


Incorporation of Rice Husk Ash for the Improvement of Mechanical Properties of Clay Soils for the Paving of the Santa Rosa de Combayo Highway, Cajamarca

Jhonalber Torres Goicochea, Bach.¹ and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.² 

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00035733@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, tulio.guillen@upn.pe

Abstract. The present investigation has as a general objective to determine the influence of the addition of rice husk ash on the mechanical properties of clayey soils for paving the Santa Rosa de Combayo highway. Regarding the methodology, a quantitative approach with an experimental design is considered, which has a population of 10 km that make up the Santa Rosa de Combayo Highway and as a study sample, a pit is analyzed in relation to a 1 km section in the area of study. The results of the C-01 soil sample, both for the one corresponding to the natural state and for those added, are a CL soil classification by SUCS and A-7-6 (12) by AASHTO. The standard clayey soil sample obtained a CBR at 95% of the Maximum Dry Density, a value of 16.40% and with the addition of 7.5% and 8.5% rice husk ash, it was possible to obtain CBR values of 36% and 34 % respectively. Finally, it is concluded that the optimal percentage of incorporation of rice husk ash is 7.5% in clayey soils of the Santa Rosa de Combayo highway, Cajamarca.

Keywords: Rice husk ash; clay soils; paving; mechanical properties.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Incorporación de Ceniza de Cascarilla de Arroz para el Mejoramiento de Propiedades Mecánicas de Suelos Arcillosos para la Pavimentación de la Carretera Santa Rosa de Combayo, Cajamarca

Jhonalber Torres Goicochea, Bach.¹ and Tulio Edgar Guillén Sheen, Ing.²

¹Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, N00035733@upn.pe

²Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca - Perú, tulio.guillen@upn.pe

Resumen- La presente investigación tiene como objetivo general determinar la influencia de la adición de ceniza de cascarilla de arroz en las propiedades mecánicas de suelos arcillosos para pavimentación de la carretera Santa Rosa de Combayo. En cuanto a la metodología se considera un enfoque cuantitativo con diseño experimental, la cual tiene una población de 10 km que conforman la Carretera Santa Rosa de Combayo y como muestra de estudio se analiza una calicata en relación con 1 km de tramo en la zona de estudio. Se tiene como resultados, de la muestra de suelo de la C-01, tanto para la correspondiente al estado natural como a las adicionadas, una clasificación de suelo CL por SUCS y A-7-6 (12) por AASHTO. La muestra de suelo arcilloso patrón obtuvo un CBR al 95% de la Máxima Densidad Seca, un valor de 16.40% y con adición de 7.5% y 8.5% de ceniza de cascarilla de arroz, se logró obtener valores de CBR de 36% y 34% respectivamente. Finalmente, se concluye que, el porcentaje óptimo de incorporación de ceniza de cascarilla de arroz es del 7.5% en suelos arcillosos de la carretera Santa Rosa de Combayo, Cajamarca.

Palabras Clave: Ceniza de cascarilla de arroz, suelos arcillosos, pavimentación, propiedades mecánicas.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel internacional, existe una gran problemática relacionada con la cantidad de desechos de alimentos expuestos en nuestro medio ambiente, convirtiéndose en una alerta preocupante para la sociedad. Dentro de estos desechos se pueden identificar al polvo de sierra como subproducto de la madera, ceniza de cáscara de coco, cenizas de cáscara de mijo, ceniza de mazorca de maíz, ceniza de bagazo, ceniza de vaina de algarrobo y ceniza de cascarilla de arroz, de los cuales, se ha podido comprobar que pueden convertirse en grandes aditivos que permiten la mejora de materiales en el sector de la construcción [1].

Según [3], los suelos finos, como limos y arcillas, son aquellos tipos de suelos que presentan características o propiedades negativas ante la presencia del agua, representando así menor resistencia y durabilidad, por lo que, se considera esencial la estabilización de estos mismos para obtener así una mayor capacidad de soporte.

En algunos casos, los posibles problemas del suelo pueden evitarse optando por otra zona para una construcción,

eliminando el suelo no deseado y reemplazando por un material de préstamo o mediante la estabilización utilizando materiales aditivos que brinden la resistencia que se requiere un suelo [47].

Esta ceniza se considera como un residuo agrícola obtenido de la molienda del arroz, siendo aquel que se genera en gran cantidad anualmente en Nigeria y en muchos países alrededor del mundo [2]. Este material se obtiene de la cascarilla de arroz quemada a una temperatura de 400°C a 700°C, pasándolo después por el tamiz de 75 μ mm, siendo así considera un material puzolánico con un contenido de sílice en un 67% a 69% aproximadamente y óxidos de hierro en un 0.68% a 0.95%, convirtiéndose este en un indicador de poder convertirse en un buen material puzolánico, dado que son materiales naturales o subproductos industriales que contienen sílice, compuesto formado por silicio y oxígeno ya que se encuentra en el medio ambiente en diferentes formas, y es por ello que endurece a temperaturas normales.

El Perú no es ajeno a esta realidad ya que, se caracteriza por presentar a la misma vez un crecimiento de la producción industrial y agrícola; por ende, un gran aumento de residuos, convirtiéndose en un foco de contaminación preocupante por no presentar un tratamiento sustentable o un buen tratamiento de su disposición final [15]. La producción de arroz es una industria muy significativa en Perú, alcanzando aproximadamente 507 mil 10 toneladas en el año 2018, evidenciando así un incremento en 95.20% al año anterior [24].

Para el sustento de esta investigación, es importante citar a los siguientes antecedentes que se consideran de gran importancia, como [38], tuvo como objetivo determinar la influencia del CCA (ceniza de cascarilla de arroz) en suelos, obteniendo así un CBR (California Bearing Ratio) de 7.60% para la muestra de suelo natural, mientras a la adición de cáscara de arroz, se obtuvo un CBR con valores de 15.73% al 17.59% con adición del 8% de CCA. Concluyendo así que, a mayor incremento de adición de ceniza de cascarilla de arroz, se obtiene un CBR mayor. De esta manera, la CCA mejora considerablemente permitiendo el incremento de su resistencia CBR mediante un proceso de mezcla para estabilización.

En la referencia [4], se tiene como objetivo general estabilizar la subrasante mediante el empleo de CCA y otros materiales residuos, resaltando como resultados la determinación de su CBR óptimo con 92.5% del suelo con adición del 7.5% de ceniza de composición. El valor de este CBR estabilizado con las cenizas incrementó en un 134%, 79.81% y 48.92%, respectivamente, frente a un suelo no estabilizado. De esta manera, se concluye, que esta opción de estabilización de la adición de la ceniza de cáscara de arroz resultó ser eficiente para su empleo en proyectos aplicativos reales de la ingeniería.

En la referencia [55], presentaron como finalidad evaluar la influencia en suelos arcillosos con la adición de CCA, de esta manera obtuvieron de sus muestras de estudio un CBR de 3.03%, 6.39%, 5.18% y 5.86% para las muestras patrón y muestras con 7.50%, 10% y 12.50% CCA respectivamente. A diferencia de la adición de 12% limo con un CBR de 9.27% y 12% limo con 7.50%, 10% y 12.50% CCA obteniendo para cada muestra un valor de CBR de 6.48%, 12% y 9.54%, evidenciando un comportamiento no usual al incrementar mucho la cantidad de limos.

Asimismo, se podrá determinar aquellas bases teóricas de gran relevancia relacionadas al tema de investigación, como se detalla a continuación en función principalmente de lo descrito en el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos [40].

Los suelos arcillosos conformados en su mayoría por fracciones finas de minerales de arcilla de tamaño menores a 0.002mm [17]. Los suelos arcillosos cuentan con diferentes propiedades que son de utilidad ingenieril, sin embargo, algunas de estas pueden afectar negativamente el comportamiento para el cual se ha requerido. Basándose en los estudios de Karl Terzaghi, se tienen entre las propiedades más importantes:

Plasticidad: Los suelos arcillosos presentan una alta capacidad para deformarse irreversiblemente sin mostrar agrietamiento ni cambios considerables de volumen [40].

Capacidad de retención de agua: Los suelos arcillosos al tener una gran superficie específica y un porcentaje elevado de porosidad presentan una alta capacidad de retención de agua [40].

Hinchamiento: Debido a la alta capacidad de retención de agua, las láminas de las partículas presentes en los suelos arcillosos tienden a separarse generando el hinchamiento [40].

Estabilización de suelos: Procedimiento que se encarga de realizar la mejora de las propiedades de los suelos con respecto al tiempo, al influir de manera positiva en estos mismos [58]. El diseño de esta propuesta va a estar en función de la clasificación del suelo, la dosificación de estabilizante para obtener el efecto deseado en los suelos [5].

Según [25], realizó un estudio de la composición química de la cascarilla de arroz, obteniendo así SiO₂ en un 84.31%, Al₂O₃ en un 1.33%, Fe₂O₃ en un 1.25%, CaO en un 8.47% y MgO en un 1.18%, entre otros componentes, pero en porcentajes mínimos. Debido a su alto contenido de sílice, se considera como material sustituto del cemento.

Asimismo [4], afirman que, estas cenizas de CCA presentaron en un 95.6% de sílice, 1.20% de óxido de hierro, 0.30% de óxido de calcio y óxido de aluminio en el mismo porcentaje anterior, y 0.20% de magnesia. En la investigación [9], afirma que, la temperatura de calcinación para obtener un residuo agroindustrial de mejor calidad con mayor cantidad de sílice es de 500°C a 700°C.

Entonces, podemos deducir que ante la problemática presente podemos generar una pregunta de investigación, ¿Cómo influye la adición de cenizas de cascarilla de arroz en las propiedades mecánicas de suelos arcillosos para pavimentación de la carretera Santa Rosa de Combayo, Cajamarca? asimismo, ¿Cuáles son las propiedades físicas del suelo arcilloso y de qué manera influye la ceniza de cascarilla de arroz?, ¿cuál sería el porcentaje óptimo de incorporación de ceniza de cascarilla de arroz?, y conocer si es que presenta variaciones en sus propiedades mecánicas con respecto al suelo arcilloso natural.

Esta propuesta considera como objetivo general determinar la influencia de la adición de cenizas de cascarilla de arroz en las propiedades mecánicas de suelos arcillosos para pavimentación de la carretera Santa Rosa de Combayo, Cajamarca; considerando también la problemática identificada, se puede tomar en cuenta aquellos objetivos específicos a los siguientes: Determinar las propiedades físicas del suelo arcilloso en la carretera Santa Rosa de Combayo, Cajamarca; determinar cómo influye la adición de la ceniza de cascarilla de arroz en el CBR del suelo arcilloso en la carretera Santa Rosa de Combayo, Cajamarca; establecer el porcentaje óptimo de incorporación de ceniza de cascarilla de arroz en suelos de la carretera Santa Rosa de Combayo, Cajamarca; realizar un análisis comparativo de las propiedades mecánicas del suelo arcilloso natural y el suelo arcilloso con diferentes adiciones de ceniza de cascarilla de arroz. Mientras que, como hipótesis, se detalla “Las cenizas de cascarilla de arroz influyen en las propiedades mecánicas de suelos arcillosos para pavimentación de la carretera Santa Rosa de Combayo, Cajamarca”.

Esta investigación se justifica, al necesitar suelos aptos para la construcción que presenten buenas características y propiedades mecánicas con fines de pavimentación, en busca de una vida óptima de servicio. Para llegar a obtener dichos resultados, es necesario cumplir con la normativa existente y vigentes, las cuales nos brindan las especificaciones mínimas que debe cumplir el suelo para ser utilizado como subrasante para una construcción tanto para carreteras como pavimentos.

Cabe mencionar que el presente trabajo está basado en estudios tomados de la referencia [60] “Mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos mediante la adición de ceniza de cascarilla de arroz para la pavimentación de la carretera Santa Rosa de Combayo, Cajamarca, 2021”

II. METODOLOGÍA

La investigación es de tipo cuantitativa, ya que permite obtener resultados de grupos representativos de estudio, teniendo en consideración la recolección de datos numéricos mediante experimentos o pruebas. En el caso de la presente propuesta, se sustentó la viabilidad mediante la obtención de las propiedades de los suelos tanto en su estado natural como muestras de suelo modificado por ensayos realizados en laboratorio bajo el cumplimiento de las Normas Técnicas Peruanas vigentes.

Asimismo, se considera experimental ya que se manipuló sus variables, al tener como finalidad descubrir el efecto e influencia que presenta la adición de CCA en dosificaciones del 7.5% y 8.5%, en el suelo para pavimentación de la carretera Santa Rosa de Combayo en Cajamarca. Se debe tener en cuenta que, para la obtención de dichos residuos agroindustriales, se realizó un proceso que inicia desde la cosecha de la cáscara de arroz en los arrozales, hasta su etapa de combustión.

La población, considerada en la presente investigación son los 10 km que conforman la Carretera Santa Rosa de Combayo, provincia de Cajamarca.

El tipo de muestreo es no probabilístico o intencional, por lo que, el investigador selecciona las cantidades de muestra de estudio a juicio propio y elección a criterio de este. Por lo tanto, se considera como muestra de estudio a 1 km de todo el tramo de la carretera en mención. Según el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones [40], la cantidad de calicatas requeridas por cada kilómetro de estudio depende del IMDA (Índice Medio Diario Anual) de la vía, para este caso el IMDA es 60 veh/día, es decir menor a 200 veh/día de bajo volumen de tránsito, por lo que se consideró el mínimo valor de requerimiento según norma de realizar una sola calicata con denominación de “C-01” con una profundidad de 1.80 m con respecto al nivel de la subrasante; cumpliendo con ser mayor a la profundidad mínimo de 1.80 m requerida, localizada en coordenadas UTM 775,613.72E y 9,210,927.18N.

El método de análisis de datos es descriptivo, ya que, se basa en realizar la caracterización de las muestras de estudio.

Para la recopilación de información, fue necesario considerar las siguientes técnicas e instrumentos:

TABLA 1
TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOPIACIÓN DE DATOS [60]

Técnicas	Instrumentos
Observación Ensayos de laboratorio - Análisis granulométrico: N.T.P 339.128. - Límites de Atterberg: N.T.P 339.129. - Contenido de humedad: N.T.P 339.127. - Proctor modificado: N.T.P 399.141. - C.B.R: N.T.P 399.145. Análisis de contenido	Ficha de observación Fichas de laboratorio de cada ensayo normado. Instrumentos y herramientas para cada ensayo (balanza, tamices, recipientes, probetas, etc.) Ficha bibliográfica

La validez y confiabilidad de la información obtenida en esta investigación, se realiza con un juicio de expertos, quienes son especialistas en el área dentro de la carrera profesional de Ingeniería Civil, para la verificación de todos los datos obtenidos junto a su correcto procesamiento. En el caso específicamente de validez, se encarga de evaluar los resultados obtenidos y la confiabilidad de los errores cometidos en las mediciones u obtención de los resultados de la investigación.

En la presente investigación recaen en los valores del investigador hacia lo desarrollado en busca de obtener la información sin alteración alguna para brindar un aporte eficiente y real para la sociedad. Para esta investigación también fue necesario citar algunos autores que cuentan con información relevante y sirven de guía para la investigación, por lo que, ha sido necesario citar a cada uno de manera correcta, sin alterar sus datos originales de cada aporte.

Asimismo, en el aspecto técnico, se ha llevado a cabo el cumplimiento de toda la normativa existente en cada ensayo realizado, respetando sus procedimientos y cálculos detallados para la obtención de información totalmente válida, por ello, es importante mencionar aquellas Normas Técnicas Peruanas, de las cuales serán cumplidas en su totalidad para la correcta obtención de datos, para el análisis granulométrico bajo la N.T.P 339.128., el contenido de humedad bajo la N.T.P 339.127, los límites de Atterberg bajo la N.T.P 339.129, así como Proctor modificado bajo la N.T.P 399.141 y finalmente el ensayo C.B.R bajo el cumplimiento de la N.T.P 399.145.

III. RESULTADOS

Se realizó la calicata C-01 con una localización con coordenadas UTM 775,613.72E y 9,210,927.18N de la carretera Santa Rosa de Combayo en Cajamarca. De esta manera se procedió a realizar los ensayos de contenido de humedad N.T.P 339.127, granulometría N.T.P 339.128, límites de consistencia N.T.P 339.129 del suelo patrón, así como también adicionando el 7.5% de CCA y 8.5% de CCA, para la obtención de su clasificación según AASHTO y según SUCS.

TABLA 2
PORCENTAJE GRANULOMÉTRICO DE LA MUESTRA DEL SUELO
PATRÓN ADICIONANDO
7.5% Y 8.5% DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ [60]

Descripción	% que pasa Suelo Patrón	% que pasa con 7.5% de CCA	% que pasa 8.5% de CCA
Malla N°4	100%	100%	100%
Malla N°40	84.3%	83.7%	83.9%
Malla N°200	67%	67.2%	67.3%

TABLA 3
ÍNDICES DE PLASTICIDAD DEL SUELO PATRÓN,
ADICIONANDO 7.5% Y 8.5% DE CENIZA DE CASCARILLA DE
ARROZ [60]

DESCRIPCIÓN	% suelo patrón	% con 7.5% de CCA	% con 8.5% de CCA
Limite líquido	41.90	43.20	43.30
Limite plástico	19.60	20.80	20.80
Índice de plasticidad	22.30	22.40	22.50

De estas muestras determinamos su clasificación según SUCS y AASHTO, considerándose de manera general como un suelo arcilloso.

TABLA 4
CARACTERÍSTICAS DE LA MUESTRA PATRÓN, ADICIONANDO
7.5% Y 8.5% DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ [60]

CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	
Color	Marrón
Clasificación SUCS	CL
Clasificación AASHTO	A-7-6 (12)
Tipo de suelo	Arcilla de baja plasticidad

Así mismo, Se realizó la evaluación de las propiedades mecánicas como Proctor modificado y CBR del suelo arcillosos natural y suelo arcilloso con adición de 7.5% CCA y 8.5% CCA.

a) Suelo arcilloso patrón:

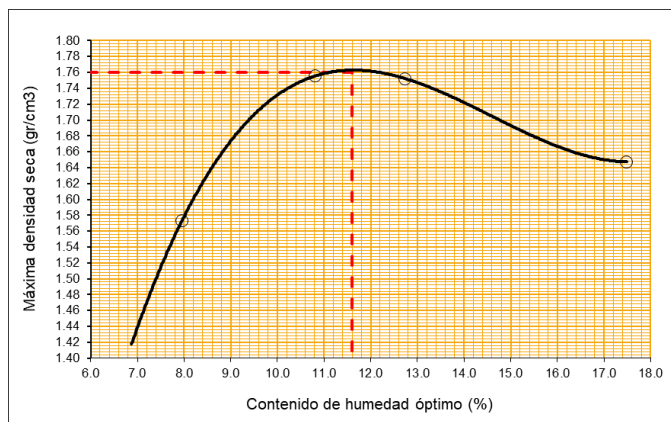


Fig. 1 Curva de Proctor modificado de muestra patrón [60]

Visualizamos la curva del Proctor Modificado de la muestra de suelo en su estado natural denominado “patrón”, la cual relaciona mediante una curva la máxima densidad seca obtenida de 1.76 gr/cm³ y su contenido de humedad óptimo de 11.60%.

TABLA 5
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO DE LA MUESTRA DE
SUELO PATRÓN [60]

DESCRIPCIÓN	VALOR
Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.76
Contenido de humedad óptimo (%)	11.60

Mientras que, para el ensayo de California Bearing Ratio (CBR), se realizó bajo la normativa vigente ASTM D1883, obteniendo así sus densidades y C.B.R para el 100% de la M.D.S y al 95% de la M.D.S, obteniendo así los siguientes resultados.

De esta manera, para la muestra de suelo en su estado natural sin adición de ceniza de cascarilla de arroz, se logró obtener un CBR al 100% de la MDS, un valor de 10.00% y 16.40% como CBR al 95% de la MDS.

TABLA 6
RESULTADOS CBR DE LA MUESTRA DE SUELO PATRÓN [60]

DESCRIPCIÓN	VALOR
CBR al 100% de la MDS	10.00%
CBR al 95% de la MDS	16.40%

b) Suelo arcilloso + 7.5% CCA

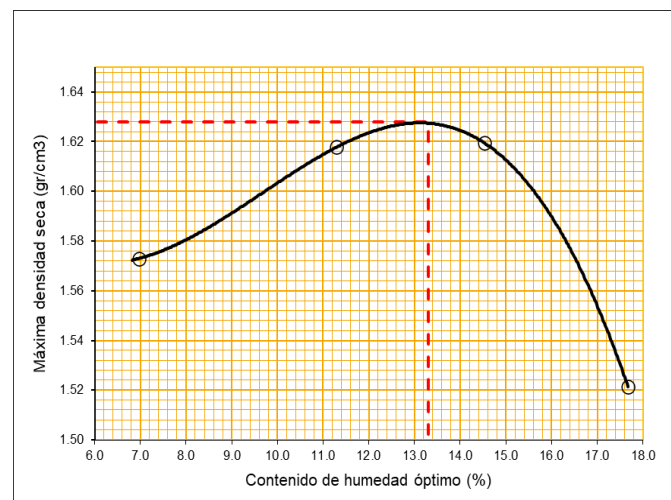


Fig. 2 Curva de Proctor modificado de muestra suelo + 7.5% Ceniza de Cascarilla de Arroz [60]

Luego de visualizar la curva del Proctor modificado de la muestra de suelo en su estado natural con adición de 7.5% CCA, la cual relaciona mediante una curva la máxima densidad seca obtenida de 1.628 gr/cm³ y su contenido de humedad óptimo de 13.30%.

TABLA 7
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO + 7.5% DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ [60]

DESCRIPCIÓN	VALOR
Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.628
Contenido de humedad óptimo (%)	13.30

Se realizó el ensayo de California Bearing Ratio (CBR), se realizó bajo la normativa vigente ASTM D1883, obteniendo así sus densidades y C.B.R para el 100% de la M.D.S y al 95% de la M.D.S, obteniendo así los siguientes resultados, se logró obtener un CBR al 100% de la MDS, un valor de 22.00% y 36.00% como CBR al 95% de la MDS.

TABLA 8
RESULTADOS CBR DEL SUELO + 7.5% DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ [60]

DESCRIPCIÓN	VALOR
CBR al 100% de la MDS	22.00%
CBR al 95% de la MDS	36.00%

c) Suelo arcilloso + 8.5% CCA

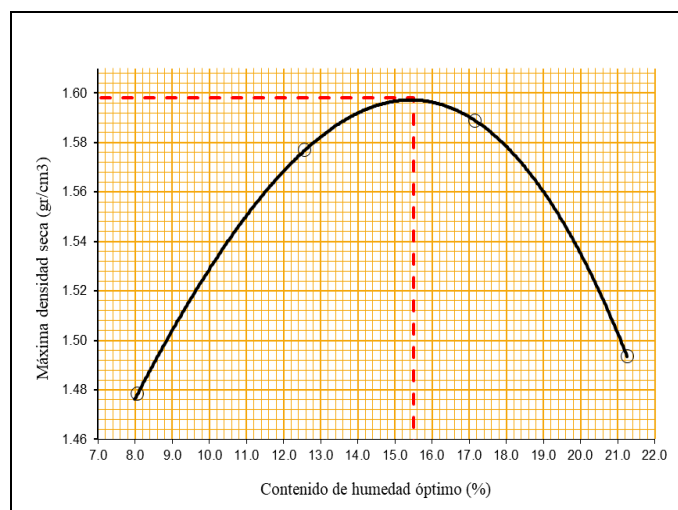


Fig. 3 Curva de proctor modificado de muestra suelo + 8.5% Ceniza de Cascarilla de Arroz [60]

Así mismo se visualiza la curva del proctor modificado de la muestra de suelo en su estado natural con adición de 8.5% CCA, la cual relaciona mediante una curva la máxima densidad seca obtenida de 1.598 gr/m³ y su contenido de humedad óptimo de 15.50%

TABLA 9
RESULTADOS DE PROCTOR MODIFICADO DEL SUELO+ 8.5% DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ [60]

DESCRIPCIÓN	VALOR
Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.598
Contenido de humedad óptimo (%)	15.50

Asimismo, se realizó el ensayo de CBR para la muestra de suelo en su estado natural con adición de 8.5% de ceniza de cascarilla de arroz sin adición de ceniza de cascarilla de arroz, se logró obtener un CBR al 100% de la MDS, un valor de 19.00% y 34.00% como CBR al 95% de la MDS.

TABLA 10
RESULTADOS CBR DEL SUELO + 7.5% DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ [60]

DESCRIPCIÓN	VALOR
CBR al 100% de la MDS	19.00%
CBR al 95% de la MDS	34.00%

A continuación, se realiza el análisis comparativo de las propiedades mecánicas del suelo sin y con adición de ceniza de cascarilla de arroz, en lo cual se podrá visualizar los resultados que se obtuvieron de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos con adición de ceniza de cascarilla de arroz frente a las propiedades mecánicas de los suelos arcillosos en su estado natural.

TABLA 11
RESULTADOS DE PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS MUESTRAS DE ESTUDIO [60]

Descripción	Suelo natural	Suelo +7.5% CCA	Suelo +7.5% CCA
Máxima densidad seca (gr/cm ³)	1.76	1.628	1.598
Contenido de humedad óptimo (%)	11.60	13.30	15.50
CBR al 100% de la MDS (%)	11.00	22.00	19.00
CBR al 95% de la MDS (%)	16.40	36.00	34.00

En la tabla anterior, se puede evidenciar que la adición de ceniza de cascarilla de arroz reduce la máxima densidad seca a mayor incremento de este residuo agroindustrial, mientras que en cuanto a su contenido de humedad óptimo incrementa a la adición de ceniza de cascarilla de arroz. Asimismo, en cuanto a su CBR, se evidencia un incremento significativo en su adición de ceniza, determinando así que el porcentaje de adición óptimo fue del 7.5% de ceniza de cascarilla de arroz en el suelo arcilloso de la carretera Santa Rosa de Combayo en Cajamarca.

Para el dimensionamiento del espesor de la capa de afirmado se adoptó como representativa la ecuación del método NAASRA, (National Association of Australian State Road Authorities, hoy AUSTRROADS) que relaciona el valor soporte del suelo (CBR) y la carga actuante sobre el afirmado, expresada en número de repeticiones de EE:

$$e = [219 - 211 * \log CBR + 58 * (\log CBR)^2] * \log \left(\frac{Nrep}{120} \right)$$

Donde:

e = Espesor de la capa de afirmado en mm.

CBR = Valor del CBR de la subrasante.

Nrep = Número de repeticiones de EE para el carril de diseño.

- Utilizando los parámetros:

CBR (95%) para dosificación de 7.5% CCA = 36.00%

Nrep = 300,000 EE

- Tenemos un espesor de pavimento:

Valor teórico

e = 105.70 mm = 10.57cm

Valor práctico: e = 15 cm

IV. DISCUSIÓN

Mediante el desarrollo de la presente investigación se pudo comprobar que las cenizas de cascarilla de arroz (CCA) influyen las propiedades mecánicas de suelos arcillosos para la Pavimentación de la Carretera Santa Rosa de Combayo, Cajamarca; por el hecho de que se encontraron mejoras con las dosificaciones empleadas en relación con la muestra en estado natural sin adiciones. En cuanto a las limitaciones, esta investigación se hizo solamente con dos porcentajes de ceniza de cascarilla de arroz, por motivo de distancia para poder conseguir dicha ceniza, también por motivo de que la empresa no vende en pequeñas cantidades. En el caso de la realización de la calicata hubo inconvenientes por motivos de las lluvias de la época. Por motivo de emergencia sanitaria se hizo difícil conseguir el laboratorio ya que por un alto índice de contagios no contábamos con la disponibilidad de laboratorios de la universidad, es por ello, que opté por un laboratorio particular. Otra limitación resaltante fue la accesibilidad a la ceniza de cascarilla de arroz en la ciudad de Cajamarca, por ello, se contó solo con una cantidad limitada de ceniza de cascarilla de arroz, siendo así utilizado solo para dos muestras de adición como 7.5% y 8.5%.

Para verificar lo anteriormente mencionado, se realizó el estudio de las propiedades físicas de suelos arcillosos proveniente de la carretera Santa Rosa de Combayo en Cajamarca en función de las muestras de suelo en su estado natural y con adición de CCA. Para el suelo natural, de la

calicata-01, se identificó 0% de grava, 33% de arena y 67% de finos, clasificándose como un material arcilloso de plasticidad baja, según SUCS como un suelo CL y según AASHTO como un suelo A-7-6 (12). Asimismo, se obtuvo un contenido de humedad promedio de 16.72%, un límite líquido de 41.90%, un límite plástico de 19.60% y un índice de plasticidad de 22.25%. Con respecto a las muestras adicionadas con CCA, se obtuvieron valores prácticamente idénticos que la muestra natural, dado que la clasificación tanto para SUCS y AASHTO fue la misma, así como el contenido de humedad; diferenciándose en una proporción menor con respecto a los límites de consistencia, dado que se obtuvieron 43.20% y 43.30% de límites líquidos. 20.80% de límite plástico para ambos y 22.40 y 22.50% como índice de plasticidad para 7.5% y 8.5% de adición respectivamente. En relación con ello, [38], concuerda con lo obtenido, dado determinaron un contenido de humedad del 16%, un índice de plasticidad de 19.06%, clasificación de tipo de suelo arcilloso, un CBR superior, al sentido de duplicar el obtenido inicialmente, considerando el CCA como estabilizante. Asimismo [4], obtuvo un suelo de estudio tipo arcilla plástica intermedia que permite la reducción de su densidad seca e incremento del contenido óptimo de humedad. Con ello se puede evidenciar que en las investigaciones se trabajó con un suelo natural con propiedades similares, al obtener un contenido de humedad e índice de plasticidad similar, tratándose así de un suelo arcilloso, en el cual se obtuvo resultados para el CBR pasando de 7.5% hasta 17.55%, 13.49% y 11.17% en sus ensayos, para todos los casos el resultado es considerablemente positivo. La misma deducción presenta [55], donde delimita que hay mejoras ascendentes con el CBR hasta el incremento del 10% de CCA, ya que obtuvo 3.03% para la muestra guía, 6.39% para el 7.5% de adición de CCA, 5.18% para el 10% de adición de CCA y 5.86% para el 12.5% de adición de CCA.

Se evidencia mejoras en el suelo natural dado a que, por los resultados de la muestra natural, adición del 7.5% y 8.5% se obtuvo en contenido de humedad valores de 11.6%, 13.3% y 15.5% respectivamente, deduciendo un incremento mínimo, mientras que para su máxima densidad seca se afirma que disminuye porque se obtuvo 1.75 gr/cm³, 1.628 gr/cm³ y 1.598 gr/cm³ respectivamente. Para [10], la conclusión es favorable obteniendo resultados para el índice de plasticidad de 13%, contenido de humedad de 9.4% y una máxima densidad seca del terreno de 2.006 gr/cm³, así mismo según [52], el suelo en su estado natural obtuvo un contenido máximo de humedad de 18.38% antes de su estabilización, este contenido de humedad óptima incrementa al aumentar el contenido de ceniza de cáscara de arroz, mientras su densidad máxima seca disminuye. En relación con el CBR, esta investigación considera como muestra en su estado natural que se alcanzó un valor al 100% y al 95% de su MDS, obteniendo valores de 11% y 16.40% con un valor de su máxima densidad seca de 1.628 gr/cm³ y el contenido de humedad de 13.30%, y para la muestra con 7.5% CCA se obtuvieron valores de 22% y 36% para cada CBR realizado. Finalmente, para el suelo con 8.5%

CCA logró alcanzar un CBR de 19% y 34% respectivamente para un CBR al 100% y al 95%. De esta manera, se evidencia el incremento de CBR de la muestra con adición de 7.5% de CCA es mayor a la muestra de suelo convencional, logrando así evidenciar una diferencia de 19.60%.

Asimismo, se logra identificar que la adición de ceniza de cascarilla de arroz logra un incremento de su capacidad de soporte CBR en las muestras de suelo arcilloso, determinando así un porcentaje óptimo de adición del 7.5%. Mientras que, [39], afirman que, la dosificación del 7% de ceniza de cáscara de arroz, incrementaron su capacidad de soporte CBR, al evidenciar la muestra de suelo natural con un CBR de 2.85%, con la adición de CCA se logró obtener un valor de 7.8% respectivamente.

Tal como se ha mencionado, el suelo arcilloso con diferentes adiciones de cascarilla de arroz presenta mejoras en sus propiedades mecánicas en relación al suelo arcilloso natural dado que se ha demostrado que el CBR de las adiciones es muy superior al obtenido con la muestra natural, llegando a obtener un espesor de capa de afirmado por el método NAASRA de 150mm (15cm) por medio de la relación de dicho valor del CBR al 95% de la máxima densidad seca de la dosificación que más óptima resultó, la cual fue la de 7.5% de CCA y del número de repeticiones expresada en ejes equivalentes.

V. CONCLUSIONES

- El desarrollo de la presente investigación permitió comprobar que las cenizas de cascarilla de arroz influyen las propiedades mecánicas de suelos arcillosos para pavimentación de la carretera Santa Rosa de Combayo, Cajamarca; por el hecho de que se encontraron mejoras con las dosificaciones empleadas en relación con la muestra en estado natural sin adiciones.
- El suelo natural obtenido de la calicata-01 con una localización con coordenadas UTM 775,613.72E y 9,210,927.18N de la carretera Santa Rosa de Combayo en Cajamarca, se obtuvo de su ensayo granulométrico, se identificó un suelo con 0% de grava, 33% de arena y 67% de finos, clasificándose como un material arcilloso de plasticidad baja, según SUCS como un suelo CL y según AASHTO como un suelo A-7-6 (12). Asimismo, se obtuvo un contenido de humedad promedio de 16.72%, un límite líquido de 41.90%, un límite plástico de 19.60% y un índice de plasticidad de 22.25%. Con respecto a las muestras adicionadas con CCA, se obtuvieron valores prácticamente idénticos que la muestra natural, dado que la clasificación tanto para SUCS y AASHTO fue la misma, así como el contenido de humedad; diferenciándose en una proporción menor con respecto a los límites de consistencia, dado que se obtuvieron 43.20% y 43.30% de límites líquidos. 20.80% de límite plástico para ambos y

22.40% y 22.50% como índice de plasticidad para 7.5% y 8.5% de adición respectivamente.

- La muestra de suelo arcilloso patrón o en su estado natural, realizó el estudio de su CBR al 95% de la MDS, un valor de 16.40%, mientras que, el suelo con adición de 7.5% de ceniza de cascarilla de arroz, alcanzó un valor CBR de 36% y con adición de 8.5% de ceniza de cascarilla de arroz, se logró obtener un valor CBR de 34%, evidenciando así un incremento significativo, la adición de este residuo agroindustrial.
- El porcentaje óptimo de incorporación de ceniza de cascarilla de arroz como adición en suelos de la carretera Santa Rosa de Combayo, Cajamarca, se consideró al porcentaje de 7.5%, debido al presentar un CBR mayor en un 19.60% frente a la muestra de suelo patrón o en su estado natural.
- El suelo arcilloso con diferentes adiciones de cascarilla de arroz presenta mejoras en sus propiedades mecánicas en relación al suelo arcilloso natural dado que se ha demostrado que el CBR de las adiciones es muy superior al obtenido con la muestra natural, llegando a obtener un espesor de capa de afirmado por el método NAASRA de 150mm (15cm) por medio de la relación de dicho valor del CBR al 95% de la máxima densidad seca de la dosificación que más óptima resultó, la cual fue la de 7.5% de CCA y del número de repeticiones para un carril de diseño expresada en ejes equivalentes.
- Un material puzolánico tiene efectos positivos dado que es un subproducto procesado industrialmente, ya que la materia prima es producida en grandes cantidades constituyendo un problema de desperdicio, ya que en la mayoría de los casos mejora la calidad del producto final.
- Se recomienda utilizar este producto ya que es muy beneficioso para la contribución y estabilización de suelos arcillosos o suelos inestables.

VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] Adedokun, S., & Oluremi, J. (02 de Mayo de 2019). A review of the stabilization of lateritic soils with some agricultural waste products. *International Journal of Engineering*, 63- 74.
- [2] Akeke, G., Ewa, D., & Okafor, F. (2016). Effects of variability in the pozzolanic properties of Rice husk ash (RHA) on the compressive strength of concrete. *Nigerian Journal of Technology*, 35(4). doi:10.4314/njt.v35i4.1
- [3] Amir, H., Ebrahim, N., & Abdolhosein, H. (2020). Mechanical and Durability Properties of Poorly Graded Sandy Soil Stabilized with Activated Slag. *American Society of Civil Engineers*, 1-14.
- [4] Anjani, Y., Kumar, R., & Kishor, S. S. (Febrero de 2017). Stabilization of alluvial soil for subgrade using rice husk ash, sugarcane bagasse ash and cow dung ash for rural roads. *ScienceDirect*, 10, 254- 261.
- [5] Bada, D. (2016). Aplicación del aditivo químico Conaid para atenuar la plasticidad del material granular del tramo de la carretera tauca - bambas (km73 + 514 - km132 + 537) de la ruta nacional pe - 3na. Universidad Privada Antenor Orrego., Trujillo.

- [6] Becerra, C., & Herrera, A. (2019). Estabilización de arcillas, arenas y afirmados, empleados los cementos Pacasmayo Víaforte, Mochica y Qhuna; Lambayeque, 2018. Universidad Señor de Sipán. Pimentel: USS.
- [7] Behak, L., & Peres, W. (Abril de 2008). Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación. *Revista Ingeniería de Construcción*, 34-41.
- [8] Borja, M. (2012). Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo.
- [9] Brahmachary, T., Ahsan, M., & Rokonzaman, M. (2019). Impact of rice husk ash (RHA) and nylon fiber on the bearing capacity of organic soil. *SN Applied Sciences*, 1(3). doi:https://doi.org/10.1007/s42452-019-0275-0
- [10] Cajaleon, O., & Mondragon, D. (2018). Estabilización de suelos arcillosos agregando cenizas de cáscaras de arroz para la subrasante en el km+ 17 Pimpingos, Choros 2018. Universidad César Vallejo. Lima: UCV.
- [11] Cajaleon, O., & Mondragon, D. (2018). Estabilización de suelos arcillosos agregando cenizas de cáscaras de arroz para la subrasante en el km+ 17 Pimpingos, Choros 2018. Universidad César Vallejo. Lima: UCV.
- [12] Cañar, E. (2017). Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con cenizas de carbón. Universidad Técnica de Ambato. UTA. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25266>
- [13] Castro, A. (2017). Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de cáscaras de arroz para el mejoramiento de la subrasante. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima. Lima: UNI.
- [14] Castro, A. (2017). Estabilización de suelos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante. Universidad Nacional de Ingeniería . Lima: UNI.
- [15] Clavería, P., Triana, D., & Varon, Y. (2018). Caracterización del comportamiento geotécnico de los comportamiento geotécnico de los suelos de origen volcánico estabilizado con ceniza de arroz y bagazo de caña de azúcar como material para subrasante. Universidad Cooperativa de Colombia. Ibagué: UCC.
- [16] Cury R, K., Aguas M, Y., Martinez M, A., Olivero V, R., & Chams Ch, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. (e. a. Cury, Ed.) *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 9(530), 122-132. doi:10.24188
- [17] Das, B. (2013). *Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones*. México: Cengage Learning.
- [18] Dávalos, J., Bonilla, A., Villaquiran, M., Gutierrez, R., & Rincón, J. (2020). Preparation of glass-ceramic materials from coal ash and rice husk ash: Microstructural, physical and mechanical properties. *Boletín de la sociedad española de Cerámico y Vidrio*, 1-11. doi:https://doi.org/10.1016/j.bscev.2020.02.002
- [19] Depaa, R., Priyadarshini, V., Hemamalinie, A., Francis, J., & Surendrababu, K. (2021). Assessment of strength properties of concrete made with rice husk ash. *Materials today: Proceedings*. doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.605
- [20] Habeed, G., & Bin, H. (21 de Marzo de 2010). Study on Properties of Rice Husk Ash and Its Use as Cement Replacement Material. *Revista Materials Research*, 185-190.
- [21] Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- [22] Hidalgo, F., & Saavedra, J. (2020). Análisis de la adición de cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar en la subrasante de pavimentos para la estabilización de suelos arcillosos en el departamento de San Martín. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima: UPC.
- [23] u, L., He, Z., & Zhang, S. (2020). Sustainable use of rice husk ash in cement-based materials: Environmental evaluation and performance improvement. *Journal of Cleaner Production*, 264. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121744
- [24] INEI, I. N. (2018). Producción de arroz cáscara se incrementó en 95,2% durante. Lima: INEI.
- [25] Jafer, Majeed, & Dulaimi. (2020). Incorporación de dos materiales de desecho para su uso en la estabilización de suelos de grano fino. *Revista de ingeniería civil*, 6(6), 1114-1123. doi:https://doi.org/10.28991 / cej-2020-03091533
- [26] Jaiswal, M., & Lal, B. (2017). Stabilization of clayey soil with garlic skin and rice husk ash for flexible pavement construction. *Geotechnical Testing Journal*, 40(6), 1071-1082. doi:10.1520/GTJ20160227
- [27] Jitin, V., Bahurudeen, A., & Ajinkya, S. (2020). Utilisation of rice husk ash for cleaner production of different construction products. *Journal of Cleaner Production*, 263. doi:https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121578.
- [28] Lakshmi, M., Geetha, S., Selvakumar, M., & Divya, K. (2021). Strength enhancement of Clayey Sand subgrade using lime and rice husk ash. *Materials today: Proceedings*. doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.039
- [29] Liang, G., Zhu, H., Li, H., Liu, T., & Guo, H. (2021). Comparative study on the effects of rice husk ash and silica fume on the freezing resistance of metakaolin-based geopolymer. *Construction and Building Materials*, 293. doi:https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123486
- [30] Liu, Y., Su, Y., Namdar, A., Zhou, G., & She, Y. (2019). Utilization of Cementitious Material from Residual Rice Husk Ash and Lime in Stabilization of Expansive Soil. *Advances in Civil Engineering*. doi:10.1155/2019/5205276
- [31] Llamoga, L. (2017). Evaluación del potencial de expansión y capacidad portante de suelos arcillosos usados en subrasantes al adicionar ceniza de cascarrilla de arroz , Cajamarca 2016. Universidad Privada del Norte. Universidad Privada del Norte: UPN.
- [32] López, J. (2021). Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de cáscara de arroz para el mejoramiento de subrasante, en la localidad de Moyobamba – departamento de San Martín. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima: UPC.
- [33] Lujan, I., & Vizcarra, S. (2020). Análisis experimental de la adición de ceniza de cáscara de arroz a la subrasante arcillosa de un camino estabilizado con cal. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima: UPC.
- [34] Maguñá, G. (2018). Evaluación del potencial de expansión y capacidad portante en el suelo limo arcilloso incorporando ceniza de cascarrilla de arroz en la Av.Aija, Huarmey, Ancash - 2018. Universidad César Vallejo. Lima: UCV.
- [35] Manoochehr, F., Mohammad, T., & Mohammad, T. (2019). Lime and Rice Husk Ash on Horizontal Saturated Hydraulic Conductivity of Sandy Loam Soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(1). doi:https://doi.org/10.1007/s10706-019-01146
- [36] Manoochehr, F.-M., & Mohammad, T. (14 de Diciembre de 2019). Effect of Lime and Rice Husk Ash on Horizontal Saturated Hydraulic Conductivity of Sandy Loam Soils. *Geotech Geol Eng*, 1-11.
- [37] Mittal, A. (2021). Effect of rice husk ash and stone dust on selecting engineering properties of poor subgrade soil. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 15(1), 133-141. Obtenido de <https://www.proquest.com/openview/74039e9c1ab515f6e2ac1ab7f0efb56f8/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2035891>
- [38] Mohd, R. J., Malik, I., & Tangri, A. (2020). Influence of Lime, Rice Husk Ash and Coconut Fibre on Strength Properties of Subgrade. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(8), 767-772.
- [39] Montejo, Raymundo y Chávez (2020). Materiales alternativos para estabilizar suelos: el uso de ceniza de cáscara de arroz en vías de bajo tránsito de Piura. Obtenido de <https://doi.org/10.26495/tzh.v12i1.1251>
- [40] MTC, M. d. (2013). *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. Ministerio de Transporte y Comunicación. Lima: MTC. Obtenido de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf
- [41] NTP 339.127, N. T. (2014). SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. Lima: INDECOPI.
- [42] NTP 339.128, N. T. (2014). SUELOS: Método de ensayo para el análisis granulométrico. Lima. Lima: INDECOPI.
- [43] NTP 339.129, N. T. (2014). SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos. Lima. Lima: INDECOPI.

- [44]NTP 339.141, N. T. (2014). SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía. Lima: INDECOPI.
- [45]NTP 339.145, N. T. (2014). SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. Lima: INDECOPI.
- [46]Ojeda, O., Mendoza, J., & Baltazar, M. (30 de Abril de 2018). Influencia de la inclusión de ceniza de bagazo de caña de azúcar sobre la compactación, CBR y resistencia a la compresión simple de un material granular tipo subrasante. ALCONPAT, Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, 8(2), 1-15.
- [47]Oluyemi- Ayibowu, B. (Julio de 2019). Stabilization of lateritic soils with asphalt- emulsion. Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH), 38(3), 603-608.
- [48]Onyelowe, K., Onyia, M., Nguyen-Thi, D., Bui, D., Onukwugha, E., Baykara, H., . . . Ugwu, H. (2021). Swelling Potential of Clayey Soil Modified with Rice Husk Ash Activated by Calcination for Pavement Underlay by Plasticity Index Method (PIM). Advances in Materials Science and Engineering, 2021(6688519), 1-10. doi:10.1155/2021/6688519
- [49]Ormeño, E., & Rivas, N. (2020). Estudio experimental para determinar la influencia de la aplicación de Cenizas de Cáscara de Arroz (RHA) en la estabilización de una subrasante de suelo arcilloso de baja plasticidad en Chota- Cajamarca. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. Lima: UPC.
- [50]Depaa, R., Priyadarshini, V., Hemamalinie, A., Francis, J., & Surendrababu, K. (2021). Assessment of strength properties of concrete made with rice husk ash. Materials today: Proceedings. doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.605
- [51] Romero, V., & Solar, H. (2020). Influencia del porcentaje de ceniza de cáscaras de arroz y residuos de conchas de abanico sobre el índice de CBR en la estabilización de un suelo arcilloso, en el distrito de San Pedro de Lloc. Universidad Privada del Norte. Trujillo: UPN.
- [52]Salas, M. (2017). Estabilización de suelos con adición de cemento y aditivo terrasil para el mejoramiento de la base del km 11+000 al km 9+000 de la carretera Puno – Tiquillaca – Mañazo. Universidad Andina “Nestor Cáceres Velasquez”. Juliaca: UANCV.
- [53]Sánchez, D., Vargas, M., Ortega, R., & Piñeros, Y. (Septiembre de 2018). Extracción y encapsulación de compuestos fenólicos provenientes de cascarilla de arroz. Revista Colombiana Ciencia Química Farm., 410-423. doi: http://dx.doi.org/10.15446/rcciquifa.v47n3.77373
- [54] Sani, J., Yohanna, P., & Chukwujana, I. (2020). Effect of rice husk ash admixed with treated sisal fibre on properties of lateritic soil as a road construction material. Journal of King Saud University - Engineering Sciences. doi: https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100464
- [55]Setyo, A., & Hantoro, G. (2016). Influence of the Rice Husk Ash and Lime on Engineering Properties of Clayey Sub-grade. Revista EJGE, 1-14.
- [56]Shengyan, P., Yaqi, H., Jin, M., Yan, Z., Liu, X., Qingqing, S., . . . Xiangjun, P. (Mayo de 2019). Stabilization Behavior and Performance of Loess Using a Novel Biomass-based Polymeric Soil Stabilizer. (E. & Geoscience, Ed.) The geological society of America, 25(2), 103- 114.
- [57]Syahida, Z., Farhayu, N., Syed, S., & Shukor, N. (2021). Review paper: Performance of rice husk ash as a material for partial cement replacement in concrete. Materials today: proceedings. doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.400
- [58]Ulate, A. (2017). Estabilización de suelos y materiales granulares en caminos de bajo volumen de tránsito, empleando productos no tradicionales. Revista PITRA-LanammeUCR., 8(2).
- [59]Zhua, H., Zhai, M., Liang, G., Li, H., Wu, Q., Zhang, C., & Hu, S. (2021). Experimental study on the freezing resistance and microstructure of alkali-activated slag in the presence of rice husk ash. Journal of Building Engineering, 38. doi:https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102173
- [60]Torres, J. (2022). Mejoramiento de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos mediante la adición de ceniza de cascarilla de arroz para la pavimentación de la carretera Santa Rosa de Combayo, Cajamarca, 2021 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte. https://hdl.handle.net/11537/31616