña 2020).

Dimensión: Propiedades mecánicas y físicas.

Indicadores: Granulometría, límite líquido, límite plástico, óptimo contenido de humedad máxima densidad seca, capacidad de soporte (CBR).

Escala de medición: De razón.

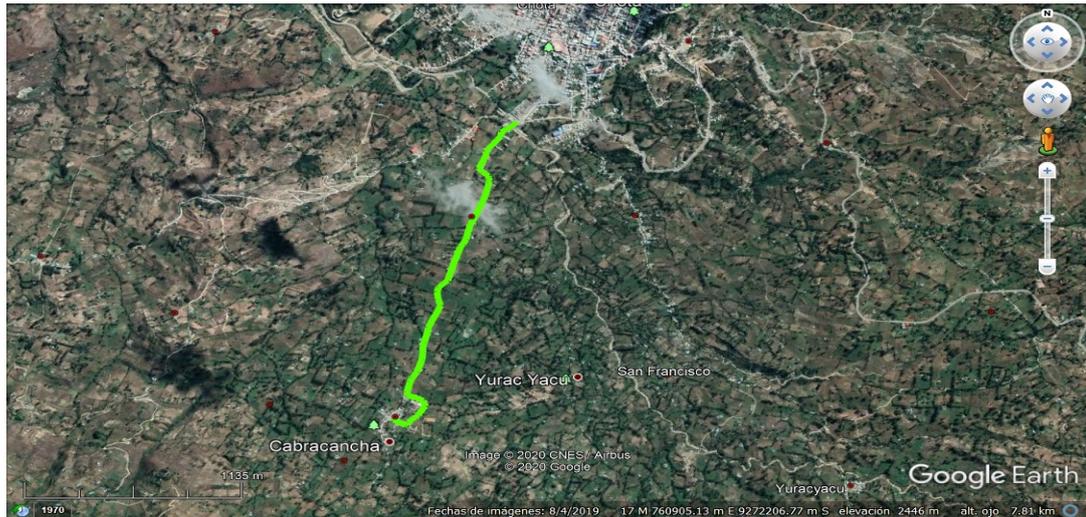
3.3 Población, muestra y muestreo de la investigación

Población

Conjunto de elementos (unidades de análisis) relacionados con el entorno espacial en el que se desarrolla la investigación (Carrasco 2006). Está conformada por los 9.00 km de la carretera CA893, tramo Chota – Cabracancha.

Figura 4:

Carretera CA893, tramo Chota – Cabracancha.



Fuente: Elaboración propia.

Muestra

Parte o segmento característico de la población, con características objetivas que, la reflejan con exactitud, de modo que se pueden combinar los resultados con todos los componentes que forman la población (Carrasco 2006). Se tomará 3 km de la carretera por conveniencia del investigador, en donde se encuentran la mayor cantidad de fallas, al ser una carretera de bajo tránsito.

Muestreo

Se refiere a tomar una porción de la población para estudiar alguna de sus características (Arias 2012). En este estudio, fue no probabilístico el muestreo, debido a que, en el diseño cuasiexperimental, la muestra se selecciona intencionadamente.

La ruta Chota – Cabracancha por su IMDA se clasifica como carretera de 3ra clase (Fernández y Ticlla-Ríos 2020). Según el MTC (2014) para estas carreteras (Tabla 7) se realiza una calicata cada 2 km, no obstante, para tener mayor confiabilidad de resultados se realizará una calicata por kilómetro.

Tabla 7:

Número de pruebas de CBR según tipo de carretera dado por el (MTC 2014)

Tipo de carretera	Número mínimo de calicatas
1era Clase (IMDA 2001 a 4000 veh/día).	1/ km
2da Clase (IMDA 401 a 2000 veh/día)	1/ 1.5 km
3ra Clase (IMDA 201 a 400 veh/día)	1/ 2 km
Carreteras con Volumen Bajo de Tránsito (IMDA \leq 200 veh/día)	1/ 3 km

Fuente: (MTC 2014).

Siendo así, el muestreo estará conformado por tres calicatas, una por cada Km de la carretera CA893, tramo Chota – Cabracancha.

Tabla 8:

Distribución de muestra

Nro. de Calicatas	Suelo patrón	Suelo patrón + 9% de las cenizas de cáscara de pajuro	Suelo patrón + 12% de las cenizas de cáscara de pajuro	Suelo patrón + 15% de cenizas de cáscara de pajuro
C-1	1	1	1	1
C-2	1	1	1	1
C-3	1	1	1	1

Fuente: Propia

Se tomarán cuatro muestras de cada calicata, lo que significa que se tomarán doce muestras de todas las calicatas que serán evaluadas.

Unidad de análisis

Calicatas de 1.20 m de largo, 1.20 m de ancho, y 1.50 m de profundidad en la carretera CA893, tramo Chota – Cabracancha, según el MTC (2014) (MTC 2014).

3.4 Técnicas de recolección de datos e instrumentos

Técnica de investigación

Es un conjunto de directrices y reglas que guían al investigador en cada etapa de la investigación científica (Carrasco 2006). Para medir y observar los efectos de la variable dependiente, este estudio utilizará la observación directa.

Observación Directa

Se define como proceso sistemático de recopilar, y registrar datos empíricos sobre objetos, sucesos, incidentes y comportamientos humanos para procesarlos y transformarlos en la información. (Carrasco 2006).

Instrumentos para la recolección de los datos

Esto se utilizan como herramientas técnicas para recabar los datos y la información necesarios para alcanzar los objetivos del estudio. Al mismo tiempo, estas herramientas deben cumplir ciertos requisitos para garantizar su eficiencia y eficacia cuando se aplican a la muestra de la investigación (Carrasco 2006).

La investigación utilizará fichas de recolección de datos, equipos e instrumentos de laboratorio. (Copa Casagrande, taras, mallas, balanzas, máquinas CBR), software para analizar datos (Excel, Minitab21, costo, etc.) y ensayos estandarizados según NTP (Normas Técnicas Peruanas) y ASTM (American Society for Testing and Materials)

Validez

Se refiere al nivel en que, un instrumento mide efectivamente las variables para las cuales fue diseñado (Hernández, Fernández y Baptista 2014).

La validación de un estudio es determinada por expertos (3 expertos en este caso) que conocen el campo de estudio.

Confiabilidad

Es el grado en que la aplicación al ser repetida a la misma persona u objeto produce resultados comparables (Hernández, Fernández y Baptista 2014).

Los certificados de las pruebas de laboratorio realizadas de acuerdo con las normas ASTM confirmarán la confiabilidad del estudio así como también las recomendaciones de expertos en el campo de investigación.

3.5 Procedimientos

Ceniza de cáscara de pajuro

Equipos y/o materiales

- Tarjeta de identificación
- GPS
- Saco impermeable de Polipropileno
- Palas

Procedimiento

Se obtendrán el CCP de los productores de plantaciones de pajuro de la ciudad de Chota-Cajamarca, donde para obtener la ceniza, el CCP pasa por un procedimiento de recolección de la cáscara de pajuro, las cuales después son trasladadas a un lugar vasto para su secado al aire libre. Una vez secas estas servirán como combustible para las

calderas de las procesadoras y producto de la combustión se obtendrá las cenizas a más de 800 °C.

Tamizado de la ceniza de cáscara de pajuro

Después de recoger el CCP, se utiliza el tamiz para separar la ceniza de otros residuos contenidos en las escorias (Neguse, Assefa y Assefa 2023).

Equipos y/o Materiales

- Muestra de CCP
- Tamiz 3/8"
- Recipiente
- Cuchara industrial para muestreo
- Bandeja

Procedimiento

- Se recoge el CCP con una cuchara industrial y se tamiza con un tamiz de 3/8 pulgadas.
- El material se tamiza a mano y se deja en el tamiz.
- El material pasado por el tamiz de 3/8 pulgadas se utiliza para añadir 5, 10, 15 o 20% (en peso del suelo).

Exploración y muestreo de suelos

Los ingenieros de suelos suelen desarrollar métodos para investigar directamente el suelo y su entorno en las obras de construcción. Los métodos para investigar las propiedades estratigráficas y de ingeniería de los subsuelos incluyen la excavación abierta (calicata), las perforaciones y/o el SPT (Laica 2016).

Equipos y/o materiales

- wincha metálica y GPS
- Tarjeta de identificación
- Saco impermeable de polipropileno
- Estacas y cinta de seguridad
- Herramientas manuales (picos, palas y lampas)
- Cuaderno de campo

Procedimiento (Llique 2003)

Se obtendrá el suelo de la subrasante de la ruta Chota – Cabracancha por medio de la excavación de calicatas de 1.20 m de lado, por 1.50 m de profundidad.

- Se anota las coordenadas UTM WGS84 17S por calicata.
- Se excava la calicata de 1.2x1.2x1.5m con pico y pala.
- Se Anota el perfil estratigráfico por calicata.

- Las muestras alteradas se extraen a mano.
- Las muestras se colocan en bolsas de polipropileno marcadas para su traslado al laboratorio.

NTP 339.128 Análisis granulométrico del suelo (Instituto Nacional de Calidad 2019)

Equipos y/o materiales

- 1000 g de suelo grueso y 500 g de suelo fino.
- Balanza con aprox. de 0.1 g.
- Estufa con temperatura controlable
- Tamices

Procedimiento

- Secar y pesar las muestras.
- Colocar en un recipiente la tierra, añadir el agua y dejar que repose durante 1 hora.
- Pasar la tierra por el tamiz n° 200 al recipiente y luego dejar que seque y reposar.
- Pasar la muestra que se retuvo en el tamiz n°200, por una serie de tamices y agitar con la mano.
- Para crear una curva de gradación, meda el porcentaje de la muestra y el peso en cada tamiz.

Figura 5

Ensayo Granulométrico



NTP 339.127 Ensayo para el contenido de humedad (Instituto Nacional de Calidad 2019)

Equipos y/o materiales

- Estufa con control de temperatura
- Taras
- Balanza con aproximación de 0.01 gr
- Muestra alterada extraída de cada calicata

Procedimiento

- Pesar el suelo húmedo.
- Secar el suelo en la estufa a 105°C por 1 día.
- Pesar el suelo seco.

NTP 339.129 Ensayo de plasticidad (Instituto Nacional de Calidad 2019)

Materiales y/o equipos

- Malla N°40
- Copa de Casagrande
- Suelo seco que pasa la malla N° 40
- Hormo o estufa con control de temperatura
- Probeta de 100 ml
- Espátula
- Ranurador o acanalador
- Capsula de porcelana
- Balanza con aprox. de 0.01 gr
- Taras identificadas

Procedimiento, para LL.

- Mezclar la tierra y el agua con una espátula.
- Colocar en la copa Casagrande la pasta (1 cm de espesor).
- Dividir la muestra en dos partes con una abertura en el centro.
- Utilizar una manivela para subir y bajar la copa a razón de dos caídas por segundo hasta que cada mitad del suelo se pongan en contacto y anotar el número de golpes para esta prueba.
- Utilizar una espátula pequeña para retirar la parte de la tierra en contacto con el fondo de la ranura y medir su contenido de humedad.
- Esta prueba debe repetirse dos veces.
- Dibujar un gráfico y determinar el eje vertical correspondiente a los 25 golpes de la curva de fluencia, este valor es el LL del suelo.

Procedimiento para LP.

- Para calcular el LL, tome un poco de la mezcla preparada.
- Añadir la tierra para reducir el contenido de agua.
- Rodar la muestra sobre la placa de vidrio con la mano hasta que se formen grietas en cilindros de 3 mm de diámetro.
- Pesar la muestra para determinar el contenido de humedad.
- Repetir este ensayo.
- El LP es la media de los dos valores de humedad.

Figura 6

Ensayo de Limite de Consistencia



NTP 339.141 Ensayo Proctor modificado (Instituto Nacional de Calidad 2019)

Materiales y/o equipos

- Equipo Proctor modificado
- Recipiente con 6 kg de capacidad
- Pisón o martillo Proctor modificado
- Muestra alterada seca.
- Estufa con temperatura controlable
- Espátula Balanza con precisión de 1 gr
- Probeta de 1000 ml
- Taras con identificación

Tabla 9:

Especificaciones para Ensayo de Proctor Modificado

Elemento	Método A	Método B	Método C
Diámetro del molde (mm)	101.6	101.6	152.4
Volumen del molde (cm ³)	943.3	3 943.3	2124
Peso del martillo (N)	44.5	44.5	44.5
Altura de la caída del martillo (mm)	457.2	457.2	457.2
Golpes de martillo por capa de suelo	25	25	56
Nº de capas de compactación	5	5	5
Energía de compactación (KN-m/m ³)	2696	2696	2696

Fuente: (Braja 2001)

Procedimiento

- Secar la sustancia y preparar cuatro muestras utilizando el método A. Añadir agua y mezclar bien.
- Dividir cada muestra en 5 capas, compactando cada capa 25 veces.
- Compactar la última capa y utilizar una espátula pequeña para aplanar el molde.
- Pese las muestras después de colocarlas en el horno para medir su contenido de humedad.
- Construir la curva de compactación para determinar la MDS y OCH.

Figura 7

Ensayo de Proctor Modificado



NTP 339.145 Ensayo CBR (Instituto Nacional de Calidad 2019)

Materiales y/o equipos

- Equipo CBR
- 3 diales de expansión que tengan divisores de 0.01mm
- Pistón Proctor modificado
- Recipiente de capacidad de 6kg
- Muestra seca
- Probeta de 1000 ml
- Espátula
- Papel filtro
- Horno
- Balanza con precisión de 1 gr
- Taras identificadas

Prueba de compactación CBR

- Las muestras se preparan con el OCH, que se determinó en la prueba de compactación.
- Se monta un molde cilíndrico utilizando una placa base, anillos de extensión, cuñas y papel de filtro y las muestras se compactan en cada uno de los tres moldes CBR en cinco capas, 13 bajo la 1ra. capa, 27 bajo 2da. capa y 56 bajo la 3ra. capa.
- Se mide el contenido de humedad de las muestras en cada molde, y la densidad húmeda y seca.

Prueba de hinchamiento.

- Se voltean las muestras con la cara libre hacia arriba.
- Se debe colocar un trozo de papel de filtro sobre cada muestra, una placa de hinchamiento, una esterilla, un trípode y un disco de hinchamiento.
- Se colocan tres moldes adecuados en un balde de agua por cuatro días y se registran las lecturas de hinchamiento cada día.

Prueba de penetración

- Después de 4 días, se sacan del tanque de agua los moldes y se dejan secar por 15 min. Se coloca el mantillo en cada uno de los moldes y se lleva a una prensa hidráulica, que aplica carga a 0.05 pulgadas/minuto para realizar la prueba. Se registra las lecturas de carga de cada espécimen.
- Se construye una curva de tensión-deformación para cada espécimen de molde a 0.1" y 0.2" de permeación.

3.6 Método de análisis de datos

La clasificación, el registro, la tabulación y la codificación adecuada son las operaciones de datos que se utilizan en este paso. (Arias 2012).

El análisis de datos se llevará a cabo de manera inductiva. Esto se debe a que cuando se obtienen resultados de hechos específicos a través de la observación, se obtienen nuevos conocimientos más complejos y afirmaciones generales, lo que permite llegar a conclusiones generales sobre los fenómenos individuales en estudio. Los resultados se muestran con una variedad de gráficos, tablas y programas de análisis de datos.

3.7 Aspectos éticos

En términos de consideraciones éticas, este trabajo de investigación se adhiere a los principios de originalidad y autenticidad. El diseño del estudio seguirá cada cita de fuente utilizada como antecedente o conocimiento a priori respetando la norma APA 7ª edición, y la validez estará asegurada por los datos proporcionados por el laboratorio donde se

realizará cada prueba para nuestro estudio. Así mismo, se aplicará la herramienta de anti plagio Turnitin para asegurar la originalidad del estudio.

IV. RESULTADOS

Los resultados estarán puestos de acuerdo a los objetivos planteados en el primer capítulo.

Para el primer objetivo:

Para la realización de la obtención de ceniza de cáscara de pajuro está bajando en los siguientes puntos:

- Se realizará un mapeo de los lugares donde se pueda obtener árbol de pajuro alrededor del distrito de Chota - Cabracancha, Cajamarca, con el fin de poder reciclar el pajuro para disminuir costos al adicionar al suelo natural.
- La extracción de las cáscaras de pajuro se requerirá equipos de protección individual para minimizar los riesgos a picaduras, rajaduras o cualquier otro inconveniente y para ser transportado se utilizó un costal de compras.
- Una vez que las cáscaras se obtuvieron, se lavaron y limpiaron con una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm de cloro residual libre por cinco minutos. Luego, se secaron a temperatura ambiente durante 24 a 36 horas.
- Fue transportado al laboratorio para la incineración a temperaturas mayores a los 500 grados Celsius por aprox. 24 a 48 horas para ser retirados y molidos de forma manual para obtener uniformidad en las partículas y ser tamizados para su adición a los suelos en investigación.

Figura 8

Ceniza de cáscara de Pajuro



Para el segundo objetivo

Se llevó la muestra de ceniza de cáscara de pajuro a una temperatura de 20 grados centígrados y una humedad relativa de 40 grados centígrados para ensayar la composición química de los óxidos, y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 10*Resultados de Composición Química*

CÓDIGO	ENSAYOS	UNIDAD	RESULTADO
GCL - 053	óxido de calcio (CaO)	%	14.55
	dióxido de silicio (SiO ₂)	%	61.28
	trióxido de azufre (SO ₃)	%	12.11
	óxido de magnesio (MgO)	%	6.91
	óxido de manganeso (MnO)	%	15.10
	trióxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	%	4.55
	pentóxido de fósforo (P ₂ O ₃)	%	2.32
	trióxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	%	1.21
	óxido de bario (BaO)	%	0.86
	óxido de zinc (ZnO)	%	0.55
	óxido de cobre (CuO)	%	0.16
trióxido de cromo (CrO ₃)	%	0.11	
	Otros	%	4.55

Fuente: Elaboración propia

Para el tercer objetivo**Análisis inferencial Límites de Consistencia (LL y LP):**

En la tabla siguiente se muestra los resultados que se obtuvieron en el laboratorio para los límites de consistencia para la calicata 1, 2 y 3.

Tabla 11*Calicata 1 Límites de Consistencia*

Muestra	Limite Líquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad
Suelo estándar 1	8.42	2.46	5.96
Suelo estándar 2	8.37	2.39	5.93
Suelo estándar 3	8.47	2.53	5.99
Suelo estandar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 1	8.30	2.60	5.70

Suelo estandar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 2	8.25	2.53	5.67
Suelo estandar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 3	8.35	2.67	5.73
Suelo estandar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 1	8.60	3.20	5.40
Suelo estandar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 2	8.55	3.13	5.37
Suelo estandar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 3	8.65	3.27	5.43
Suelo estandar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 1	7.80	3.90	3.90
Suelo estandar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 2	7.75	3.83	3.87
Suelo estandar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 3	7.85	3.97	3.93

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

Calicata 2 Límites de Consistencia

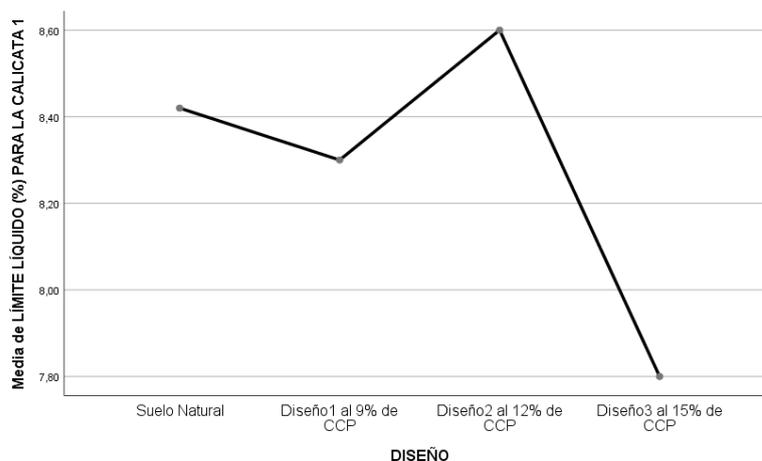
Muestra	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad
Suelo Natural 1	8.85	3.29	5.48
Suelo Natural 2	8.88	3.34	5.55
Suelo Natural 3	8.91	3.39	5.62
Suelo estandar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 1	7.57	3.25	4.23
Suelo estandar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 2	7.60	3.30	4.30
Suelo estandar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 3	7.63	3.35	4.37
Suelo estandar I + 12% de ceniza de cascara de pajuro 1	7.87	4.05	3.73
Suelo estandar I + 12% de ceniza de cascara de pajuro 2	7.90	4.10	3.80
Suelo estandar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 3	7.93	4.15	3.87
Suelo estandar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 1	8.00	4.51	3.40
Suelo estandar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 2	8.03	4.56	3.47
Suelo estandar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 3	8.06	4.61	3.54

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13*Calicata 3 Límites de Consistencia*

Muestra	Limite Liquido	Limite Plástico	Índice de Plasticidad
Suelo Natural 1	9.47	6.38	3.08
Suelo Natural 2	9.61	6.44	3.18
Suelo Natural 3	9.54	6.41	3.13
Suelo estandar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 1	6.97	3.93	3.05
Suelo estandar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 2	6.83	3.87	2.95
Suelo estandar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 3	6.90	3.90	3.00
Suelo estandar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 1	8.03	5.57	2.45
Suelo estandar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 2	8.17	5.63	2.55
Suelo estandar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 3	8.10	5.60	2.50
Suelo estandar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 1	8.93	7.07	1.85
Suelo estandar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 2	9.07	7.13	1.95
Suelo estandar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 3	9.00	7.10	1.90

Fuente: Elaboración propia

Figura 9:*Media de Limite Liquido (%) para la Calicata 1*

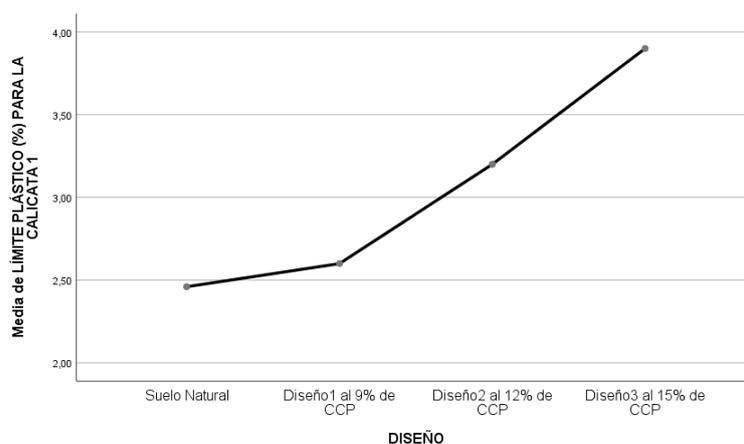
Fuente: Elaboración propia

El gráfico de medias muestra que para la calicata 1, el límite líquido del diseño al 15% de CCP es menor que el de los demás diseños; el diseño al 12% de CCP tiene el mayor promedio.

La parcial adición al 12% de la ceniza de la cáscara de pajuro, mejora de manera significativa el límite líquido (LL) de la calicata 1 de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023, mientras que al añadir el 9% de CCP esta se mantiene estadísticamente igual al suelo natural, sin embargo, al añadir el 15% de CCP disminuye de manera significativa.

Figura 10:

Media de Limite Plástico (%) para la Calicata 1



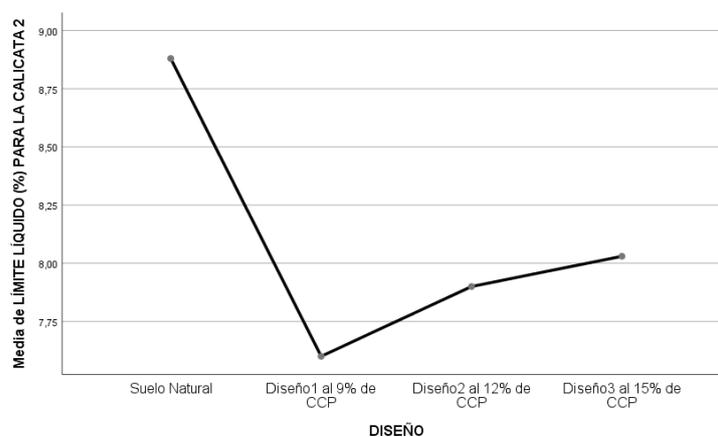
Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en el gráfico de medias, para la calicata 1, el límite plástico del diseño natural es menor que los tres diseños experimentales; el diseño al 15% de CCP tiene el mayor promedio.

La parcial adición al 12% y 15% de la ceniza de la cáscara de pajuro, mejora de manera significativa el límite plástico (LP) de la calicata 1 de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023, mientras que al añadir el 9% de CCP esta se mantiene estadísticamente igual al suelo natural.

Figura 11:

Media de Limite Líquido (%) para la Calicata 2



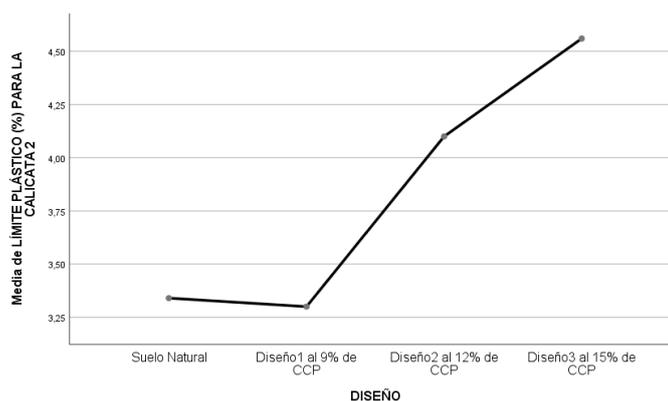
Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en el gráfico de medias, para la calicata 2, el límite líquido del diseño al 9% de CCP es menor que para los demás diseños; el diseño natural tiene el mayor promedio.

La parcial adición al 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, disminuye de manera significativa el límite líquido (LL) de la calicata 2 de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancho, Cajamarca 2023.

Figura 12:

Media de Limite Plástico (%) para la Calicata 2



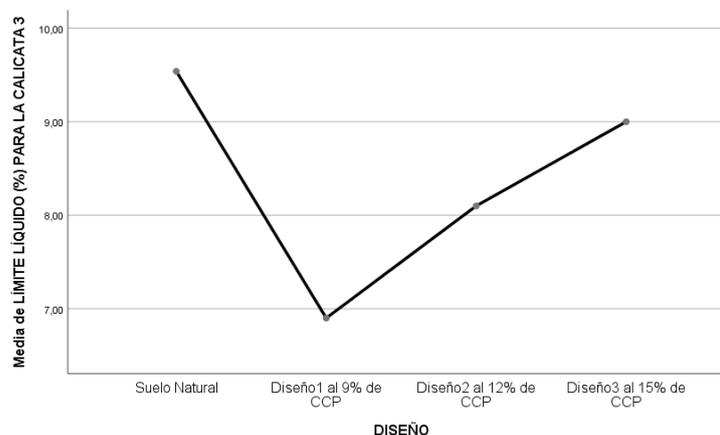
Fuente: Elaboración propia

El gráfico de medias muestra que para la calicata 2, el límite plástico del diseño al 9% de CCP es menor que el de los demás diseños; el límite plástico del diseño al 15% de CCP tiene el mayor promedio.

La adición parcial al 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa el límite plástico de la calicata 2 de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023, mientras que al añadir el 9% de CCP esta se mantiene estadísticamente igual al suelo natural.

Figura 13:

Media de Limite Liquido (%) para la Calicata 3



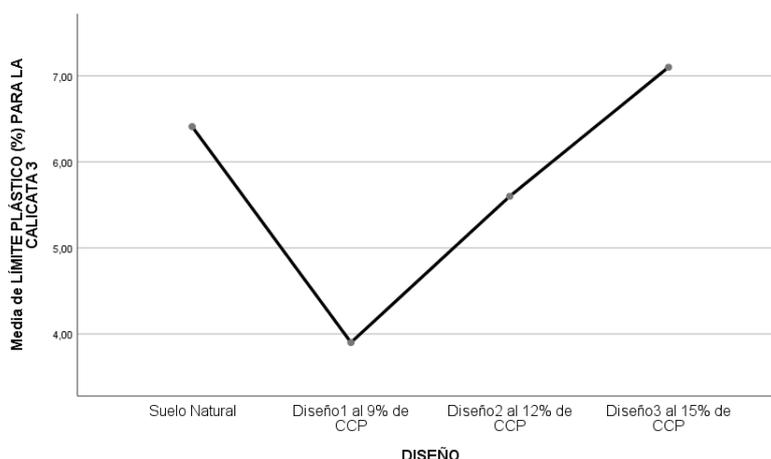
Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en el gráfico de medias, para la calicata 3, el límite líquido del diseño al 9% de CCP es menor que para los demás diseños; el diseño natural tiene el mayor promedio.

La parcial adición al 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, disminuye de manera significativa el límite líquido (LL) de la calicata 3 de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Figura 14:

Media de Limite Plástico (%) para la Calicata 3



Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en el gráfico de medias, para la calicata 3, el límite plástico del diseño al 9% de CCP es menor que para los demás diseños; el límite plástico del diseño al 15% de CCP tiene el mayor promedio.

La parcial adición del 15% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa el límite plástico (LP) de la calicata 3 de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023, mientras que al añadir el 9% y 12% de CCP disminuye de manera significativa.

Para el cuarto objetivo

En las tablas siguientes se muestran los resultados obtenidos en el laboratorio de las deformaciones por minutos para las calicatas 1, 2 y 3.

Tabla 14

Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural – Calicata 1

TIEMPO MINUTOS	DEFORMACION
0	0
0.1	-0.0025
0.25	-0.005
0.75	-0.0075
1	-0.015
2	-0.0375
5	-0.0975
10	-0.1825
20	-0.2325
40	-0.295
80	-0.3625
160	-0.38
300	-0.3975
580	-0.415
1440	-0.443
2882	-0.447

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15

Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 9% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 1

TIEMPO MINUTOS	DEFORMACION
0.1	0.001
0.13	-0.0027
0.27	-0.006
0.77	-0.0077
1.12	-0.016
2.22	-0.0377
5.42	-0.0978
10.23	-0.1829
20.33	-0.2325

40.22	-0.297
80.41	-0.363
160.55	-0.385
300.74	-0.3981
580.63	-0.4157
1440.25	-0.4435
2882.33	-0.4472

Tabla 16

Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 12% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 1

TIEMPO MINUTOS	DEFORMACION
0.09	0.0000
0.15	-0.0029
0.28	-0.0065
0.78	-0.0082
1.15	-0.0167
2.24	-0.0382
5.43	-0.0984
10.26	-0.1833
20.37	-0.2327
40.25	-0.2974
80.42	-0.3633
160.57	-0.3854
300.79	-0.3986
580.66	-0.4159
1440.28	-0.4438
2882.35	-0.4474

Tabla 17

Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 15% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 1

TIEMPO MINUTOS	DEFORMACION
0.08	0.0000
0.16	-0.0031
0.29	-0.0067
0.81	-0.0085
1.18	-0.0169
2.27	-0.0383
5.49	-0.0987
10.28	-0.1835
20.39	-0.2329
40.27	-0.2977
80.45	-0.3635
160.58	-0.3856
300.81	-0.3988
580.69	-0.4161
1440.33	-0.4439
2882.37	-0.4477

Tabla 18*Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural – Calicata 2*

TIEMPO MINUTOS	DEFORMACION
0	0
0.21	-0.0026
0.26	-0.0052
0.76	-0.0076
1.21	-0.017
2.1	-0.0374
5.43	-0.0977
10.31	-0.1826
20.03	-0.2328
40.08	-0.297
80.02	-0.3624
160.03	-0.392
300.08	-0.3977
580.12	-0.418
1442.2	-0.444
2882.11	-0.449

Tabla 19*Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 9% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 2*

TIEMPO MINUTOS	DEFORMACION
0	0.0000
0.24	-0.0027
0.29	-0.0055
0.78	-0.0077
1.25	-0.0180
2.16	-0.0376
5.49	-0.0979
10.37	-0.1827
20.11	-0.2331
40.15	-0.2990
80.09	-0.3626
160.14	-0.3950
300.18	-0.3978
580.19	-0.4190
1442.28	-0.4470
2882.21	-0.4510

Tabla 20*Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 12% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 2*

TIEMPO MINUTOS	DEFORMACION
0.00	0.0000
0.26	-0.0029
0.31	-0.0057

0.81	-0.0081
1.27	-0.0200
2.18	-0.0382
5.51	-0.0980
10.40	-0.1832
20.15	-0.2335
40.17	-0.2997
80.12	-0.3635
160.16	-0.3957
300.20	-0.3982
580.23	-0.4221
1442.33	-0.4477
2882.26	-0.4516

Tabla 21

Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 15% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 2

TIEMPO MINUTOS	DEFORMACION
0.00	0.0000
0.28	-0.0031
0.35	-0.0062
0.84	-0.0085
1.29	-0.0270
2.21	-0.0385
5.56	-0.0988
10.44	-0.1837
20.17	-0.2338
40.19	-0.2999
80.15	-0.3637
160.18	-0.3961
300.25	-0.3987
580.26	-0.4225
1442.37	-0.4482
2882.29	-0.4520

Tabla 22

Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural – Calicata 3

TIEMPO MINUTOS	DEFORMACION
0.11	0
0.25	-0.0028
0.28	-0.0055
0.77	-0.0079
1.25	-0.019
2.14	-0.0377
5.46	-0.0979
10.37	-0.1828
20.08	-0.2331
40.11	-0.299
80.12	-0.3628
160.09	-0.395
300.13	-0.3981
580.15	-0.421

1442.24	-0.447
2882.18	-0.455

Tabla 23

Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 9% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 3

TIEMPO MINUTOS	DEFORMACION
0.12	0.0000
0.27	-0.0031
0.31	-0.0057
0.79	-0.0081
1.27	-0.0198
2.18	-0.0380
5.48	-0.0980
10.39	-0.1833
20.11	-0.2335
40.15	-0.2994
80.14	-0.3636
160.11	-0.3956
300.17	-0.3985
580.19	-0.4214
1442.27	-0.4478
2882.22	-0.4555

Tabla 24

Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 12% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 3

TIEMPO MINUTOS	DEFORMACION
0.18	0.0000
0.31	-0.0036
0.38	-0.0064
0.85	-0.0088
1.39	-0.0203
2.26	-0.0392
5.58	-0.0998
10.47	-0.1839
20.18	-0.2341
40.19	-0.2999
80.21	-0.3672
160.26	-0.3966
300.28	-0.3999
580.29	-0.4225
1442.37	-0.4488
2882.3	-0.4569

Tabla 25

Ensayo de Expansión libre para la muestra de suelo natural + 15% de ceniza de cascara de pajuro – Calicata 3

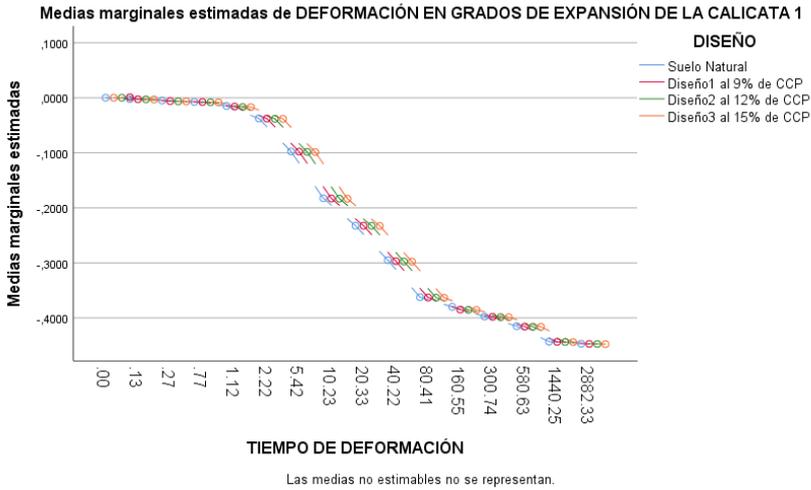
TIEMPO MINUTOS	DEFORMACION
0.14	0.0000

0.29	-0.0033
0.35	-0.0059
0.81	-0.0085
1.3	-0.0199
2.22	-0.0388
5.51	-0.0995
10.42	-0.1835
20.15	-0.2339
40.18	-0.2998
80.17	-0.3637
160.16	-0.3958
300.2	-0.3989
580.23	-0.4218
1442.3	-0.4479
2882.25	-0.4557

Ahora bien, en la gráfica de interacción veremos que diseño o diseños han tenido un mejor efecto significativamente en el tiempo con respecto al diseño natural.

Figura 15:

Medias marginales estimadas de deformación en grados de expansión de la calicata 1

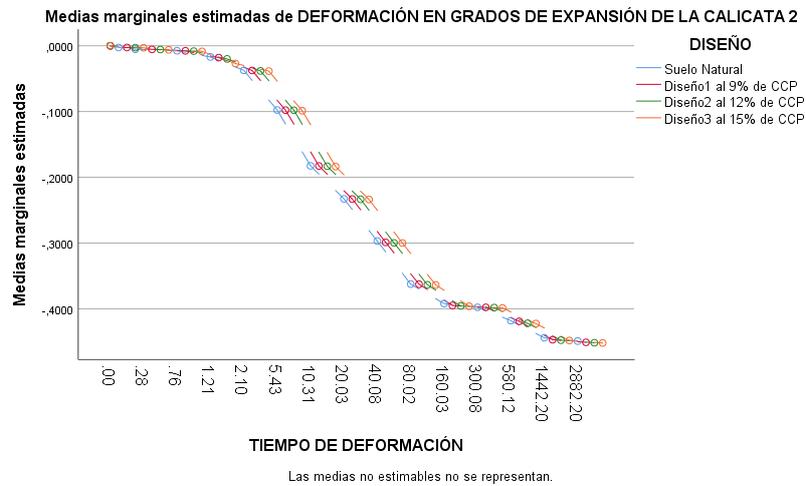


Podemos observar del gráfico de interactividad de los dos factores tratamientos y tiempo, que a medida que pasa el tiempo las deformaciones van disminuyendo, siendo la del diseño natural la que mayor grado de deformación tiene, debido a que gráfica está por debajo de los otros diseños, por lo que podemos concluir con un grado significativo del 5% que, la adición del 9%, 12% y 15% de cenizas de cáscara de pajuro en la calicata 1, mejora de manera significativa el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo luminosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Ahora bien, en la gráfica de interacción veremos que diseño o diseños han tenido un mejor efecto significativamente en el tiempo con respecto al diseño natural.

Figura 16:

Medias marginales estimadas de deformación en grados de expansión de la calicata 2

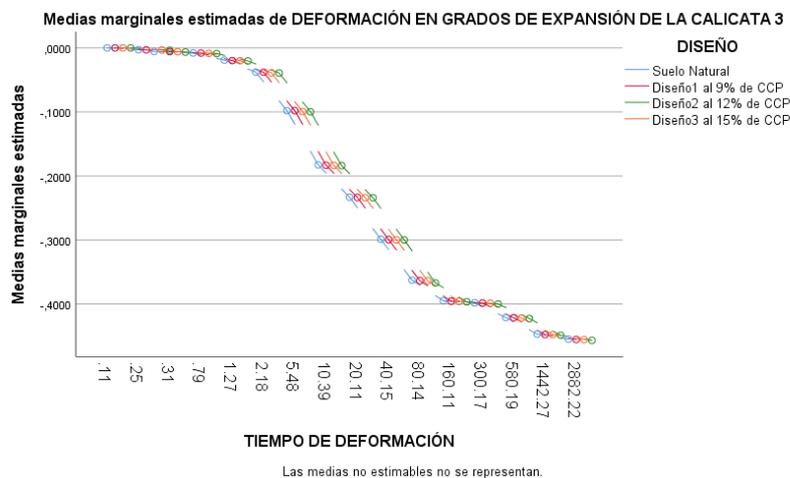


Podemos observar del gráfico de interactividad de los dos factores tratamientos y tiempo, que a medida que pasa el tiempo las deformaciones van disminuyendo, siendo la del diseño natural la que mayor grado de deformación tiene, debido a que gráfica está por debajo de los otros diseños, por lo que, podemos concluir con un grado significativo del 5% que, la adición del 9%, 12% y 15% de cenizas de cáscara de pajuro en la calicata 2, mejora de manera significativa el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo luminosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Ahora bien, en la gráfica de interacción veremos que diseño o diseños han tenido un mejor efecto significativamente en el tiempo con respecto al diseño natural.

Figura 17:

Medias marginales estimadas de deformación en grados de expansión de la calicata 3



Podemos observar del gráfico de interactividad de los dos factores tratamientos y tiempo, que a medida que pasa el tiempo las deformaciones van disminuyendo, siendo la del diseño natural la que mayor grado de deformación tiene, debido a que gráfica está por debajo de los otros diseños, por lo que, podemos concluir con un grado significativo del 5% que, la adición del 9%, 12% y 15% de cenizas de cáscara de pajuro en la calicata 3, mejora de manera significativa el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo luminosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancho, Cajamarca 2023.

Para el quinto objetivo

En las tablas siguientes se muestran los resultados obtenidos en el laboratorio de la densidad seca máxima para las calicatas 1, 2 y 3.

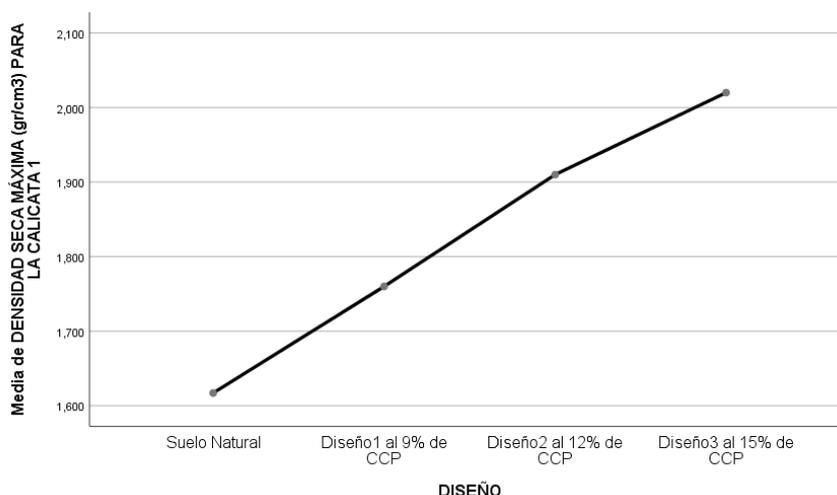
Tabla 26

Densidad Seca Máxima (gr/cm³)

Muestra	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3
Suelo estándar 1	1.715	1.626	1.659
Suelo estándar 2	1.519	1.665	1.673
Suelo estándar 3	1.617	1.587	1.645
Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 1	1.720	1.728	1.830
Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 2	1.800	1.722	1.870
Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 3	1.760	1.734	1.790
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 1	1.889	1.776	2.095
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 2	1.931	1.785	2.103
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 3	1.910	1.794	2.087
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 1	2.016	1.879	2.340
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 2	2.024	1.960	2.355
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 3	2.020	2.041	2.325

Figura 18:

Medias de Densidad Seca Máxima (gr/cm³) para la calicata 1

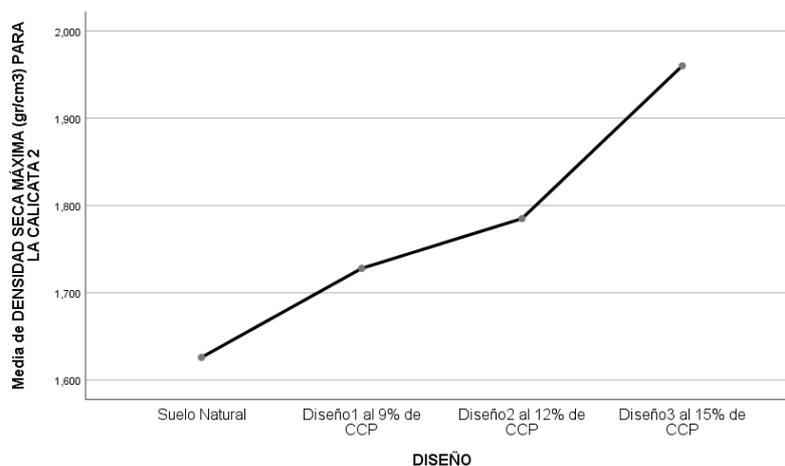


El gráfico de medias muestra que la DSM del diseño natural es menor que los tres diseños experimentales; la DSM del diseño al 15% de CCP tiene la mayor promedio.

La adición parcial del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa la densidad seca máxima de la calicata 1 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Figura 19:

Medias de Densidad Seca Máxima (gr/cm³) para la calicata 2



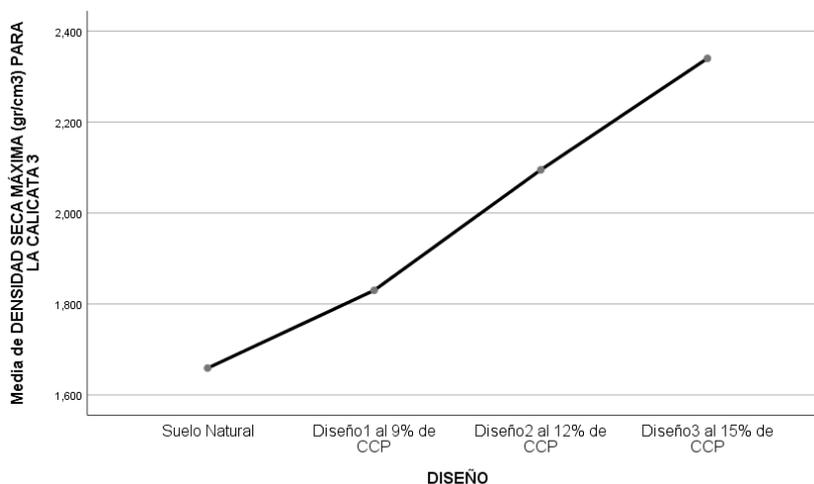
El gráfico de medias muestra que la DSM del diseño natural es menor que los tres diseños experimentales; la DSM del diseño al 15% de CCP tiene la mayor promedio.

La adición parcial del 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa la densidad seca máxima de la calicata 2 para la subrasante de suelos arcillo

limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancho, Cajamarca 2023, mientras que al añadir el 9% de CCP se mantiene estadísticamente igual al suelo natural.

Figura 20:

Medias de Densidad Seca Máxima (gr/cm³) para la calicata 3



Como se puede ver en el gráfico de medias, la DSM del diseño natural es menor que los tres diseños experimentales; la DSM del diseño al 15% de CCP tiene el mayor promedio.

La parcial adición del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa la densidad seca máxima de la calicata 3 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancho, Cajamarca 2023.

Análisis inferencial para el óptimo contenido de humedad de las calicatas 1 ,2 y 3:

En las siguientes tablas se muestra los resultados que se obtuvieron en el laboratorio del óptimo contenido de humedad para las calicatas 1, 2 y 3.

Tabla 27

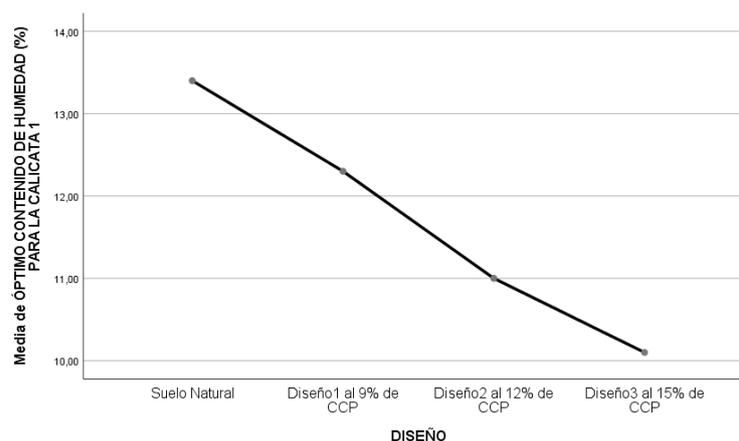
Optimo Contenido de Humedad

Muestra	Calicata 1	Calicata 2	Calicata 3
Suelo estándar 1	13.40%	14.50%	13.80%
Suelo estándar 2	13.40%	14.50%	13.80%
Suelo estándar 3	13.40%	14.50%	13.80%
Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 1	12.30%	12.20%	13.00%
Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 2	12.30%	12.20%	13.00%

Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 3	12.30%	12.20%	13.00%
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 1	11.00%	12.00%	10.90%
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 2	11.00%	12.00%	10.90%
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 3	11.00%	12.00%	10.90%
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 1	10.10%	11.10%	7.30%
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 2	10.10%	11.10%	7.30%
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 3	10.10%	11.10%	7.30%

Figura 21:

Media de Óptimo Contenido de Humedad (%) para la calicata 1

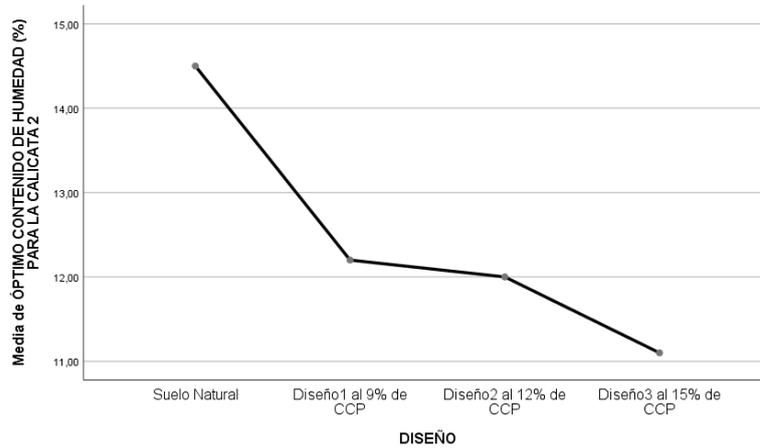


Como se puede ver en el gráfico de medias, el OCH del diseño al 15% de CCP es menor que el de los tres diseños experimentales; el diseño natural tiene el OCH promedio más alto.

La parcial adición del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, disminuye de manera significativa el Óptimo Contenido de Humedad de la calicata 1 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Figura 22:

Media de Óptimo Contenido de Humedad (%) para la calicata 2

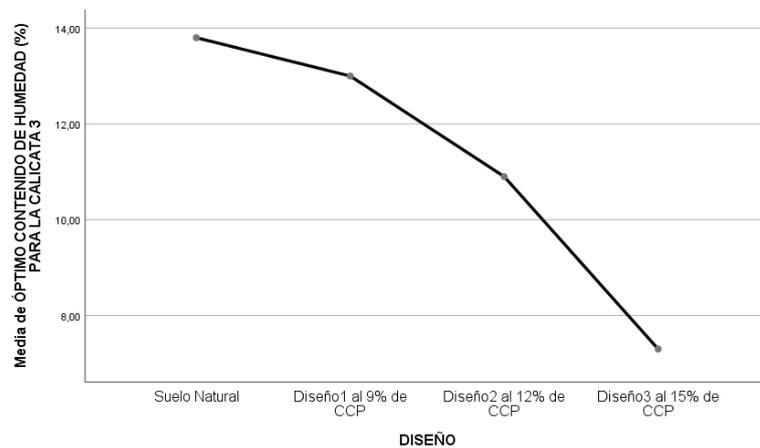


Como se puede ver en el gráfico de medias, el OCH del diseño al 15% de CCP es menor que el de los tres diseños experimentales; el diseño natural tiene el OCH promedio más alto.

La parcial adición del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, disminuye de manera significativa el Óptimo Contenido de Humedad de la calicata 2 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Figura 23:

Media de Óptimo Contenido de Humedad (%) para la calicata 3



Como se puede ver en el gráfico de medias, el OCH del diseño al 15% de CCP es menor que el de los tres diseños experimentales; el diseño natural tiene el OCH promedio más alto.

La parcial adición del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, disminuye de manera significativa el Óptimo Contenido de Humedad de la calicata 3 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Análisis inferencial para el %CBR de las calicatas 1, 2 y 3:

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos en el laboratorio del %CBR.

Tabla 28

CBR para la Calicata 1

Muestra	CBR
Suelo estándar 1	9.85%
Suelo estándar 2	10.55%
Suelo estándar 3	10.20%
Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 1	20.68%
Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 2	20.72%
Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 3	20.70%
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 1	27.61%
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 2	28.39%
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 3	28.00%
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 1	30.73%
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 2	31.27%
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 3	31.00%

Tabla 29

CBR para la Calicata 2

Muestra	CBR
Suelo estándar 1	15.00%
Suelo estándar 2	14.73%
Suelo estándar 3	15.27%
Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 1	18.40%
Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 2	17.67%
Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 3	19.13%
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 1	21.27%
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 2	22.00%
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 3	22.73%
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 1	30.23%
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 2	30.50%
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 3	30.77%

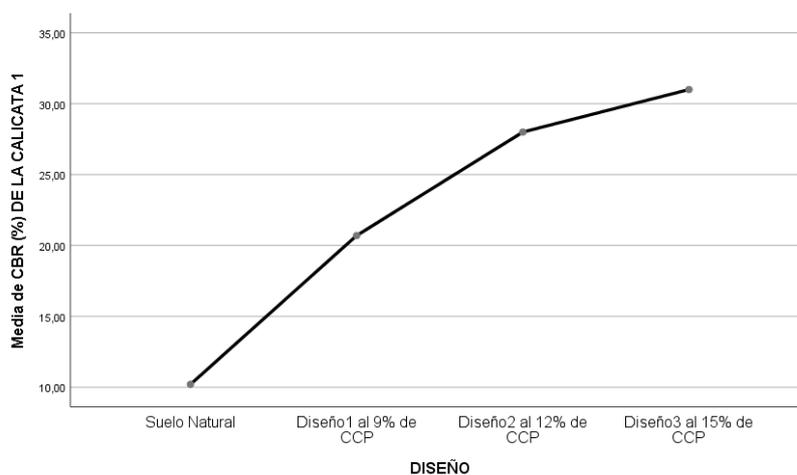
Tabla 30

CBR para la Calicata 3

Muestra	CBR
Suelo estándar 1	13.50%
Suelo estándar I 2	13.23%
Suelo estándar 3	13.77%
Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 1	16.00%
Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 2	15.27%
Suelo estándar + 9% de ceniza de cascara de pajuro 3	16.73%
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 1	19.50%
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 2	18.93%
Suelo estándar + 12% de ceniza de cascara de pajuro 3	20.07%
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 1	27.00%
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 2	26.73%
Suelo estándar + 15% de ceniza de cascara de pajuro 3	27.27%

Figura 24:

Media de CBR (%) de la calicata 1



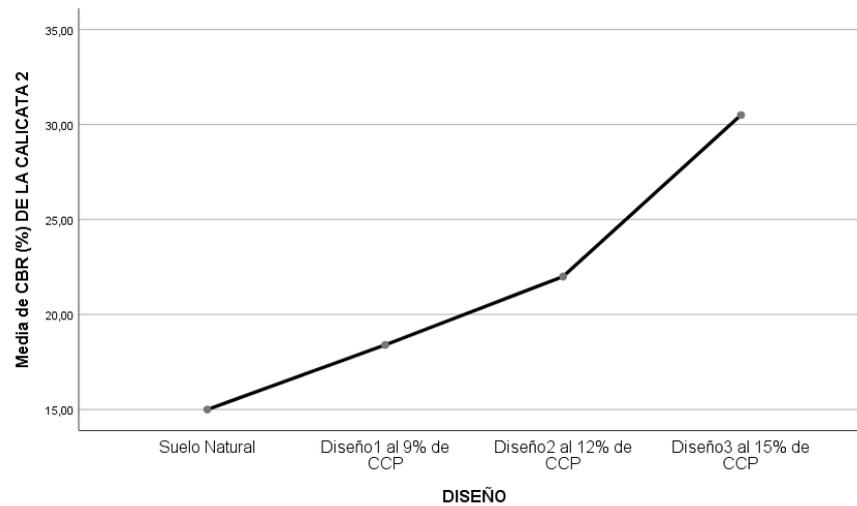
Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en el gráfico de medias, el porcentaje de CBR del diseño natural es menor que el de los tres diseños experimentales; el diseño con el 15% de CCP tiene el mayor promedio.

La parcial adición del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, aumentó de manera significativa el %CBR de la calicata 1 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Figura 25:

Media de CBR (%) de la calicata 2



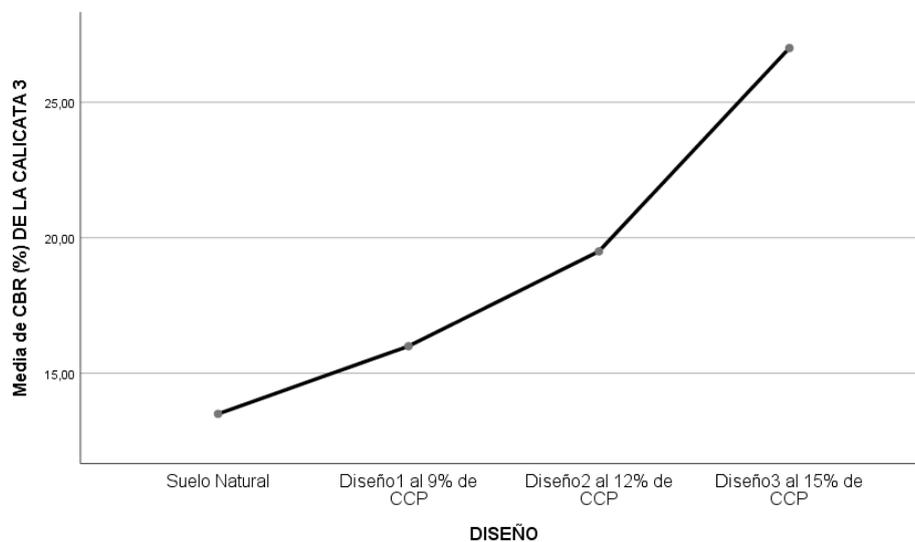
Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en el gráfico de medias, el porcentaje de CBR del diseño natural es menor que el de los tres diseños experimentales; el diseño con el 15% de CCP tiene el mayor promedio.

La parcial adición del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, aumentó de manera significativa el %CBR de la calicata 2 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Figura 26:

Media de CBR (%) de la calicata 3



Como se puede ver en el gráfico de medias, el porcentaje de CBR del diseño natural es menor que el de los tres diseños experimentales; el diseño con el 15% de CCP tiene el mayor promedio.

La parcial adición del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, aumentó de manera significativa el %CBR de la calicata 3 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Para el sexto objetivo:

Determinar la influencia de la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el costo – beneficio de la estabilización de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Para la realización de los ensayos del suelo arcillo limosos con/sin adición de ceniza de cáscara de pajuro se ha realizado un Análisis de Precios Unitarios (APU) según los costos averiguados por la zona (Carretera CA 893, tramo Chota)

Tabla 31

Análisis de Precios Unitario de la ceniza de cáscara de pajuro

Partida		CENIZA DE CÁSCARA DE PAJURO					
Rendimiento	kg/DIA	MO.	100	EQ.	100	Costo unitario directo: KG	S/ 1.17
Código	Descripción	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra						
104	Peón		HH	0.5	0.04	S/ 18.63	S/ 0.75
	S/ 0.75						
	Materiales						
201	Costal		UND		1	S/ 0.30	S/ 0.30
202	Cáscara de pajuro		GBL		1	S/ 0.00	S/ 0.00
	S/ 0.30						
	Equipos						
301	Herramienta Manual		%MO		3%	S/ 0.75	S/ 0.02
302	Incineración		HM	0.1	0.008	S/ 15.00	S/ 0.10
	S/ 0.12						

Se distribuye el presupuesto según el porcentaje de adición a la muestra una vez que se determina el costo de obtener la ceniza de cáscara de pajuro.

Tabla 32

Presupuesto de la adición de ceniza de tallo de pimiento

Descripción	UND	Metrado	A.P.U	Total (s/.)
-------------	-----	---------	-------	-------------

Suelo Natural + 9% de cenizas de cáscara de pajuro	Kg	0.43	S/. 1.17	S/. 0.50
Suelo Natural + 12% de cenizas de cáscara de pajuro	Kg	0.58	S/. 1.17	S/. 0.70
Suelo Natural + 15% de cenizas de cáscara de pajuro	Kg	0.72	S/. 1.17	S/. 0.80

Como muestra la tabla anterior el costo va a depender según el porcentaje de adición de la ceniza de cáscara de pajuro, el cual dicho costo esta solo valorizado en la adición de la ceniza a la muestra.

Diseño Patrón + 8% de ceniza tallo de pimiento tiene mejores propiedades físicas y mecánicas que el resto de las muestras, por lo que esta muestra está mejor calificada que el resto de las muestras, lo que compensa el costo adicional.

V. DISCUSIÓN

Como **limitación** esta investigación se menciona a la poca información con referente a la ceniza de cáscara de pajuro con referente a la mejora de las propiedades físico mecánicas de la subrasante de los suelos arcillo limosos, lo cual se realizan pre ensayos para determinar los porcentajes (%) de la adición.

Como **implicancias** de la presente investigación es brindar una nueva alternativa más el uso de materiales orgánicos en proceso de desechos para mejor de las propiedades físicos mecánicas de la subrasante de los suelos arcillo limosos, así como también aportar para las futuras investigaciones para este tipo de adición.

Para el **primero objetivo** tomamos como referencia la investigación de **Champi & García (2022)** que describe que la ceniza de cáscara de cacahuete y rastrojo de maíz han sido realizada desde la obtención del cacahuete y rastrojo de maíz, limpiado, secado y incinerado para la obtención de la ceniza, por otro lado, se llega a la conclusión que son distintos ya que la tesis de referencia utiliza como adición la ceniza de rastrojo de maíz y ceniza de cáscara de cacahuete y en nuestra tesis utilizamos la ceniza de cáscara de pajuro que se describe por medio de cuatro puntos que habla desde el mapeo de los lugares donde se pueden encontrar el pajuro para luego ser limpiado, desinfectado y secado para ser incinerado por un periodo de 24 a 36 horas con una temperatura mayor de 500 grados Celsius para ser molido y tamizado.

Para el **segundo objetivo** tomamos como referencia la investigación de **Champi & García (2022)** que describe que las composiciones químicas de la ceniza de cáscara de cacahuete y ceniza de rastrojo de maíz, El óxido de manganeso (MnO), el trióxido de azufre (SO₃) y el óxido de calcio (CaO) se encontraron utilizando la técnica de fluorescencia de rayos X, por otro lado, se llega a la conclusión que son distintos ya que la tesis de referencia utiliza como adición la ceniza de rastrojo de maíz y ceniza de cáscara de cacahuete y en nuestra tesis utilizamos la ceniza de cáscara de pajuro que es llevado con temperatura de 20.5°C, humedad relativa de 40.30% para ser ensayado por composición química de óxidos aplicando el método de FLUORESCENCIA DE RAYOS X a una temperatura de 518° centígrados de calcinación el cual se obtuvieron entre los resultados más relevantes de dióxido de silicio (SiO₂) a 61.28%, óxido de manganeso (MnO) a 15.10% y óxido de calcio (CaO) de 14.55%.

Para el **tercer objetivo** tomamos como referencia la investigación de **Naguse (2023)** que en su revista menciona que corresponde a una metodología cuasi-experimental, utilizaron suelo arcilloso de alta plasticidad con límite líquido (LL) 96.88%, índice de plasticidad (PI)

39.75% y CBR de 1.7%, obtuvieron como resultado que a mayor la cantidad de ceniza de Enset aumenta de 0 a 10%, la LL del suelo disminuye en un 14% lo cual la ceniza de Enset estabilizó el suelo que cumple con el requisito mínimo de la especificación manual de pavimento de la Autoridad de Carreteras de Etiopía para su uso como material de subrasante en obras viales, por otro lado, se llega a la conclusión que son distintos ya que la tesis de referencia utiliza como adición la ceniza Enset y en nuestra tesis utilizamos la ceniza de cáscara de pajuro se menciona en esta tesis que el límite líquido del diseño al 15% de CCP es menor que los demás diseños, siendo la muestra del diseño al 12% de CCP con mayor promedio. Esto nos dice que la adición parcial al 12% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa el límite líquido de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023, mientras que al añadir el 9% de CCP esta se mantiene estadísticamente igual al suelo natural, sin embargo, al añadir el 15% de CCP disminuye de manera significativa.

Para el **cuarto objetivo** tomamos como referencia la investigación de **Álvarez & Fuentes (2022)** menciona que al usar 0%, 10%, 12%, 15%, 17% y 20% ceniza de cáscara de café (CCC) para mejorar el CBR del suelo arcilloso en Jaén. Su metodología fue de tipo aplicada con diseño cuasiexperimental en la cual la población y muestra fue 5.08 km de la carretera del CP Yanuyacu Bajo – Señor Cautivo, obtuvo como resultado que al transcurso del tiempo la deformación va disminuyendo al adicional la ceniza de cáscara de café en comparación al suelo natural, por otro lado, se llega a la conclusión que son distintos ya que la tesis de referencia utiliza como adición la ceniza de cáscara de café y en nuestra tesis utilizamos la ceniza de cáscara de pajuro el cual menciona que la interactividad de los dos factores tratamientos y tiempo, podemos observar que a medida que pasa el tiempo las deformaciones van disminuyendo, siendo la del diseño natural la que mayor grado de deformación tiene, debido a que gráfica está por debajo de los otros diseños, por lo que, podemos concluir con un grado significativo del 5% que, la adición del 9%, 12% y 15% de cenizas de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo luminosos en la carretera CA 893, tramo Chota.

Para el **quinto objetivo** tomamos como referencia la investigación de **Vilca (2022)** quien tuvo como diseño cuasi-experimental y la muestra fue un tramo (2.5 km) de la carretera Qosqo en la carretera Inti Raymi, desde la tercera estación de buses de San Sebastián hasta el distrito de Quillahuata, obtuvo como resultado para el suelo arcilloso, con 0%, 15% y 30% CMF, CBR de 4.97%, 11.65% y 4.50% al 100% MDS, por lo que concluyó que, utilizando hasta 15% de ceniza de semilla de girasol con OCH de 6.33% y MDS de 1.59 kg/m³, el CBR del suelo incrementa en 6.68% más, respecto al suelo natural, por otro lado,

se llega a la conclusión que son distintos ya que la tesis de referencia utiliza como adición la ceniza de cáscara de girasol y en nuestra tesis utilizamos la ceniza de cáscara de pajuro mencionando que el %CBR y la Densidad Seca Máxima del diseño natural es menor que los tres diseños experimentales, siendo la del diseño al 15% de CCP la que mayor promedio tiene, mientras que el Óptimo Contenido de Humedad del diseño natural es mayor que los tres diseños, esto quiere decir que la adición parcial del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, aumentó de manera significativa para el %CBR y Densidad Seca Máxima de la calicata 1, 2 y 3, para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota, entre los resultados más relevantes es de la adición del 15% de CCP llega a un DSM a 2.020 gr/cm², CBR de 31% para la calicata 1, DSM a 1.960 gr/cm², CBR de 30.50% para la calicata 2, DSM a 2.340 gr/cm², CBR de 27% para la calicata 3.

Para el **sexto objetivo** tomamos como referencia a **Aldoradin (2022)** su tesis trato de evaluar el impacto de la ceniza de cáscara de huevo (CCH) en la superficie de la carretera de la calle Santa Rosa en Ica. La metodología de su estudio fue de tipo aplicada, cuyo diseño fue cuasiexperimental, en el cual, la muestra fue 285 m de subrasante de la Av. Santa Rosa, con lo que, llegó al resultado de que, cuando se incorpora 12% CCH el IP se reduce hasta 16%, pero el CBR aumenta hasta 7.40%, respecto al suelo natural con solo 5.60%, con un incremento de 0.90 soles con respecto a la muestra patrón, por otro lado, se llega a la conclusión que son distintos ya que la tesis de referencia utiliza como adición la ceniza cáscara de huevo y en nuestra tesis utilizamos la ceniza de cáscara de pajuro menciona que es de tipo aplicada de diseño cuasiexperimental con una población de 9.00 km de la carretera CA893, tramo Chota el cual se concluye que con la adición de ceniza de cáscara de pajuro mejora la resistencia física y mecánica de los suelos arcillo limosa lo cual tuvo un costo adicional de 0.50, 0.70 y 0.80 según su adición de 9%, 12% y 15% respectivamente.

VI. CONCLUSIONES

Se concluye para el **objetivo general** que al adicionar la ceniza de cáscara de pajuro en los suelos arcillo limosos de la carretera CA 893, tramo Chota mejora las propiedades físicas y mecánicas tanto para los 9%, 12 y 15% teniendo mejores resultados de todos para el suelo natural con adición del 15% de ceniza de cáscara de pajuro.

Para el **primer objetivo** se concluye que por medio de cuatro puntos que habla desde el mapeo de los lugares donde se pueden encontrar el pajuro para luego ser limpiado, desinfectado y secado para ser incinerado por un periodo de 24 a 36 horas con una temperatura mayor de 500 grados Celsius para ser molido y tamizado.

Para el segundo objetivo, se encontró que el análisis de la composición química de los óxidos utilizando el método de fluorescencia de rayos X a una temperatura de 518 grados centígrados de calcinación resultó en los siguientes resultados: dióxido de silicio (SiO₂) a 61.28%, óxido de manganeso (MnO) a 15.10% y óxido de calcio (CaO) a 14.55%.

Para el **tercer objetivo** se concluye que la adición parcial al 12% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa el límite de consistencia de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023, mientras que al añadir el 9% de CCP esta se mantiene estadísticamente igual al suelo natural, sin embargo, al añadir el 15% de CCP disminuye de manera significativa.

Para el **cuarto objetivo** se concluye que a medida que pasa el tiempo las deformaciones van disminuyendo, siendo la del diseño natural la que mayor grado de deformación tiene, debido a que gráfica está por debajo de los demás diseños, por tanto, podemos concluir con un nivel de significancia del 5% que, la adición del 9%, 12% y 15% de cenizas de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota.

Para el **quinto objetivo** se concluye que la adición parcial del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, aumentó de manera significativa para el %CBR y Densidad Seca Máxima de la calicata 1, 2 y 3, para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota, entre los resultados más relevantes es de la adición del 15% de CCP llega a un DSM a 2.020 gr/cm², CBR de 31% para la calicata 1, DSM a 1.960 gr/cm², CBR de 30.50% para la calicata 2, DSM a 2.340 gr/cm², CBR de 27% para la calicata 3.

Para el **sexto objetivo** se concluye que la adición de ceniza de cáscara de pajuro mejora la resistencia física y mecánica de los suelos arcillo limosa lo cual tuvo un costo adicional de 0.50, 0.70 y 0.80 según su adición de 9%, 12% y 15% respectivamente.

VII. RECOMENDACIONES

Para la realización de los ensayos se recomienda tener un persona especializado en ensayos de laboratorio para evitar resultados erróneos y pérdida de tiempo

Se recomienda utilizar en todo momento los equipos de protección individual (EPPs) para evitar daños en las extremidades del cuerpo, especialmente al realizar los ensayos de laboratorio

Se recomienda tener conocimientos avanzados sobre la NTP, ASTM, MTC Y AASHTO con referente a los ensayos de Suelos para tener una idea de que es lo que se está realizando en esta tesis.

Se recomienda realizar un mapeo del lugar para agilizar los trabajos tanto en encontrar los defectos de la carretera como encontrar la adición que se va a utilizar.

REFERENCIAS

- Aldoradin, Carolina Antonia. *Incorporación de ceniza de cáscara de huevo para el mejoramiento de la subrasante en la Av. Santa Rosa - Chíncha - Ica*, 2022. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo], 2022.
- Alvarez, Cinthya Marleht, y Lucas Javier Fuentes. *Ceniza de cáscara de café para mejora de la resistencia en subrasante con suelos arcillosos, Jaén*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo], 2022.
- Arias, Fidias. *El proyecto de investigación, introducción a la metodología científica*. 6. Caracas: Editorial Episteme C.A., 2012.
- Asif , M Z, M R Islam, Mohammed Russedul Islam, M I Hossain , y M S Azam. «Stabilization of Subgrade Soil by Combination of Incineration Ash and Coal Based Fly Ash along with Alkali Activators.» *International Conference on Transportation and Development 2022* 1, nº 3 (2022): 107-118.
- Bañon , L, y J Bevía. *Manual de carreteras*. Ortiz e Hijos, contratista de obras S.A., 2000.
- Botía, W A. *Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo*. Universidd Militar Nueva Granada, 2015.
- Braja, M Das. *Fundamentos de ingeniería Geotécnica*. Thomson editores, 2001.
- Buneviciene, K, D Drapanauskaite, R Mazeika, V Tilvikiene, y J Baltrusaitis. «Granulated biofuel ash as a sustainable source of plant nutrients.» *aste Management & Research* 39, nº 6 (2021): 806-817.
- Carević, I, M Serdar, N Štirmer, y N Ukrainczyk. «Preliminary screening of wood biomass ashes for partial resources replacements in cementitious materials.» *Journal of Cleaner Production* 229, nº 1 (2019): 1045-1064.
- Carrasco, Sergio. *Metodología de la Investigación Científica*. Lima: Editorial San Marcos, 2006.
- Cauas, Daniel. «Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación.» *biblioteca electrónica de la universidad Nacional de Colombia* 2, nº 1 (2015): 1-11.
- Champi, Kleider Giosmar, y Jonathan Garcia. *Estabilización de subrasante con adición de ceniza de tusa de maíz y cáscara de maní en la carretera IC-1110171, Ica-2022*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo], 2022.
- Crespo, C. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 5ª ed. Limusa, 2012.
- Dávila Vásquez, Carlos Vicente. *Análisis experimental de los suelos volcánicos con adiciones de cal y cemento con fines de evaluar su comportamiento geotécnico para la región de Moquegua del distrito de Omate*. Lima : Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2018.
- Delgado-Soriano, Víctor, Paola Cortés-Avenidaño, Américo Guevara-Pérez, y Carlos Vílchez-Perales. «Características físico-químicas de las semillas de

- pajuro (*Erythrina edulis* Triana) y propiedades funcionales después de la extrusión.» *Revista de Investigaciones Altoandinas* 22, n° 3 (2020): 1-5.
- Díaz Chacón, Greisi Meliza. *MEJORAMIENTO DEL CBR DE UN SUELO ARCILLOSO*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte, 2018.
- Dolinar, B, M Mišič, y L Trauner. «Correlation between surface area and Atterberg limits of fine-grained soils.» *Clays and Clay Minerals* 55, n° 5 (2007): 519-523.
- Escobar, A. *Efecto del uso de ceniza volante en el proceso de agrietamiento del concreto por corrosión del acero de refuerzo*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma de Nuevo León], 2012.
- Ewa, D E, E A Egbe, J O Ukpata, y A Etika. «Sustainable subgrade improvement using limestone dust and sugarcane bagasse ash.» *Sustainable Technology and Entrepreneurship* 2, n° 1 (2023): 1-8.
- Fernández, Roberth, y Thalía Nancy del Rocío Ticlla-Ríos. «Análisis de la condición de transitabilidad y nivel de intervención de las carreteras del distrito de Chota.» *Revista Ciencia Nor@ndina* 3, n° 1 (2020): 24-29.
- Gallardo Amaya, R J, J Coronel Rojas, y N J Cely Calixto. «Residue from coal combustion for plastic soil improvement.» *Journal of Physics: Conference Series* 2163, n° 1 (2022): 1-5.
- Giraldo, Camilo, Diana Vidal, Carolina Martinez, Janneth Torres, y Luis Gonzales. «Ceniza de bagazo de caña como aditivo al cemento Portland para la fabricación de elementos de construcción.» *Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira*, 2012: 77.
- Gongora, C K. *Influencia de la cal y el cemento portland tipo I en la subrasante de la trocha del distrito de Chillia, provincia de Patas – 2019*. [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte], 2019.
- Goñas, O, y J H Saldaña. «Estabilización de suelos con cenizas de carbón para uso como subrasante mejorada.» *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería* 3, n° 1 (2020): 30-35.
- Gou, Junfang, Gang Wang, Haneen M Al-Tamimi, Tamim Alkkalifah, Fahad Alturise, y H Elhosiny Ali. «Application of aluminum oxide nanoparticles in asphalt cement toward non-polluted green environment using linear regression.» *Chemosphere* 1, n° 1 (2023): 1-10.
- Heidari, M J, A Najafi, y S Alavi. «Pavement deterioration modeling for forest roads based on logistic regression and artificial neural networks.» *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering* 39, n° 2 (2018): 271-287.
- Henderson, M W. *Effects of Subgrade-Compaction Moisture Content on Performance of Asphalt Roads in Minnesota*. [Undergraduate Research, Universidad de Minnesota Duluth], 2020.

- Hernández, Roberto, Carlos Fernández, y Pilar Baptista. *Metodología de la Investigación*. 6. México D.F.: McGRAW-HILL, 2014.
- Ibrahim, N A, A S Rashid, N Z Yumus, N Latifi, y S Horpibulsuk. «Sustainable use of stabilized flood mud as subgrade soil for low volume traffic roads.» *Scientia Iranica* 27, nº 6 (2020): 2719-2726.
- Ilori, A O, y A A Anusa. «Geotechnical Characterization of the Subgrade on Some Rural Roads in Cross River State, Nigeria and the Influence of Geology.» *Journal of engineering research and reports* 1, nº 1 (2020): 27-39.
- Indiramma, P, C Sudharani, y S Needhidasan. «Utilization of fly ash and lime to stabilize the expansive soil and to sustain pollution free environment—An experimental study.» *Materials Today: Proceedings* 1, nº 22 (2020): 694-700.
- Instituto Nacional de Calidad. *NTP 339.127. Suelos. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad*. 1ª ed. INACAL, 2019.
- Instituto Nacional de Calidad. *NTP 339.128. Suelos. Método de ensayo para el análisis granulométrico*. 1ª ed. INACAL, 2019.
- Instituto Nacional de Calidad. *NTP 339.129. Suelos. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos*. 1ª ed. INACAL, 2019.
- Instituto Nacional de Calidad. *NTP 339.141. Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m³ (56 000 pie-lbf/pie³))*. 1ª ed. INACAL, 2019.
- Instituto Nacional de Calidad. *NTP 339.145. Suelos. Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio*. 1ª ed. INACAL, 2019.
- Iquira, Marcos Romero. *Estabilidad de suelos arcillosos con cenizas cisco de café para el mejoramiento de subrasante*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión], 2022.
- Ishibashi, I, y H Hazarika. *Soil mechanics fundamentals*. CRC Press, 2015.
- Keller, G, y J Sherar. *Low-volume roads engineering: Best management practices field guide*. Virginia Tech, 2003.
- Laica, J G. *Influencia de la inclusión de polímero reciclado (caucho) en las propiedades mecánicas de una sub base*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín], 2016.
- Llique, R H. *Manual de laboratorio de mecánica de suelos, 1a ed.* Editorial Universitaria de la UNC, 2003.
- Marinho, F A. «Nature of soil–water characteristic curve for plastic soils.» *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 131, nº 5 (2005): 654-661.
- Melese, D T. «Utilization of Waste Incineration Bottom Ash to Enhance Engineering Properties of Expansive Subgrade Soils.» *Advances in Civil Engineering* 2022, nº 1 (2022): 1-11.

- Montejo, A, A Montejo, y A Montejo . *Estabilización de suelos, 1a ed.* Ediciones de la U, 2018.
- MPCH. *Plan de desarrollo urbano PDU Chota 2017 – 2027.* Municipalidad Provincial de Chota, 2018.
- MTC. *Estadísticas* . 2018. <https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/transportes.html>.
- MTC. *Manual de carreteras: Suelos, geología, geotecnia y pavimentos; sección suelos y carreteras.* Ministerio de Transportes y Comunicaciones , 2014.
- Neguse, D, E Assefa, y S M Assefa. «Study on the Performance of Expansive Subgrade Soil Stabilized with Enset Ash.» *Advances in Civil Engineering* 2023, n° 1 (2023): 1-12.
- Pandian, N S. «Fly ash characterization with reference to geotechnical applications.» *Journal of the Indian Institute of Science* 84, n° 6 (2004): 189-195.
- Pojić, M, S Kravić, Z Stojanović, L M Nollet, y F Toldra. «Analytical Methods for Determination of Moisture and Ash in Foodstuffs.» *Handbook of Food Analysis* 1, n° 1 (2015): 275-296.
- Ran, W, S Wang, X Shen, Y Wang, y Y Li. «Mechanical properties of the semi-rigid subgrade of roads for the replacement cement with pyrolysis residues of oil sludge.» *Construction and Building Materials* 1, n° 367 (2023): 1-10.
- Sadiq, M B, S H Shah, A Khan, y A Ahmed. «Assessment Subgrade Soils through California Bearing Ratio (CBR) on Gilgit-Skardu Road (Pakistan): Techniques for Improvement of Subgrade Soil Properties.» *i-Manager's Journal on Civil Engineering* 10, n° 2 (2020): 1-10.
- Sahay, D K, y S Bansal. «Use of Fly Ash—A Resourceful Byproduct in Road Embankment: A Review.» *Advances in Construction Materials and Sustainable Environment: Select Proceedings of ICCME 2020* 196, n° 1 (2022): 539-5550.
- Shafiq, P, M Hashemi, B H Nam, y S Koting. «Optimum moisture content in roller-compacted concrete pavement.» *International Journal of Pavement Engineering* 21, n° 14 (2020): 1769-1779.
- Silvestre, J M. *Análisis Comparativo de los efectos del Agua de Mar y de Cal en la Estabilización de Suelos Arcillosos en Calles que conforman el Barrio 2 de Noviembre de la Comuna Engabao perteneciente al Cantón Playas Provincia del Guayas.* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil], 2018.
- Tingal, Karen Liseth. *Influencia de los diferentes valores de PH y la concentración de proteína en la determinación de las propiedades tecnofuncionales de la harina de pajuro (Erythrina edulis).* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca], 2019.
- Trivedi, A, y V K Sud. «Grain characteristics and engineering properties of coal ash.» *Granular Matter* 4, n° 1 (2002): 93-101.

Vilca, Alejandro. *Aplicación de ceniza de cascara de semilla de girasol en la subrasante de la carretera vía Altoqosqo, Cusco, 2022*. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo], 2022.

Webster, S L, R H Grau, y T P Williams. *Description and application of dual mass dynamic cone penetrometer*. Geotechnical Laboratory (U.S.), 1992.

Zapata, Rodrigo. *Geología y Geotecnia*. Universidad Nacional de Rosario, 2018.

ANEXOS

Anexo 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: “Efecto de la influencia de la adición de ceniza de cáscara de pajuro en las propiedades físico mecánicas de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023”

AUTOR(A): Laura Idrogo Rodrigo

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	UND	INSTRUMENTOS
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general					
¿De qué manera influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en las propiedades físico mecánicas de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023?	Determinar el efecto de la influencia de la adición de ceniza de cáscara de pajuro en las propiedades físico mecánicas de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.	Al adicionar ceniza de cáscara de pajuro influye de manera positiva en las propiedades físico mecánicas de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.			0% CCP	%	
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas					
PE1: ¿Cómo se obtiene la ceniza de la cáscara de pajuro en el distrito de Chota 2023?	OE1: Obtener la ceniza de la cáscara de pajuro en el distrito de Chota 2023.	HE1: La ceniza de la cáscara de pajuro en el distrito de Chota 2023 se obtiene de la cocción de residuo orgánico a 800 °C de calcinación.	INDEPENDIENTE: Ceniza de cáscara de pajuro	Dosificación	9% CCP	%	Ficha de recolección de datos de la balanza digital de medición.
PE2: ¿Cuáles son las propiedades químicas de la ceniza de la cáscara de pajuro obtenida en el distrito de Chota 2023?	OE2: Determinar las propiedades químicas de la ceniza de la cáscara de pajuro obtenida en el distrito de Chota 2023.	HE2: Las propiedades químicas de la ceniza de la cáscara de pajuro obtenida en el distrito de Chota 2023 están dentro de la clasificación F para cenizas.			12% CCP	%	
PE3: ¿Cómo influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en los límites de consistencia de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023?	OE3: Determinar cómo influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en los límites de consistencia de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.	HE3: La adición de ceniza de cáscara de pajuro influye positivamente en los límites de consistencia de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.			15% CCP	%	
PE4: ¿Cómo influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023?	OE4: Determinar cómo influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.	HE4: La adición de ceniza de cáscara de pajuro en las influye positivamente en el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.			Granulometría	%	Ficha de recolección de datos del ensayo de granulometría
PE6: ¿Cómo influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el CBR, densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023?	OE6: Determinar cómo influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el CBR, densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.	HE6: La adición de ceniza de cáscara de pajuro en las influye positivamente en el CBR, densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.	DEPENDIENTE Propiedades físico mecánicas de la subrasante	Propiedades físicas y mecánicas	Límites de consistencia	%	Ficha de recolección de datos del ensayo de límites de consistencia
PE7: ¿Cómo influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el costo – beneficio de la estabilización de la subrasante para suelos	OE7: Determinar cómo influye la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el costo – beneficio de la estabilización de la subrasante para suelos arcillo	HE7: La adición de ceniza de cáscara de pajuro influye positivamente en el			Óptimo contenido de humedad	%	Ficha de recolección de datos del ensayo de Proctor modificado
					Máxima densidad seca	g/cm3	
					Capacidad de soporte (CBR)	%	Ficha de recolección de datos del ensayo de capacidad de soporte

arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancho, Cajamarca 2023?

limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancho, Cajamarca 2023.

costo – beneficio de la estabilización de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancho, Cajamarca 2023.

Anexo 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TITULO: “Efecto de la influencia de la adición de ceniza de cáscara de pajuro en las propiedades físico mecánicas de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023”

AUTOR(A): Laura Idrogo Rodrigo

VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	METODOLOGÍA
V1: INDEPENDIENTE Ceniza de cáscara de pajuro	La CCP son residuos obtenidos por la quema del mismo. (Carrasco 2006)	Después de determinada la dosificación para el residuo de ceniza de cáscara de pajuro se adicionará en porcentaje del peso del suelo seco.	Dosificación	0% CCP 9% CCP 12% CCP 15% CCP	Razón	Tipo de Investigación: Aplicada. Nivel de Investigación: Descriptivo. Diseño de Investigación: Cuasi – Experimental. Enfoque: Cuantitativo.
V2: DEPENDIENTE Propiedades físico mecánicas de la subrasante	Las características físico mecánicas de la subrasante determina su clasificación, caracterización plástica y capacidad de soporte (Goñas y Saldaña 2020).	Las características mecánicas y físicas del suelo de la subrasante se verán reflejados en: límites de consistencia, fluidez y plasticidad del suelo, CBR capacidad de soporte del suelo (Goñas y Saldaña 2020).	Propiedades físicas y Mecánicas	Granulometría Límites de consistencia Óptimo contenido de humedad Máxima densidad seca Capacidad de soporte (CBR)	Razón	Población: Está conformada por los 9.00 km de la carretera CA893, tramo Chota – Cabracancha. Muestra: 3.00 km de la carretera CA893, tramo Chota – Cabracancha. Muestreo: No probabilístico. Tres calicatas de la carretera CA893, tramo Chota – Cabracancha. Unidad de análisis: Calicata Técnica: Observación directa Instrumento de recolección de datos: - Fichas de recolección de datos - Equipos y herramientas de laboratorio. - Software de análisis de datos. (Excel, SPSS v26)

ANEXO 3: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS

Para el tercer objetivo

Determinar la influencia de la adición de ceniza de cáscara de pajuro en los límites de consistencia de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023

Hipótesis específica 3

Hipótesis Nula (Ho): Los suelos arcillo limosos con adición al 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, no mejora los límites de consistencia de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

$$\mu_{LC1} = \mu_{LC2} = \mu_{LC3}$$

Hipótesis Alterna (Ha): Los suelos arcillo limosos con adición al 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora los límites de consistencia de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Existe al menos un $i / \mu_{LCi} \neq \mu_{LC_natural}$

$i=1, 2, 3$

Donde μ_{LC} , es la media de los límites de consistencia.

Estadístico de Prueba

Dado que la variable respuesta Límite de Consistencia es cuantitativa y existe una variable independiente llamado factor con tres niveles de tipo categórica ordinal que representa el tipo de diseño (niveles de dosis) y lo que se quiere probar es sí existe un efecto significativo del factor sobre la variable respuesta, entonces estamos frente a un diseño de análisis de varianza de un factor ANOVA, por consiguiente para probar las hipótesis se utilizará el análisis de varianza ANOVA de un factor y la prueba de rango post hoc de Tukey para comparar cuál de los diseños es la que mejor efecto tiene en comparación con el diseño natural.

Requisitos para el ANOVA

Probar los supuestos de Normalidad mediante la Prueba de Chapiro Wilk y de Homocedasticidad u homogeneidad (igualdad de varianzas) mediante la Prueba de Levene.

Los resultados de los supuestos y de las pruebas de hipótesis se realizaron en el programa estadístico SPSS v.25.

En caso no se cumpla el supuesto de normalidad, se aplicará la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

En caso no se pruebe la igualdad de varianzas se aplicaba la prueba T3 de Dunnett en vez de la prueba de rango post hoc de Tukey.

Consideraciones de las pruebas:

Regla de Decisión

Para todas las pruebas se asumirá un valor de significancia de 0.05 (confianza al 95%) y se aceptará la hipótesis nula si el valor de significancia de la prueba es mayor al valor de significancia asumido.

Si: sig p de la prueba > 0.05 → aceptamos Ho

Caso contrario se aceptará la hipótesis alterna Ha

Prueba del supuesto de Normalidad para los Límites de Consistencia (Límite Líquido y Límite Plástico):

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: los datos provienen de una distribución normal

Ha: los datos no provienen de una distribución normal

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	DISEÑO	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
LÍMITE LÍQUIDO (%) PARA LA CALICATA 1	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
LÍMITE PLÁSTICO (%) PARA LA CALICATA 1	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
LÍMITE PLÁSTICO (%) PARA LA CALICATA 1	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000

LÍMITE LÍQUIDO (%) PARA LA CALICATA 2	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
LÍMITE PLÁSTICO (%) PARA LA CALICATA 2	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
LÍMITE LÍQUIDO (%) PARA LA CALICATA 3	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
LÍMITE PLÁSTICO (%) PARA LA CALICATA 3	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Según los resultados de la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk, los valores de significancia (sig) para todos los diseños y para cada calicata son mayores a 0.05, por lo tanto, según la regla de decisión no rechazamos la hipótesis nula y concluimos que todos los datos para cada diseño y para cada calicata siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para los Límites de Consistencia (Límite Líquido y Límite Plástico):

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: Si existen igualdad de varianzas entre los grupos

Ha: No existen igualdad de varianzas entre los grupos

		Prueba de homogeneidad de varianzas			
		Levene	gl1	gl2	Sig.
LÍMITE LÍQUIDO (%) PARA LA CALICATA 1	Se basa en la media	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,000	3	8,000	1,000
	Se basa en la media recortada	,000	3	8	1,000
LÍMITE PLÁSTICO (%) PARA LA CALICATA 1	Se basa en la media	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,000	3	8,000	1,000
	Se basa en la media recortada	,000	3	8	1,000
LÍMITE LÍQUIDO (%) PARA LA CALICATA 2	Se basa en la media	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,000	3	8,000	1,000
	Se basa en la media recortada	,000	3	8	1,000
LÍMITE PLÁSTICO (%) PARA LA CALICATA 2	Se basa en la media	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,000	3	8,000	1,000
	Se basa en la media recortada	,000	3	8	1,000
LÍMITE LÍQUIDO (%) PARA LA CALICATA 3	Se basa en la media	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,000	3	8,000	1,000
	Se basa en la media recortada	,000	3	8	1,000
LÍMITE PLÁSTICO (%) PARA LA CALICATA 3	Se basa en la media	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,000	3	8,000	1,000
	Se basa en la media recortada	,000	3	8	1,000

Según los resultados de la prueba de Homogeneidad de varianzas de Levene, que se basa en la media indica que los valores de significancia (sig) de 1.000 son mayores a 0.05 por

lo tanto, según la regla de decisión, no rechazamos la hipótesis nula y concluimos con un nivel de significancia del 5% que si existe igualdad de varianzas entre los diseños para cada calicata.

Ahora una vez probado la normalidad de los datos, procederemos a la prueba ANOVA de un factor.

Prueba de ANOVA de un factor para los Límites de Consistencia (Límite Líquido y Límite Plástico):

		ANOVA				
		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
LÍMITE LÍQUIDO (%) PARA LA CALICATA 1	Entre grupos	1,058	3	,353	141,120	,000
	Dentro de grupos	,020	8	,003		
	Total	1,078	11			
LÍMITE PLÁSTICO (%) PARA LA CALICATA 1	Entre grupos	3,886	3	1,295	264,327	,000
	Dentro de grupos	,039	8	,005		
	Total	3,925	11			
LÍMITE LÍQUIDO (%) PARA LA CALICATA 2	Entre grupos	2,710	3	,903	1003,639	,000
	Dentro de grupos	,007	8	,001		
	Total	2,717	11			
LÍMITE PLÁSTICO (%) PARA LA CALICATA 2	Entre grupos	3,380	3	1,127	450,680	,000
	Dentro de grupos	,020	8	,003		
	Total	3,400	11			
LÍMITE LÍQUIDO (%) PARA LA CALICATA 3	Entre grupos	11,996	3	3,999	816,061	,000
	Dentro de grupos	,039	8	,005		
	Total	12,035	11			
LÍMITE PLÁSTICO (%) PARA LA CALICATA 3	Entre grupos	17,109	3	5,703	6336,750	,000
	Dentro de grupos	,007	8	,001		
	Total	17,116	11			

Los resultados de la prueba indican que, con un nivel de significancia del 5%, según la regla de decisión, si existe evidencia suficiente para aceptar la hipótesis del investigador para los Límites de Consistencia (Límite Líquido y Límite Plástico), debido a que los valores sig de la prueba entre grupos o diseños para cada calicata son iguales a 0.000 y son

menores a 0.05, esto es, si existe diferencias significativas de las medias de los valores de los Límites de Consistencia (Límite Líquido y Límite Plástico) entre el diseño del suelo natural y al menos uno de los diseños experimentales, ahora debido a que si existe igualdad de varianzas, se aplicará la prueba post hoc de Tukey para determinar cuál de los tratamientos o diseños experimentales es el que mejor efecto positivo tiene sobre los Límites de Consistencia (Límite Líquido y Límite Plástico).

Prueba de post hoc de Tukey para el Límite Líquido de la Calicata 1:

LÍMITE LÍQUIDO (%) PARA LA CALICATA 1				
HSD Tukey ^a				
DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Diseño3 al 15% de CCP	3	7,8000		
Diseño1 al 9% de CCP	3		8,3000	
Suelo Natural	3		8,4200	
Diseño2 al 12% de CCP	3			8,6000
Sig.		1,000	,072	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La prueba de Tukey nos muestra tres sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural y el diseño al 9% de CCP están en el mismo sub grupo y son menores que el diseño al 12% de CCP, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial al 12% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa el límite líquido de la calicata 1 de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023, mientras que al añadir el 9% de CCP esta se mantiene estadísticamente igual al suelo natural, sin embargo al añadir el 15% de CCP disminuye de manera significativa.

Prueba de post hoc de Tukey para el Límite Plástico de la Calicata 1:

LÍMITE PLÁSTICO (%) PARA LA CALICATA 1				
HSD Tukey ^a				
DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Suelo Natural	3	2,4600		
Diseño1 al 9% de CCP	3	2,6000		

Diseño2 al 12% de CCP	3	3,2000	
Diseño3 al 15% de CCP	3		3,9000
Sig.		,144	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Fuente: Elaboración propia

La prueba de Tukey nos muestra tres sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural y el diseño al 9% de CCP están en el mismo sub grupo y son menores que los otros 2 diseños experimentales, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial al 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa el límite plástico de la calicata 1 de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023, mientras que al añadir el 9% de CCP esta se mantiene estadísticamente igual al suelo natural.

Prueba de post hoc de Tukey para el Límite Líquido de la Calicata 2:

LÍMITE LÍQUIDO (%) PARA LA CALICATA 2					
HSD Tukey ^a					
DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Diseño1 al 9% de CCP	3	7,6000			
Diseño2 al 12% de CCP	3		7,9000		
Diseño3 al 15% de CCP	3			8,0300	
Suelo Natural	3				8,8800
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural es mayor que los tres diseños experimentales, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial al 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, disminuye de manera significativa el límite líquido de la

calicata 2 de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Prueba de post hoc de Tukey para el Límite Plástico de la Calicata 2:

LÍMITE PLÁSTICO (%) PARA LA CALICATA 2				
HSD Tukey ^a				
		Subconjunto para alfa = 0.05		
DISEÑO	N	1	2	3
Diseño1 al 9% de CCP	3	3,3000		
Suelo Natural	3	3,3400		
Diseño2 al 12% de CCP	3		4,1000	
Diseño3 al 15% de CCP	3			4,5600
Sig.		,765	1,000	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La prueba de Tukey nos muestra tres sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural y el diseño al 9% de CCP están en el mismo sub grupo y son menores que los otros 2 diseños experimentales, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial al 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa el límite plástico de la calicata 2 de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023, mientras que al añadir el 9% de CCP esta se mantiene estadísticamente igual al suelo natural.

Prueba de post hoc de Tukey para el Límite Líquido de la Calicata 3:

LÍMITE LÍQUIDO (%) PARA LA CALICATA 3					
HSD Tukey ^a					
		Subconjunto para alfa = 0.05			
DISEÑO	N	1	2	3	4
Diseño1 al 9% de CCP	3	6,9000			
Diseño2 al 12% de CCP	3		8,1000		
Diseño3 al 15% de CCP	3			9,0000	
Suelo Natural	3				9,5400
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural es mayor que los tres diseños experimentales, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial al 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, disminuye de manera significativa el límite líquido de la calicata 3 de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Prueba de post hoc de Tukey para el Límite Plástico de la Calicata 3:

LÍMITE PLÁSTICO (%) PARA LA CALICATA 3					
HSD Tukey ^a					
DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Diseño1 al 9% de CCP	3	3,9000			
Diseño2 al 12% de CCP	3		5,6000		
Suelo Natural	3			6,4100	
Diseño3 al 15% de CCP	3				7,1000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural sólo es menor que el diseño al 15% de CCP, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 15% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa el límite plástico de la calicata 3 de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023, mientras que al añadir el 9% y 12% de CCP disminuye de manera significativa.

Para el cuarto objetivo

Determinar la influencia de la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Hipótesis específica 4

Hipótesis Nula (Ho): Los suelos arcillo limosos con adición al 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, no mejora el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

$$\mu_{GE1} = \mu_{GE2} = \mu_{GE3} = \mu_{GE_natural}$$

Hipótesis Alternativa (Ha): Los suelos arcillo limosos con adición al 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Existe al menos un $i / \mu_{GEi} \neq \mu_{GE_natural}$

$i=1, 2, 3$

Donde μ_{GE} , es la media del grado de expansión

Estadístico de Prueba

Dado que la variable respuesta grado de expansión es cuantitativa, el tipo de prueba que necesitamos es de diferencia de medias para más de dos grupos y para dos factores, siendo los factores el tipo de diseño y el tiempo y además el tamaño de la muestra es pequeña e iguales a 16, entonces se utilizará el análisis de varianza ANOVA de dos factores para contrastar las hipótesis, con esta prueba veremos si el grado de expansión depende del tipo de tratamiento, del tiempo o de la interacción de las dos.

Regla de Decisión

Para todas las pruebas se asumirá un valor de significancia de 0.05 (confianza al 95%) y se aceptará la hipótesis nula si el valor de significancia de la prueba es mayor al valor de significancia asumido.

Si: $\text{sig } p \text{ de la prueba} > 0.05$, entonces aceptamos H_0

Caso contrario se aceptará la hipótesis alternativa H_a

Análisis Descriptivo e Inferencial para en ANOVA de dos factores para las calicatas 1, 2 y 3.

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: DEFORMACIÓN EN GRADOS DE EXPANSIÓN DE LA CALICATA 1

Origen	Tipo III de suma		Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
	de cuadrados	gl				
Modelo corregido	4,002 ^a	63	,064	1278609,632	,000	1,000
Intersección	5,654	1	5,654	113783865,444	,000	1,000
TIEMP_DEF	4,002	60	,067	1342528,286	,000	1,000

DISEÑO	1,225E-5	1	1,225E-5	246,541	,000	,794
TIEMP_DEF * DISEÑO	,000	0	.	.	.	,000
Error	3,180E-6	64	4,969E-8			
Total	9,557	128				
Total corregido	4,002	127				

a. R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = 1,000)

De los resultados podemos observar que los valores de sig para la calicata 1 son iguales a 0,000 y menores a 0.05 para el modelo, cada factor y para la interacción, esto quiere decir que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis del investigador.

Por tanto, se concluye con 5% de significancia que existe un efecto en la deformación debido a cada factor y a su interacción, esto es, la deformación se ve afectado tanto por el tipo de tratamiento y el tiempo de medición.

Ahora con la prueba post hoc veremos en donde existen estas diferencias significativas.

Prueba Post Hoc de Bonferroni para la calicata 1

Efecto de los tratamientos

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: DEFORMACIÓN EN GRADOS DE EXPANSIÓN DE LA CALICATA 1

Bonferroni

(I) DISEÑO	(J) DISEÑO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Suelo Natural	Diseño1 al 9% de CCP	,000737*	,0000557	,000	,000586	,000889
	Diseño2 al 12% de CCP	,001169*	,0000557	,000	,001017	,001320
	Diseño3 al 15% de CCP	,001369*	,0000557	,000	,001217	,001520
Diseño1 al 9% de CCP	Suelo Natural	-,000737*	,0000557	,000	-,000889	-,000586
	Diseño2 al 12% de CCP	,000431*	,0000557	,000	,000280	,000583
	Diseño3 al 15% de CCP	,000631*	,0000557	,000	,000480	,000783
Diseño2 al 12% de CCP	Suelo Natural	-,001169*	,0000557	,000	-,001320	-,001017
	Diseño1 al 9% de CCP	-,000431*	,0000557	,000	-,000583	-,000280
	Diseño3 al 15% de CCP	,000200*	,0000557	,004	,000048	,000352
Diseño3 al 15% de CCP	Suelo Natural	-,001369*	,0000557	,000	-,001520	-,001217
	Diseño1 al 9% de CCP	-,000631*	,0000557	,000	-,000783	-,000480
	Diseño2 al 12% de CCP	-,000200*	,0000557	,004	-,000352	-,000048

Se basa en las medias observadas.

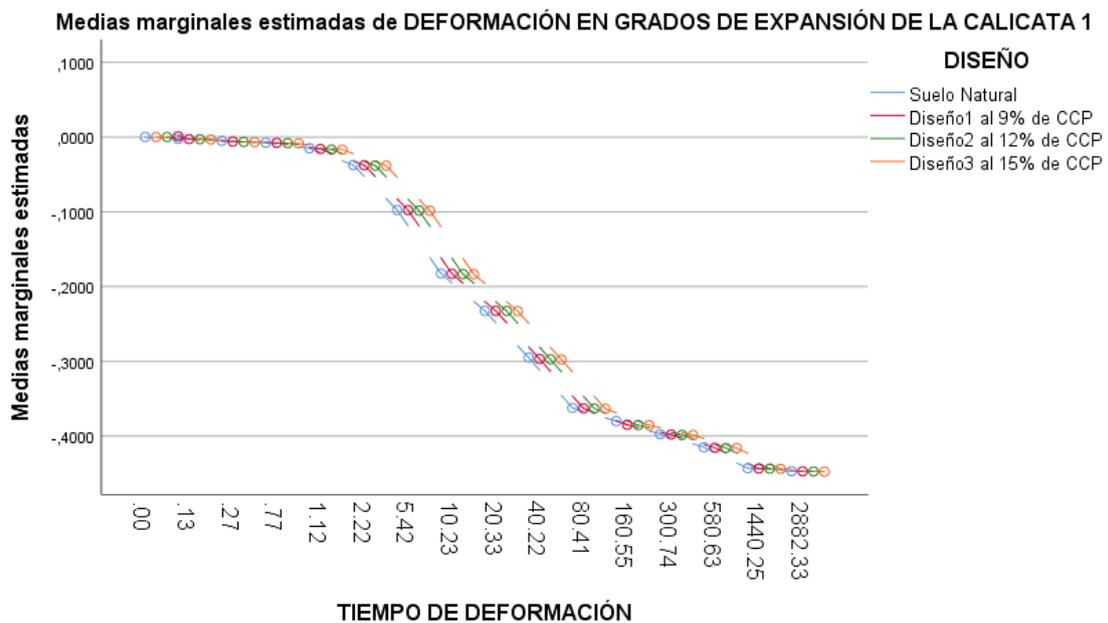
El término de error es la media cuadrática(Error) = 4,969E-8.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

De la prueba de Bonferroni para la calicata 1, podemos observar que los valores sig son iguales a 0.000 y menores a 0.05, además de que los signos de la diferencia de medias para el comparativo con el diseño natural son positivos, esto quiere decir que, con un nivel de significancia del 5% hay un efecto significativo en la deformación con respecto al suelo patrón.

Ahora bien, en la gráfica de interacción veremos que diseño o diseños han tenido un mejor efecto significativamente en el tiempo con respecto al diseño natural

Efecto de la Interacción



Las medias no estimables no se representan.

Del gráfico de interactividad de los dos factores tratamientos y tiempo, podemos observar que a medida que pasa el tiempo las deformaciones van disminuyendo, siendo la del diseño natural la que mayor grado de deformación tiene, debido a que gráfica está por debajo de los demás diseños, por tanto, podemos concluir con un nivel de significancia del 5% que, la adición del 9%, 12% y 15% de cenizas de cáscara de pajuro en la calicata 1, mejora de manera significativa el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo luminosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Prueba Post Hoc de Bonferroni para la calicata 2

Efecto de los tratamientos

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: DEFORMACIÓN EN GRADOS DE EXPANSIÓN DE LA CALICATA 2

Origen	Tipo III de suma			F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
	de cuadrados	gl	Media cuadrática			
Modelo corregido	4,065 ^a	63	,065	3441007,477	,000	1,000
Intersección	6,075	1	6,075	324010043,483	,000	1,000
DISEÑO	2,645E-6	3	8,817E-7	47,022	,000	,688
TIEMP_DEF_2	4,065	59	,069	3674205,793	,000	1,000
DISEÑO * TIEMP_DEF_2	2,645E-6	1	2,645E-6	141,067	,000	,688
Error	1,200E-6	64	1,875E-8			
Total	9,717	128				
Total corregido	4,065	127				

a. R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = 1,000)

De los resultados podemos observar que los valores de sig para la calicata 2 son iguales a 0,000 y menores a 0.05 para el modelo, cada factor y para la interacción, esto quiere decir que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis del investigador.

Por tanto, se concluye con 5% de significancia que existe un efecto en la deformación debido a cada factor y a su interacción, esto es, la deformación se ve afectado tanto por el tipo de tratamiento y el tiempo de medición.

Ahora con la prueba post hoc veremos en donde existen estas diferencias significativas.

Prueba Post Hoc de Bonferroni para la calicata 2

Efecto de los tratamientos

Comparaciones múltiples

Variable dependiente: DEFORMACIÓN EN GRADOS DE EXPANSIÓN DE LA CALICATA 2

Bonferroni

(I) DISEÑO	(J) DISEÑO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Suelo Natural	Diseño1 al 9% de CCP	,000850*	,0000342	,000	,000757	,000943
	Diseño2 al 12% de CCP	,001575*	,0000342	,000	,001482	,001668
	Diseño3 al 15% de CCP	,002356*	,0000342	,000	,002263	,002449
Diseño1 al 9% de CCP	Suelo Natural	-,000850*	,0000342	,000	-,000943	-,000757
	Diseño2 al 12% de CCP	,000725*	,0000342	,000	,000632	,000818
	Diseño3 al 15% de CCP	,001506*	,0000342	,000	,001413	,001599

Diseño2 al 12% de CCP	Suelo Natural	-,001575*	,0000342	,000	-,001668	-,001482
	Diseño1 al 9% de CCP	-,000725*	,0000342	,000	-,000818	-,000632
	Diseño3 al 15% de CCP	,000781*	,0000342	,000	,000688	,000874
Diseño3 al 15% de CCP	Suelo Natural	-,002356*	,0000342	,000	-,002449	-,002263
	Diseño1 al 9% de CCP	-,001506*	,0000342	,000	-,001599	-,001413
	Diseño2 al 12% de CCP	-,000781*	,0000342	,000	-,000874	-,000688

Se basa en las medias observadas.

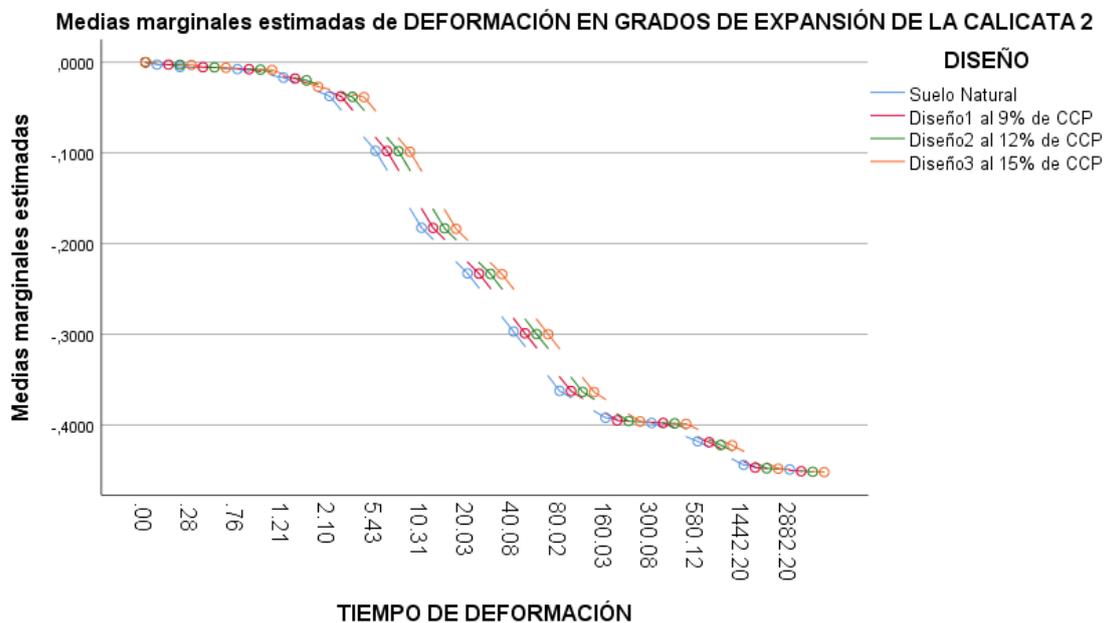
El término de error es la media cuadrática(Error) = 1,875E-8.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

De la prueba de Bonferroni para la calicata 2, podemos observar que los valores sig son iguales a 0.000 y menores a 0.05, además de que los signos de la diferencia de medias para el comparativo con el diseño natural son positivos, esto quiere decir que, con un nivel de significancia del 5% hay un efecto significativo en la deformación con respecto al suelo patrón.

Ahora bien, en la gráfica de interacción veremos que diseño o diseños han tenido un mejor efecto significativamente en el tiempo con respecto al diseño natural.

Efecto de la Interacción



Del gráfico de interactividad de los dos factores tratamientos y tiempo, podemos observar que a medida que pasa el tiempo las deformaciones van disminuyendo, siendo la del diseño natural la que mayor grado de deformación tiene, debido a que gráfica está por debajo de los demás diseños, por tanto, podemos concluir con un nivel de significancia del

5% que, la adición del 9%, 12% y 15% de cenizas de cáscara de pajuro en la calicata 2, mejora de manera significativa el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo luminosos en la carretera CA 893, tramo Chota – CabracanCHA, Cajamarca 2023.

Prueba Post Hoc de Bonferroni para la calicata 3

Efecto de los tratamientos

Pruebas de efectos inter-sujetos						
Variable dependiente: DEFORMACIÓN EN GRADOS DE EXPANSIÓN DE LA CALICATA 3						
Origen	Tipo III de suma			F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
	de cuadrados	gl	Media cuadrática			
Modelo corregido	4,098 ^a	63	,065	3573479,929	,000	1,000
Intersección	5,795	1	5,795	318376320,670	,000	1,000
DISEÑO	4,410E-6	1	4,410E-6	242,266	,000	,791
TIEMP_DEF_3	4,098	60	,068	3752120,579	,000	1,000
DISEÑO * TIEMP_DEF_3	,000	0	.	.	.	,000
Error	1,165E-6	64	1,820E-8			
Total	9,794	128				
Total corregido	4,098	127				

a. R al cuadrado = 1,000 (R al cuadrado ajustada = 1,000)

De los resultados podemos observar que los valores de sig para la calicata 3 son iguales a 0,000 y menores a 0.05 para el modelo, cada factor y para la interacción, esto quiere decir que rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis del investigador.

Por tanto, se concluye con 5% de significancia que existe un efecto en la deformación debido a cada factor y a su interacción, esto es, la deformación se ve afectado tanto por el tipo de tratamiento y el tiempo de medición.

Ahora con la prueba post hoc veremos en donde existen estas diferencias significativas.

Prueba Post Hoc de Bonferroni para la calicata 3

Efecto de los tratamientos

Comparaciones múltiples						
Variable dependiente: DEFORMACIÓN EN GRADOS DE EXPANSIÓN DE LA CALICATA 3						
Bonferroni						
(I) DISEÑO	(J) DISEÑO	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Suelo Natural	Diseño1 al 9% de CCP	,000422*	,0000337	,000	,000330	,000514
	Diseño2 al 12% de CCP	,001456*	,0000337	,000	,001364	,001548

	Diseño3 al 15% de CCP	,000769*	,0000337	,000	,000677	,000861
Diseño1 al 9% de CCP	Suelo Natural	-,000422*	,0000337	,000	-,000514	-,000330
	Diseño2 al 12% de CCP	,001034*	,0000337	,000	,000943	,001126
	Diseño3 al 15% de CCP	,000347*	,0000337	,000	,000255	,000439
Diseño2 al 12% de CCP	Suelo Natural	-,001456*	,0000337	,000	-,001548	-,001364
	Diseño1 al 9% de CCP	-,001034*	,0000337	,000	-,001126	-,000943
	Diseño3 al 15% de CCP	-,000688*	,0000337	,000	-,000779	-,000596
Diseño3 al 15% de CCP	Suelo Natural	-,000769*	,0000337	,000	-,000861	-,000677
	Diseño1 al 9% de CCP	-,000347*	,0000337	,000	-,000439	-,000255
	Diseño2 al 12% de CCP	,000688*	,0000337	,000	,000596	,000779

Se basa en las medias observadas.

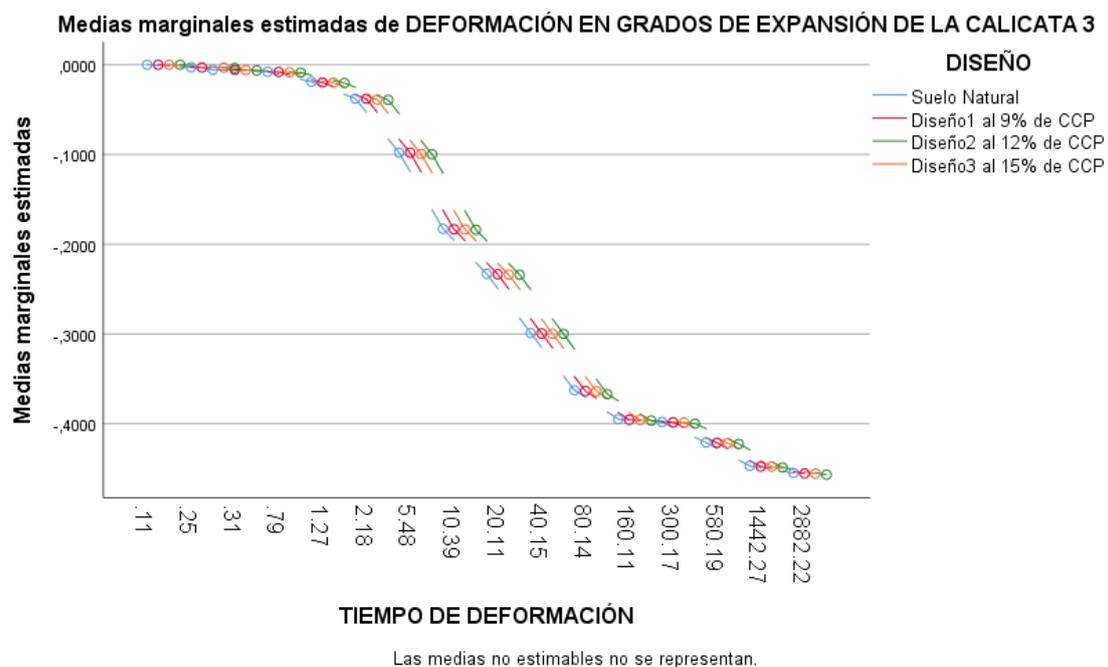
El término de error es la media cuadrática(Error) = 1,820E-8.

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel .05.

De la prueba de Bonferroni para la calicata 3, podemos observar que los valores sig son iguales a 0.000 y menores a 0.05, además de que los signos de la diferencia de medias para el comparativo con el diseño natural son positivos, esto quiere decir que, con un nivel de significancia del 5% hay un efecto significativo en la deformación con respecto al suelo patrón.

Ahora bien, en la gráfica de interacción veremos que diseño o diseños han tenido un mejor efecto significativamente en el tiempo con respecto al diseño natural.

Efecto de la Interacción



Del gráfico de interactividad de los dos factores tratamientos y tiempo, podemos observar que a medida que pasa el tiempo las deformaciones van disminuyendo, siendo la del diseño natural la que mayor grado de deformación tiene, debido a que gráfica está por debajo de los demás diseños, por tanto, podemos concluir con un nivel de significancia del 5% que, la adición del 9%, 12% y 15% de cenizas de cáscara de pajuro en la calicata 3, mejora de manera significativa el grado de expansión de la subrasante para suelos arcillo luminosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Para el quinto objetivo

Determinar la influencia en la adición de ceniza de cáscara de pajuro en el CBR, densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Hipótesis específica 5

Hipótesis Nula (Ho): Los suelos arcillo limosos con adición al 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, no mejora el CBR, densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

$$\mu\text{CBR1} = \mu\text{CBR2} = \mu\text{CBR3}$$

$$\mu\text{DSM1} = \mu\text{DSM2} = \mu\text{DSM3} = \mu\text{DSM}_{\text{natural}}$$

$$\mu\text{OCH1} = \mu\text{OCH2} = \mu\text{OCH3} = \mu\text{OCH}_{\text{natural}}$$

Hipótesis Alterna (Ha): Los suelos arcillo limosos con adición al 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora el CBR, densidad seca máxima y óptimo contenido de humedad de la subrasante para suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

$$\text{Existe al menos un } i / \mu\text{CBR}_i \neq \mu\text{CBR}_{\text{natural}}$$

$$i=1, 2, 3$$

Donde μCBR , es la media del CBR

$$\text{Existe al menos un } i / \mu\text{DSM}_i \neq \mu\text{DSM}_{\text{natural}}$$

$$i=1, 2, 3$$

Donde μDSM , es la media de la densidad seca máxima

$$\text{Existe al menos un } i / \mu\text{OCH}_i \neq \mu\text{OCH}_{\text{natural}}$$

$$i=1, 2, 3$$

Donde μ_{OCH} , es la media de el óptimo contenido de humedad

Estadístico de Prueba

Dado que la variable respuesta CBR, DSM y OCH es cuantitativa y existe una variable independiente llamado factor con tres niveles de tipo categórica ordinal que representa el tipo de diseño (niveles de dosis) y lo que se quiere probar es sí existe un efecto significativo del factor sobre la variable respuesta, entonces estamos frente a un diseño de análisis de varianza de un factor ANOVA, por consiguiente para probar las hipótesis se utilizará el análisis de varianza ANOVA de un factor y la prueba de rango post hoc de Tukey para comparar cuál de los diseños es la que mejor efecto tiene en comparación con el diseño natural.

Requisitos para el ANOVA

Probar los supuestos de Normalidad mediante la Prueba de Chapiro Wilk y de Homocedasticidad u homogeneidad (igualdad de varianzas) mediante la Prueba de Levene.

Los resultados de los supuestos y de las pruebas de hipótesis se realizaron en el programa estadístico SPSS v.25.

En caso no se cumpla el supuesto de normalidad, se aplicará la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis.

En caso no se pruebe la igualdad de varianzas se aplicaba la prueba T3 de Dunnett en vez de la prueba de rango post hoc de Tukey.

Consideraciones de las pruebas:

Regla de Decisión

Para todas las pruebas se asumirá un valor de significancia de 0.05 (confianza al 95%) y se aceptará la hipótesis nula si el valor de significancia de la prueba es mayor al valor de significancia asumido.

Si: $\text{sig } p \text{ de la prueba} > 0.05 \rightarrow \text{aceptamos } H_0$

Caso contrario se aceptará la hipótesis alterna H_a

Prueba del supuesto de Normalidad para la Densidad Seca Máxima:

Planteamiento de la hipótesis:

H_0 : los datos provienen de una distribución normal

H_a : los datos no provienen de una distribución normal

Pruebas de normalidad							
	DISEÑO	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³) PARA LA CALICATA 1	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³) PARA LA CALICATA 2	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm ³) PARA LA CALICATA 3	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Según los resultados de la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk, los valores de significancia (sig) para todos los diseños y para cada calicata son mayores a 0.05, por lo tanto, según la regla de decisión no rechazamos la hipótesis nula y concluimos que todos los datos para cada diseño y para cada calicata siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para la Densidad Seca Máxima:

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: Si existen igualdad de varianzas entre los grupos

Ha: No existen igualdad de varianzas entre los grupos

Prueba de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de			
		Levene	gl1	gl2	Sig.
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3)	Se basa en la media	2,295	3	8	,155
PARA LA CALICATA 1	Se basa en la mediana	2,295	3	8	,155
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2,295	3	2,863	,263
	Se basa en la media recortada	2,295	3	8	,155
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3)	Se basa en la media	2,370	3	8	,146
PARA LA CALICATA 2	Se basa en la mediana	2,370	3	8	,146
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	2,370	3	2,963	,250
	Se basa en la media recortada	2,370	3	8	,146
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3)	Se basa en la media	1,542	3	8	,277
PARA LA CALICATA 3	Se basa en la mediana	1,542	3	8	,277
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,542	3	3,277	,355
	Se basa en la media recortada	1,542	3	8	,277

Según los resultados de la prueba de Homogeneidad de varianzas de Levene, que se basa en la media indica que los valores de significancia (sig) son de 0.155, 0.146 y 0.277 y son mayores a 0.05 por lo tanto, según la regla de decisión, no rechazamos la hipótesis nula y concluimos con un nivel de significancia del 5% que si existe igualdad de varianzas entre los diseños para cada calicata.

Ahora una vez probado la normalidad de los datos, procederemos a la prueba ANOVA de un factor.

Prueba de ANOVA de un factor para la Densidad Seca Máxima:

		ANOVA				
		Suma de	Media			
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3)	Entre grupos	,278	3	,093	31,807	,000
PARA LA CALICATA 1	Dentro de grupos	,023	8	,003		
	Total	,302	11			
	Entre grupos	,176	3	,059	28,655	,000

DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3) PARA LA CALICATA 2	Dentro de grupos	,016 8	,002
	Total	,193 11	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3) PARA LA CALICATA 3	Entre grupos	,805 3	,268 514,843 ,000
	Dentro de grupos	,004 8	,001
	Total	,809 11	

Los resultados de la prueba indican que, con un nivel de significancia del 5%, según la regla de decisión, si existe evidencia suficiente para aceptar la hipótesis del investigador para la DSM, debido a que los valores sig de la prueba entre grupos o diseños para cada calicata son iguales a 0.000 y son menores a 0.05, esto es, si existe diferencias significativas de las medias de los valores de la DSM entre el diseño del suelo natural y al menos uno de los diseños experimentales, ahora debido a que si existe igualdad de varianzas, se aplicará la prueba post hoc de Tukey para determinar cuál de los tratamientos o diseños experimentales es el que mejor efecto positivo tiene sobre la DSM.

Prueba de post hoc de Tukey de la DSM para la Calicata 1:

DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm3) PARA LA CALICATA 1

HSD Tukey^a

DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Suelo Natural	3	1,61700		
Diseño1 al 9% de CCP	3		1,76000	
Diseño2 al 12% de CCP	3			1,91000
Diseño3 al 15% de CCP	3			2,02000
Sig.		1,000	1,000	,135

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La prueba de Tukey nos muestra tres sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural está sólo en el primer sub grupo y además es menor que los demás diseños, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa la densidad seca máxima de la calicata 1 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Prueba de post hoc de Tukey de la DSM para la Calicata 2:

DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm³) PARA LA CALICATA 2

HSD Tukey^a

DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Suelo Natural	3	1,62600		
Diseño1 al 9% de CCP	3	1,72800	1,72800	
Diseño2 al 12% de CCP	3		1,78500	
Diseño3 al 15% de CCP	3			1,96000
Sig.		,093	,459	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La prueba de Tukey nos muestra tres sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural y el diseño al 9% de CCP están en el primer sub grupo y además son menores que los otros dos diseños, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa la densidad seca máxima de la calicata 2 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023, mientras que al añadir el 9% de CCP se mantiene estadísticamente igual al suelo natural.

Prueba de post hoc de Tukey de la DSM para la Calicata 3:

DENSIDAD SECA MÁXIMA (gr/cm³) PARA LA CALICATA 3

HSD Tukey^a

DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Suelo Natural	3	1,65900			
Diseño1 al 9% de CCP	3		1,83000		
Diseño2 al 12% de CCP	3			2,09500	
Diseño3 al 15% de CCP	3				2,34000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural se encuentra sólo en el primer sub grupo y es menor que todos los diseños, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, mejora de manera significativa la densidad seca máxima de la calicata 3 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancho, Cajamarca 2023.

Prueba del supuesto de Normalidad para el Óptimo Contenido de Humedad:

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: los datos provienen de una distribución normal

Ha: los datos no provienen de una distribución normal

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
DISEÑO		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) PARA LA CALICATA 1	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) PARA LA CALICATA 2	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) PARA LA CALICATA 3	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Según los resultados de la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk, los valores de significancia (sig) para todos los diseños y para cada calicata son mayores a 0.05, por lo tanto, según la regla de decisión no rechazamos la hipótesis nula y concluimos que todos los datos para cada diseño y para cada calicata siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para el Óptimo Contenido de Humedad:

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: Si existen igualdad de varianzas entre los grupos

Ha: No existen igualdad de varianzas entre los grupos

		Prueba de homogeneidad de varianzas			
		Estadístico de			
		Levene	gl1	gl2	Sig.
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) PARA LA CALICATA 1	Se basa en la media	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,000	3	8,000	1,000
	Se basa en la media recortada	,000	3	8	1,000
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) PARA LA CALICATA 2	Se basa en la media	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,000	3	8,000	1,000
	Se basa en la media recortada	,000	3	8	1,000
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) PARA LA CALICATA 3	Se basa en la media	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana	,000	3	8	1,000
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,000	3	8,000	1,000
	Se basa en la media recortada	,000	3	8	1,000

Según los resultados de la prueba de Homogeneidad de varianzas de Levene, que se basa en la media indica que el valor de significancia (sig) son de 1.000 y son mayores a 0.05 por lo tanto, según la regla de decisión, no rechazamos la hipótesis nula y concluimos con un

nivel de significancia del 5% que si existe igualdad de varianzas entre los diseños para cada calicata.

Ahora una vez probado la normalidad de los datos, procederemos a la prueba ANOVA de un factor.

Prueba de ANOVA de un factor para el Óptimo Contenido de Humedad:

		ANOVA				
		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) PARA LA CALICATA 1	Entre grupos	18,900	3	6,300	2520,000	,000
	Dentro de grupos	,020	8	,003		
	Total	18,920	11			
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) PARA LA CALICATA 2	Entre grupos	18,870	3	6,290	2516,000	,000
	Dentro de grupos	,020	8	,003		
	Total	18,890	11			
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) PARA LA CALICATA 3	Entre grupos	75,870	3	25,290	10116,000	,000
	Dentro de grupos	,020	8	,002		
	Total	75,890	11			

Los resultados de la prueba indican que, con un nivel de significancia del 5%, según la regla de decisión, si existe evidencia suficiente para aceptar la hipótesis del investigador para el OCH, debido a que los valores sig de la prueba entre grupos o diseños para cada calicata son iguales a 0.000 y son menores a 0.05, esto es, si existe diferencias significativas de las medias de los valores del OCH entre el diseño del suelo natural y al menos uno de los diseños experimentales, ahora debido a que si existe igualdad de varianzas, se aplicará la prueba paramétrica post hoc de Tukey para determinar cuál de los tratamientos o diseños experimentales es el que mejor efecto positivo tiene sobre el OCH.

Prueba de post hoc de Tukey para el OCH de la Calicata 1:

ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) PARA LA CALICATA 1

HSD Tukey^a

DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Diseño3 al 15% de CCP	3	10,1000			
Diseño2 al 12% de CCP	3		11,0000		
Diseño1 al 9% de CCP	3			12,3000	
Suelo Natural	3				13,4000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural está sólo en el cuarto sub grupo y además es mayor que todos los diseños, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, disminuye de manera significativa el Óptimo Contenido de Humedad de la calicata 1 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Prueba de post hoc de Tukey para el OCH de la Calicata 2:

ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) PARA LA CALICATA 2

HSD Tukey^a

DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Diseño3 al 15% de CCP	3	11,1000			
Diseño2 al 12% de CCP	3		12,0000		
Diseño1 al 9% de CCP	3			12,2000	
Suelo Natural	3				14,5000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el

aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural está sólo en el cuarto sub grupo y además es mayor que todos los diseños, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, disminuye de manera significativa el Óptimo Contenido de Humedad de la calicata 2 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Prueba de post hoc de Tukey para el OCH de la Calicata 3:

ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) PARA LA CALICATA 3

HSD Tukey^a

DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Diseño3 al 15% de CCP	3	7,3000			
Diseño2 al 12% de CCP	3		10,9000		
Diseño1 al 9% de CCP	3			13,0000	
Suelo Natural	3				13,8000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural está sólo en el cuarto sub grupo y además es mayor que todos los diseños, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, disminuye de manera significativa el Óptimo Contenido de Humedad de la calicata 3 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Prueba del supuesto de Normalidad para el CBR:

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: los datos provienen de una distribución normal

Ha: los datos no provienen de una distribución normal

Pruebas de normalidad							
DISEÑO	DISEÑO	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CBR (%) DE LA CALICATA 1	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000

	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
CBR (%) DE LA CALICATA 2	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
CBR (%) DE LA CALICATA 3	Suelo Natural	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño1 al 9% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño2 al 12% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000
	Diseño3 al 15% de CCP	,175	3	.	1,000	3	1,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Según los resultados de la prueba de Normalidad de Shapiro Wilk, los valores de significancia (sig) para todos los diseños y para cada calicata son mayores a 0.05, por lo tanto, según la regla de decisión no rechazamos la hipótesis nula y concluimos que todos los datos para cada diseño y para cada calicata siguen una distribución normal con un nivel de significancia del 5%.

Prueba del supuesto de Homogeneidad o igualdad de varianzas para el %CBR:

Planteamiento de la hipótesis:

Ho: Si existen igualdad de varianzas entre los grupos

Ha: No existen igualdad de varianzas entre los grupos

		Prueba de homogeneidad de varianzas			
		Estadístico de			
		Levene	gl1	gl2	Sig.
CBR (%) DE LA CALICATA 1	Se basa en la media	1,267	3	8	,349
	Se basa en la mediana	1,267	3	8	,349
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,267	3	5,571	,372
	Se basa en la media recortada	1,267	3	8	,349
CBR (%) DE LA CALICATA 2	Se basa en la media	,931	3	8	,469
	Se basa en la mediana	,931	3	8	,469
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,931	3	5,074	,490
	Se basa en la media recortada	,931	3	8	,469
CBR (%) DE LA CALICATA 3	Se basa en la media	,835	3	8	,511
	Se basa en la mediana	,835	3	8	,511
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	,835	3	5,034	,529

Según los resultados de la prueba de Homogeneidad de varianzas de Levene, que se basa en la media indican que los valores de significancia (sig) de 0.349, 0.469 y 0.511 son mayores a 0.05 por lo tanto, según la regla de decisión, no rechazamos la hipótesis nula y concluimos con un nivel de significancia del 5% que si existe igualdad de varianzas entre los diseños para cada calicata.

Ahora una vez probado la normalidad de los datos, procederemos a la prueba ANOVA de un factor.

Prueba de ANOVA de un factor para el %CBR:

		ANOVA				
		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
CBR (%) DE LA CALICATA 1	Entre grupos	771,083	3	257,028	2955,188	,000
	Dentro de grupos	,696	8	,087		
	Total	771,778	11			
CBR (%) DE LA CALICATA 2	Entre grupos	399,323	3	133,108	439,444	,000
	Dentro de grupos	2,423	8	,303		
	Total	401,746	11			
CBR (%) DE LA CALICATA 3	Entre grupos	310,500	3	103,500	412,515	,000
	Dentro de grupos	2,007	8	,251		
	Total	312,507	11			

Los resultados de la prueba indican que, con un nivel de significancia del 5%, según la regla de decisión, si existe evidencia suficiente para aceptar la hipótesis del investigador para el %CBR, debido a que los valores sig de la prueba entre grupos o diseños para cada calicata son iguales a 0.000 y son menores a 0.05, esto es, si existe diferencias significativas de las medias de los valores del %CBR entre el diseño del suelo natural y al menos uno de los diseños experimentales, ahora debido a que si existe igualdad de varianzas, se aplicará la prueba post hoc de Tukey para determinar cuál de los tratamientos o diseños experimentales es el que mejor efecto positivo tiene sobre el CBR.

Prueba de post hoc de Tukey para el %CBR de la Calicata 1:

CBR (%) DE LA CALICATA 1					
HSD Tukey ^a					
DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Suelo Natural	3	10,2000			
Diseño1 al 9% de CCP	3		20,7000		
Diseño2 al 12% de CCP	3			28,0000	
Diseño3 al 15% de CCP	3				31,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural está sólo en el primer sub grupo y además es menor que todos los diseños, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, aumentó de manera significativa el %CBR de la calicata 1 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Prueba de post hoc de Tukey para el %CBR de la Calicata 2:

CBR (%) DE LA CALICATA 2					
HSD Tukey ^a					
DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Suelo Natural	3	15,0000			
Diseño1 al 9% de CCP	3		18,4000		
Diseño2 al 12% de CCP	3			22,0000	
Diseño3 al 15% de CCP	3				30,5000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el

aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural está sólo en el primer sub grupo y además es menor que todos los diseños, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, aumentó de manera significativa el %CBR de la calicata 2 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

Prueba de post hoc de Tukey para el %CBR de la Calicata 3:

CBR (%) DE LA CALICATA 3					
HSD Tukey ^a					
DISEÑO	N	Subconjunto para alfa = 0.05			
		1	2	3	4
Suelo Natural	3	13,5000			
Diseño1 al 9% de CCP	3		16,0000		
Diseño2 al 12% de CCP	3			19,5000	
Diseño3 al 15% de CCP	3				27,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

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

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

La prueba de Tukey nos muestra cuatro sub grupos, en donde la regla indica que los diseños que caen en un mismo sub grupo no tendrán diferencias significativas, mientras que los que caen en diferentes sub grupos ahí si existen diferencias significativas y el aumento de la media va entre los sub grupos de izquierda a derecha, ahora bien, podemos observar que el diseño natural está sólo en el primer sub grupo y además es menor que todos los diseños, por lo tanto concluimos con un nivel de significancia del 5% que, la adición parcial del 9%, 12% y 15% de ceniza de cáscara de pajuro, aumentó de manera significativa el %CBR de la calicata 3 para la subrasante de suelos arcillo limosos en la carretera CA 893, tramo Chota – Cabracancha, Cajamarca 2023.

ANEXO 4: ENSAYOS

ANEXO 5: CONFIABILIDAD



LÍMITES DE ATTERBERG
A.S.T.M. D 4318

RESPONSABLE:

UBICACIÓN:

UBICACIÓN DE CALICATA:

CALICATA N° :

MUESTRA:

PROFUNDIDAD :

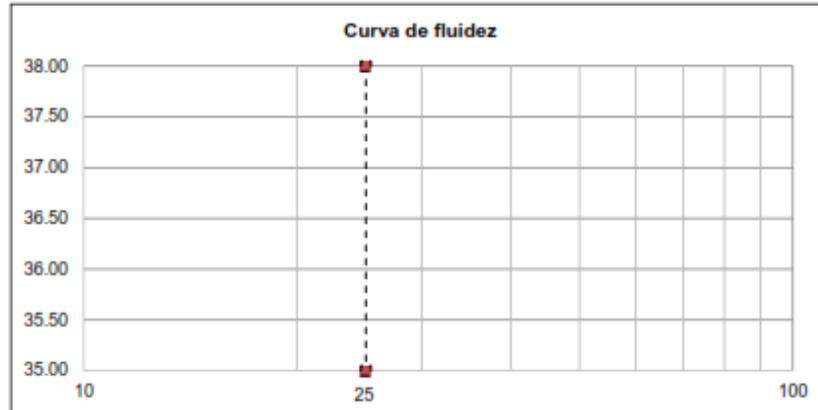
FECHA :

COORDENADAS UTM	
ESTE	
NORTE	

LÍMITE LÍQUIDO			
TARA N°	1	2	3
Wt + M. Húmeda			
Wt + M. Seca			
W agua			
W tara			
W M. Seca			
W(%)			
N. GOLPES			
LÍMITE PLÁSTICO			
TARA N°	4	5	Promedio
Wt + M. Húmeda			
Wt + M. Seca			
W agua			
W tara			
W M. Seca			
W(%)			

TEMPERATURA DE SECADO	
60 °C	110 °C
PREPARACIÓN DE MUESTRA	
60 °C	110 °C
CONTENIDO DE HUMEDAD	
60 °C	110 °C
AGUA USADA	
DESTILADA	
POTABLE	
OTRA	

LI = A*Ln(x)+B	
A=	-3.203
B=	46.467



LÍMITE LÍQUIDO	LÍMITE PLÁSTICO	ÍNDICE PLÁSTICO
LL (%)=	LP (%)=	IP (%)=

ALEJANDRO VILDOSO FLORES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 122950

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 CONSEJO DEPARTAMENTAL - LIMA

HUAYANY VARGAS EDGAR C.
 INGENIERO CIVIL
 CIP/N° 273200

RESGOR MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 147890

RESPONSABLE:

UBICACIÓN:

UBICACIÓN DE CALICATA:

CALICATA N° :

MUESTRA:

PROFUNDIDAD :

FECHA :

COORDENADAS UTM

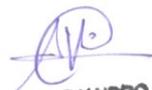
ESTE

NORTE

CONDICIONES DE LA MUESTRA TOTAL			
TEMPERATURA DE SECADO		CONTENIDO DE HUMEDAD AASHTO T 265	
PESO TOTAL MUESTRA SECA (g)		TARA N°	
PESO TOTAL MUESTRA SECA < N° 4 (g)		PESO HUMEDO + TARA(g)	
PESO TOTAL MUESTRA SECA > N° 4 (g)		PESO SECO + TARA(g)	
		PESO TARA (g)	
		PESO DEL AGUA (g)	
		PESO SECO(g)	
PESO TOTAL MUESTRA HUMEDA (g)		C. HUMEDAD (%)	

ANÁLISIS FRACCIÓN GRUESA								
		Tamiz		Peso Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Parcial	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje que Pasa	
		N°	Abertura (mm)					
Tamizado usando el peso total de la muestra seca (g)	Piedra o cantos	4"						
		3"	76.2					
	Grava	Gruesa	2 1/2 "	63.5				
			2"	50.8				
			1 1/2"	38.1				
			1"	25.4				
			3/4"	19.05				
		Fina	1/2"	12.7				
			3/8"	9.52				
			1/4"	6.35				
			N°4	4.75				
			TOTAL	WG=			0.00	
	ANÁLISIS FRACCIÓN FINA							
CORRECCIÓN DE MUESTRA CUARTEADA: 0								
PESO SECO FRACCIÓN FINA: 500.00								
Tamizado usando peso seco fracción fina	Arena	Gruesa	N° 10					
			N° 20					
		Medía	N° 30					
			N° 40					
			N° 60					
	Fina	N° 100						
		N° 200						
	Suelos finos	Cazoleta						
TOTAL								

LÍMITES DE CONSISTENCIA A.S.T.M. D4318	
LÍMITE LÍQUIDO	0
LÍMITE PLÁSTICO	0
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	0
CLASIFICACIÓN A.A.S.H.T.O. :	A-2-4



ALEJANDRO VILDOSO FLORES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 122950



COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 CONSEJO DEPARTAMENTAL - LIMA
 Huayán Vargas Edgar C.
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 273208



RESGNER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 147808

RESPONSABLE:

UBICACIÓN:

UBICACIÓN DE CALICATA:

CALICATA N° :

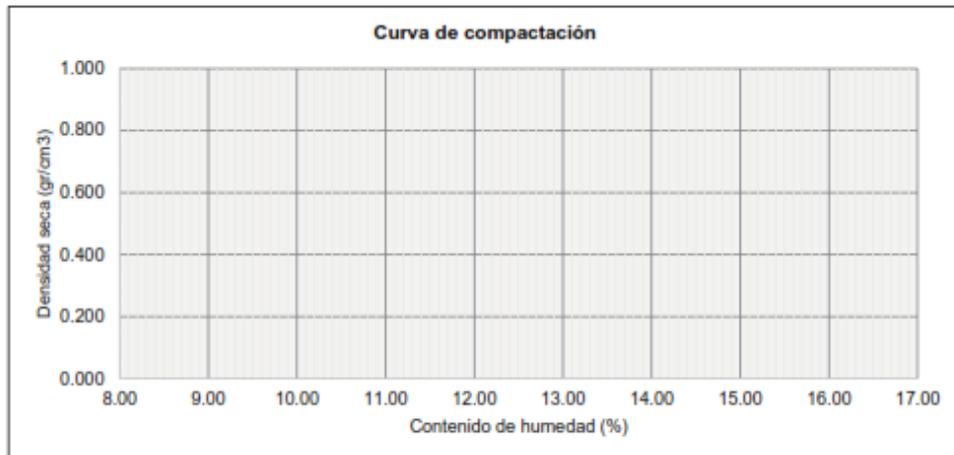
PROFUNDIDAD :

FECHA :

MUESTRA:

COORDENADAS UTM	
ESTE	
NORTE	

MÉTODO DE ENSAYO		"C"	CONDICIÓN DE SECADO: Horno 110 °C			DIÁMETRO DE MOLDE: 15.24 cm.	
NÚMERO DE ENSAYO		1	2	3	4	5	
DENSIDAD	N° de capas						
	N° de Golpes por Capa						
	Peso Húmedo + Molde (gr)						
	Peso Molde (gr)						
	Peso Húmedo (gr)						
	Volumen del Molde (cm ³)						
Densidad Húmeda (gr/cm ³)							
HUMEDAD	Ensayo	1	2	3	4	5	
	Peso Húmedo + Tara (gr)						
	Peso seco + Tara (gr)						
	Peso Agua (gr)						
	Peso Tara (gr)						
	Peso Muestra Seca (gr)						
	Contenido de Humedad (%)						
	C. Humedad (%) promedio						
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)							

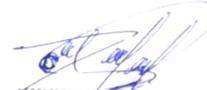


DENSIDAD SECA MÁXIMA:	Gr/cm ³	CONT. DE HUMEDAD ÓPTIMO:	%
------------------------------	--------------------	---------------------------------	---


ALEJANDRO VILDOSO FLORES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 122950


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
 CONSEJO DEPARTAMENTAL - LIMA

HUAYNEY VARGAS EDGAR C.
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 273208


RESONER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 147890

RESPONSABLE:

UBICACIÓN:

UBICACIÓN DE CALICATA:

CALICATA N° :

PROFUNDIDAD :

FECHA :

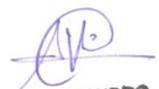
MUESTRA:

COORDENADAS UTM	
ESTE	
NORTE	

COMPACTACIÓN CBR						
N° golpes por Capa						
Altura Molde (mm)						
N° Capas						
Condición de Muestra	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS	ANTES DE SATURAR	DESPUÉS
Peso Humedo *Molde (gr)						
Peso Molde (gr)						
Peso Humedo (gr)						
Volumen del Molde (cm ³)						
Densidad Humeda (gr/cm ³)						
CONTENIDO DE HUMEDAD						
TARA N°	1-A	1-B	2-A	2-B	3-A	3-B
Peso Humedo *Tara (gr)						
Peso seco *Tara (gr)						
Peso Agua (gr)						
Peso Tara (gr)						
Peso Muestra Seca (gr)						
C. Humedad (%) promedio						
DENSIDAD SECA (gr/cm ³)						

ENSAYO DE EXPANSIÓN										
TIEMPO ACUMULADO		PRESIÓN 12 GOLPES			PRESIÓN 25 GOLPES			PRESIÓN 56 GOLPES		
		LECTURA DEFORM.	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORM.	EXPANSIÓN		LECTURA DEFORM.	EXPANSIÓN	
			(mm)	(%)		(mm)	(%)		(mm)	(%)
(Hs)	(Días)									
0	0									
24	1									
48	2									
72	3									
96	4									

ENSAYO CARGA -PENETRACION							
PENETRACIÓN		PRESIÓN 12 GOLPES		PRESIÓN 25 GOLPES		PRESIÓN 56 GOLPES	
(mm)	(pulg)	CARGA KG.	ESFUERZO (Lb/pulg ²)	CARGA KG.	ESFUERZO (Lb/pulg ²)	CARGA KG.	ESFUERZO (Lb/pulg ²)
0.00	0.000						
0.64	0.025						
1.27	0.050						
1.91	0.075						
2.54	0.100						
3.18	0.125						
3.81	0.150						
4.55	0.175						
5.08	0.200						
7.62	0.300						
10.16	0.400						
12.70	0.500						


ALEJANDRO VILDOSO FLORES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 122950


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 CONSEJO DEPARTAMENTAL - LIMA

HUAYANY VARGAS EDGAR C.
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 273268


PISCOER MANUEL FLORES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. N° 147898

RESPONSABLE:

UBICACIÓN:

UBICACIÓN DE CALICATA:

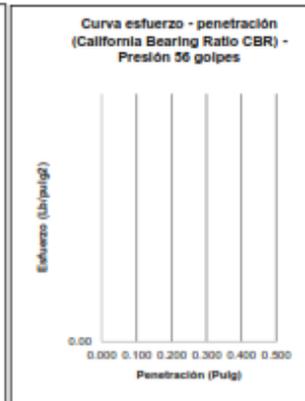
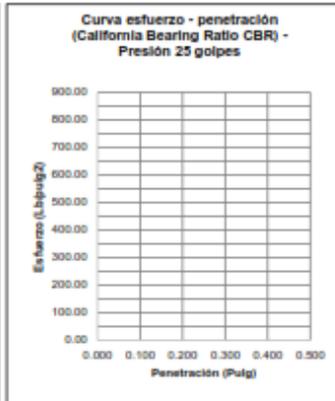
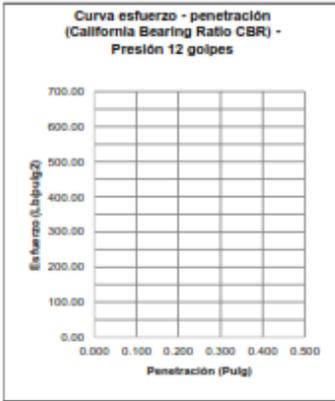
CALICATA N° :

PROFUNDIDAD :

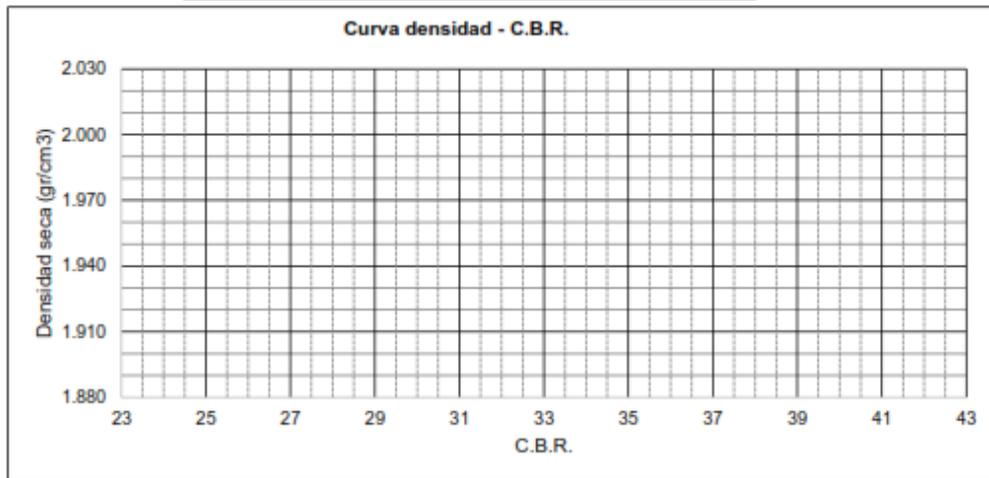
FECHA :

MUESTRA:

COORDENADAS UTM	
ESTE	
NORTE	



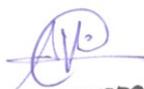
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO	
DENSIDAD SECA MÁXIMA (GR/CM3)	0.000
CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO (%)	0



(*) Valores Corregidos

N° DE ENSAYO	PRESIÓN APLICADA CORREGIDA	C.B.R.		DENSIDAD SECA
		%		(gr/cm3)
PRESIÓN 12 GOLFES	0.00	0	0	
PRESIÓN 25 GOLFES	0.00	0	0	
PRESIÓN 56 GOLFES	0.00	0	0	

VALOR RELATIVO DE SOPORTE C.B.R.	
C.B.R. Para el 90% de la M.D.S. (0.1") =	26.10 %
C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. (0.1") =	42.00 %


ALEJANDRO VILDOSO FLORES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Ci.P. N° 122950


 COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERU
 CONSEJO DEPARTAMENTAL - LIMA
 Huaynety Vargas Edgar C.
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P.A. 273200


 DISEÑER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. C.I.P. N° 147898

DATOS GENERALES

Apellidos y Nombres del
 experto: **Huayaney Vargas Edgar**
 N.º de registro CIP: **273268**
 Especialidad: **Supervisor**

Autores del instrumento

Instrumento de evaluación: Contenido de humedad, Densidad máxima, Corte directo, CBR, Granulometría.

ASPECTOS DE VALIDACION

(1) MUY DEFICIENTE (2) DEFICIENTE (3) ACEPTABLE (4) BUENA (5) EXCELENTE

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están definidos con lenguaje apropiado y libre de ambigüedad acorde con los sujetos muestrales.					X
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recolectar los resultados obtenidos sobre la variable: el suelo arcilloso en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					X
ACTUALIDAD	El instrumento muestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: suelo arcilloso.					X
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan el orden entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					X
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, indicadores y dimensiones.					X
INTENCIONALIDAD	Las añadiduras del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variables de estudio.					X
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de las añadiduras del instrumento, describir, análisis y explicar la realidad, motivo de la investigación.					X
COHERENCIA	Las añadiduras del instrumento conllevan relación con los indicadores de cada dimensión de variable: Suelo arcilloso.					X
METODOLOGIA	La relación entre técnica y el instrumento propuesto garantizan el propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovador.					X
PERTINENCIA	La relación de las añadiduras conlleva relación con la escala valorativa del instrumento					X
TOTAL						X

Ojo: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 45: sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable

OBSERVACIONES

OBTENICION DE CALIFICACION

50



Lima 15 de marzo del 2023

Apellidos y Nombres del
 experto: **Alejandro Vildoso Flores**
 N.º de registro CIP: **122950**
 Especialidad: **Gerente de proyectos**

Autores del instrumento

Instrumento de evaluación: Contenido de humedad, Densidad máxima, Corte directo, CBR, Granulometría.

ASPECTOS DE VALIDACION

(1) MUY DEFICIENTE (2) DEFICIENTE (3) ACEPTABLE (4) BUENA (5) EXCELENTE

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están definidos con lenguaje apropiado y libre de ambigüedad acorde con los sujetos muestrales.					x
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recolectar los resultados obtenidos sobre la variable: el suelo arcilloso en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					x
ACTUALIDAD	El instrumento muestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: suelo arcilloso.					x
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan el orden entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					x
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, indicadores y dimensiones.					x
INTENCIONALIDAD	Las añadiduras del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variables de estudio.					x
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de las añadiduras del instrumento, describir, análisis y explicar la realidad, motivo de la investigación.					x
COHERENCIA	Las añadiduras del instrumento conllevan relación con los indicadores de cada dimensión de variable: Suelo arcilloso.					x
METODOLOGIA	La relación entre técnica y el instrumento propuesto garantizan el propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovador.					x
PERTINENCIA	La relación de las añadiduras conlleva relación con la escala valorativa del instrumento					x
TOTAL						

Ojo: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 45: sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable

OBSERVACIONES

OBTENICION DE CALIFICACION

50

Lima 15 de marzo del 2023

D/ 
ALEJANDRO VILDOSO FLORES
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. Nº 122950

Apellidos y Nombres del
experto: Desgner Manuel Morales Millones
N.º de registro CIP: 147898
Especialidad: Supervisor

Autores del instrumento

Instrumento de evaluación: Contenido de humedad, Densidad máxima, Corte directo, CBR, Granulometría.

ASPECTOS DE VALIDACION

(1) MUY DEFICIENTE (2) DEFICIENTE (3) ACEPTABLE (4) BUENA (5) EXCELENTE

CRITERIOS	INDICADORES	1	2	3	4	5
CLARIDAD	Los ítems están definidos con lenguaje apropiado y libre de ambigüedad acorde con los sujetos muestrales.					x
OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recolectar los resultados obtenidos sobre la variable: el suelo arcilloso en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.					x
ACTUALIDAD	El instrumento muestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: suelo arcilloso.					x
ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan el orden entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable, de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.					x
SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, indicadores y dimensiones.					x
INTENCIONALIDAD	Las añadiduras del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variables de estudio.					x
CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de las añadiduras del instrumento, describir, análisis y explicar la realidad, motivo de la investigación.					x
COHERENCIA	Las añadiduras del instrumento conllevan relación con los indicadores de cada dimensión de variable: Suelo arcilloso.					x
METODOLOGIA	La relación entre técnica y el instrumento propuesto garantizan el propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovador.					x
PERTINENCIA	La relación de las añadiduras conlleva relación con la escala valorativa del instrumento					x
TOTAL						

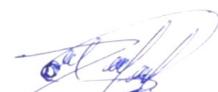
Ojo: Tener en cuenta que el instrumento es válido cuando se tiene un puntaje mínimo de 45: sin embargo, un puntaje menor al anterior se considera al instrumento no valido ni aplicable

OBSERVACIONES

OBTENICION DE CALIFICACION

50

Lima 15 de marzo del 2023


DESIGNER MANUEL MORALES MILLONES
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. N° 147898

ANEXO 6: ANÁLISIS DE COSTOS

A continuación, en la tabla N°33 se detallan los gastos en bienes y servicios a utilizar en el presente trabajo de investigación.

Tabla 33:

Presupuesto de bienes y servicios

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
1	Bienes				S/955.00
1.01	Útiles de Escritorio	UNID.	1	S/250.00	S/250.00
1.02	Internet	MES.	6	S/75.00	S/450.00
1.03	Impresión	UNID.	1	S/40.00	S/40.00
1.04	Modulo	UNID.	1	S/35.00	S/35.00
1.05	Luz	MES.	6	S/30.00	S/180.00

Fuente: *Elaboración propia*

De la misma manera, en la tabla N°34 se detalla el costo por ensayo a realizar en el presente trabajo de investigación.

Tabla 34:

Presupuesto de Ensayos de Laboratorio

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
2	Ensayo de laboratorio				S/5,385.00
2.01	Estudio químico de la ceniza	Und	1	S/300.00	S/300.00
2.02	Análisis granulométrico por tamizado	Und	3	S/70.00	S/210.00
2.04	Determinación del Límite líquido	Und	15	S/20.00	S/300.00
2.05	Determinación del Límite plástico	Und	15	S/30.00	S/450.00
2.06	Ensayos de Proctor modificado	Und	15	S/75.00	S/1,125.00
2.07	Ensayos de CBR	Und	15	S/200.00	S/3,000.00

Fuente: *Elaboración propia; precios de laboratorio GSE ciudad de Chota.*

En la tabla N°35 se detalla el costo de los materiales para la elaboración del concreto.

Tabla 35:

Presupuesto de materiales.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
3	Materiales				S/710.00
3.01	Excavación de suelo de subrasante	Glb	1	S/500.00	S/500.00
3.02	Ceniza de cáscara de pajuro	M3	3	S/70.00	S/210.00

Fuente: *Elaboración propia*

De igual forma, en la tabla N°36 se especifica el presupuesto general a utilizar en el proyecto de investigación.

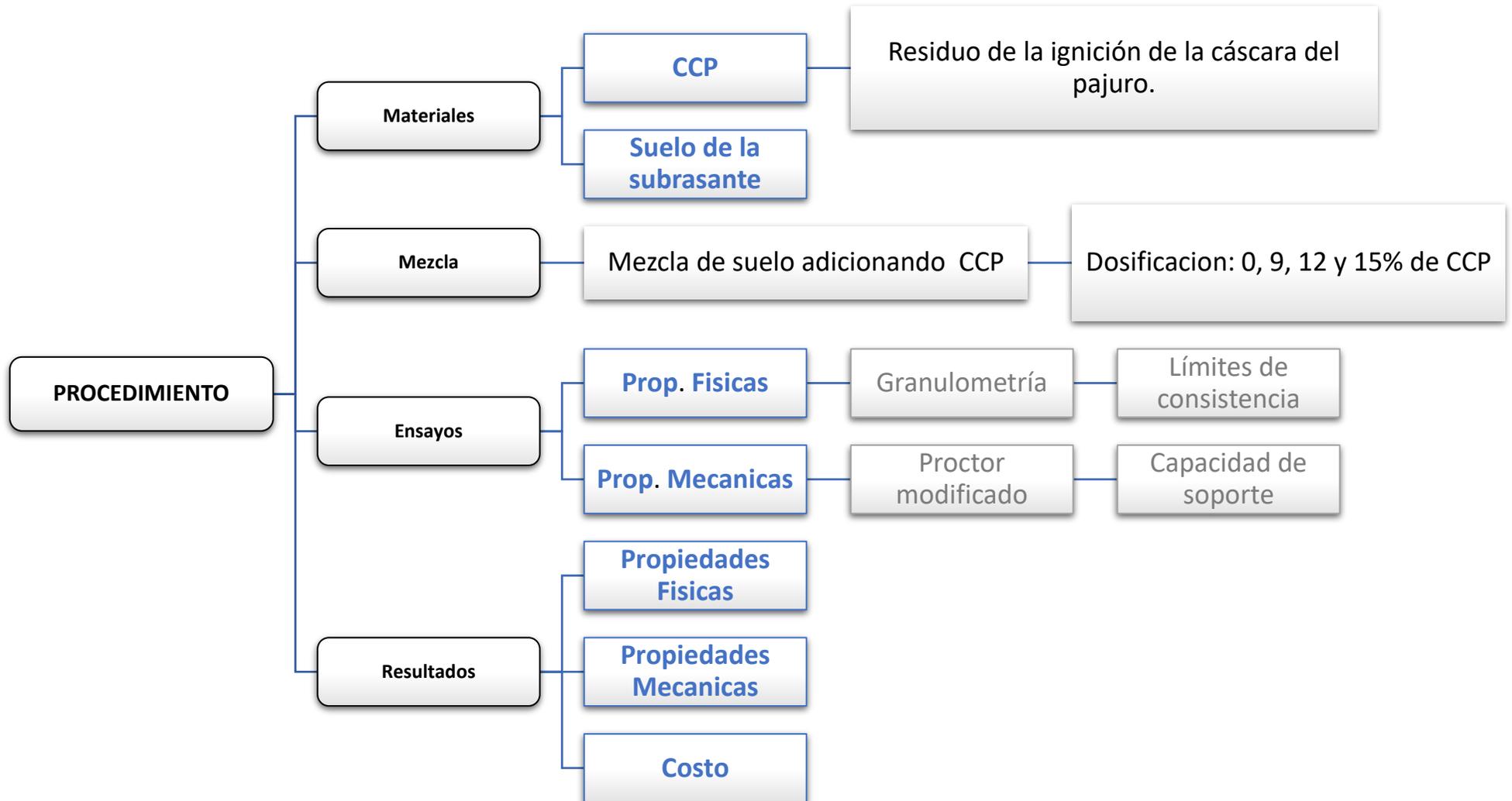
Tabla 36:

Presupuesto General

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
4					S/7,050.00
4.01	Bienes y servicios	GLB.			S/955.00
4.02	Materiales	GLB.			S/710.00
4.03	Ensayo de campo	GLB.			S/0.00
4.04	Ensayo de laboratorio	GLB.			S/5,385.00

Fuente: *Elaboración propia.*

ANEXO 7: PROCEDIMIENTO



ANEXO 8: TURNITIN

ANEXO 9: NORMATIVA

Las normas utilizadas son las siguientes:

MTC E 204

Se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para uso como agregados o los que están siendo usados como tales. Los resultados serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con los requisitos exigidos en la especificación técnica de la obra y proporcionar datos necesarios para el control de producción de agregados.

Análisis de los agregados (NTP 339.128-1999)

Esta norma Técnica Peruana establece el método para el análisis granulométrico por tamizado y por sedimentación de los suelos, pudiendo efectuarse en forma combinada con uno de los métodos indicados.

Contenido de humedad (NTP 339.160-2001)

Esta Norma Técnica Peruana establece los procedimientos para determinar el contenido de agua (humedad) en suelos por medio de un secado consecutivo del suelo en un horno microondas. Esta NTP no intenta ser un reemplazo del Método de Ensayo NTP 339.127; sino más bien un suplemento cuando se requieran resultados más rápidos o se desean apresurar otras fases del ensayo. El Método de Ensayo NTP 339.127 será usado como un método de comparación para las verificaciones de exactitud y corrección.

Ensayo de CBR (NTP 339.145-1999)

Esta norma técnica peruana establece el método de ensayo del CBR (Relacion de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. Este método es para evaluar principalmente la resistencia de materiales cohesivos, de tamaño máximo de partículas menores a 19,0 mm (3/4 de pulg) sin embargo no se encuentra limitado a ello.

Ensayo Proctor (NTP 339.141-1999)

Este método de ensayo cubre procedimientos de compactación en laboratorio que se utilizan para determinar las relaciones entre el contenido de agua y el peso unitario seco de los suelos (curva de compactación) compactada en un molde con un diámetro de 101,06 o 152,4 mm (4 o 6 pulg) con un pison de 44.5-n (10-lbf) que

cae en una altura de 457 mm (18 pulg) produciendo un efecto de compactación de (2,700 KN-m/m³(56,000 pie-lbf/pie³)).

ENSAYO GRANULOMETRICO (N.T.P.339.128)

Se divide a la muestra en dos porciones, en la primera contiene solo partículas que retiene el tamiz 2.00 mm (N°10), mientras que en la 2da porción contiene solo partículas que pasan el tamiza 2.00 mm (N°10) (NTP-339.128,1999). La masa de suelo seca al aire dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con el siguiente cuadro: (Dávila Vásquez 2018)

Peso de las muestras mínimos según el diámetro

Tabla 37:

Peso de muestras mínimos según el diámetro

Diámetro nominal máximo de las partículas por el tamiz 2,00 mm (No.10)	Masa aproximada retenida en gramos
76,2 mm (3 pulg)	5000
50,8 mm (2 pulg)	4000
38,1 mm (1 1/2 pulg)	3000
25,4 mm (1 pulg)	2000
19,0 mm (3/4 pulg)	1000
9,5 mm (3/8 pulg)	500

Fuente: NTP-339.128

Después se desarrolla el tamizado utilizando las mallas, para con ello finalmente poder determinar el peso retenido en cada tamiz tomando los datos respectivamente. Continuando con el procedimiento, se separa las porciones retenidas en el tamiz 2,00 mm (N°10) en una serie de fracciones usando los tamices 75 mm (3”), 50 mm (2”), 37.5 mm (1 ½”), 25 mm (1”), 19mm (3/4”), 9,5 mm (3/8”), 4.75 mm (N°4), t 2,00 mm (N°10); se puede añadir otras en caso se necesite. El tamizado se realiza efectuando movimientos vertical y lateral, acompañado de ligeros golpeteos para que la muestra este en persistente movimiento. Para terminar, se procede a pesarlos en una balanza para poder obtener la cantidad que pasó en cada uno de los tamices. (Dávila Vásquez 2018)

ANEXO 10: PANEL FOTOGRÁFICO



