UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Efecto de la incorporación de las cenizas de cáscara de arroz en subrasantes arenosas

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

Wuelmer Antenor Mory Espinoza

Asesor:
Mgtr. Gaby Patricia Ruiz Petrozzi

Piura, abril de 2020

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Dedicatoria

A Dios, porque él siempre me dio las fuerzas para seguir adelante.

A mis padres y hermana, porque siempre me alentaron, confiaron en mí y en especial porque nunca perdieron su fe.

A mis tías y tíos, porque siempre han estado a mi lado motivándome.

A mi esposa, porque me guio y acompañó en mi vida universitaria.

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Resumen Analítico-Informativo

Efecto de la incorporación de las cenizas de cáscara de arroz en subrasantes arenosas
Wuelmer Antenor Mory Espinoza
Asesor(es): **Mgtr. Gaby Patricia Ruiz Petrozzi**
Tesis.
Título de Ingeniero Civil
Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.
Piura, abril 2020

Palabras claves: Ceniza de cáscara de arroz/ CBR/ Subrasantes arenosas/ Próctor modificado/ Granulometría.

Introducción: En el Perú, una de las mayores producciones agrícolas es la del arroz. El principal residuo que deja atrás es la cáscara de arroz y su ceniza. Este proyecto busca explorar una alternativa para el reuso de esta ceniza en aplicaciones de ingeniería civil. Estas cenizas podrían trabajar modificando la granulometría del suelo, como finos no plásticos en combinación con otro aglomerante hidráulico en una pequeña dosis, como complemento, para el estudio de la ceniza. Esta opción ofrece una alternativa eficaz para soluciones sustentables y ambientalmente amigables en pavimentación.

Metodología: Para la realización del estudio de la incorporación de la ceniza de cáscara de arroz en suelos arenosos, se llevó a cabo una investigación cuantitativa, experimental, controlada en el laboratorio (Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción de la Universidad de Piura). Los efectos se evaluaron por comparación entre el suelo natural y varias proporciones de ceniza en contraste con una muestra de suelo. Para superar la falta de cohesión del suelo se usó una dosis pequeña de cemento del 4%.

Resultados: El suelo corresponde con un suelo arenoso, de calidad excelente para ser usada como una subrasante. La adición de ceniza disminuye la máxima densidad seca y aumenta el contenido óptimo de humedad requerido para su adecuada compactación. Al adicionarle un 5% de ceniza el suelo adquiere una gran resistencia, 109% más que el suelo natural. Esto se debe a que el pequeño tamaño de las partículas de la ceniza logra rellenar los espacios vacíos del suelo, haciendo que la mezcla sea más densa y, por tanto, más resistente. Al adicionar un 10% y 15% de ceniza, la capacidad de soporte disminuye respecto al suelo con el 5% de ceniza, pero sigue siendo mayor a la del suelo natural.

Conclusiones: Se concluye que la ceniza de cáscara de arroz, sin molienda previa y sin ningún otro tipo de tratamiento, puede ser incorporado hasta en un 15% en subrasantes arenosas, siempre que se use con una dosis pequeña de cemento. Al parecer, solo actúa como un suelo fino no plástico, disminuyendo la granulometría y la máxima densidad seca, y aumentando el contenido óptimo de humedad.

Fecha de elaboración del resumen: 20 de febrero de 2020

Analytical-Informative Summary

Efecto de la incorporación de las cenizas de cáscara de arroz en subrasantes arenosas
Wuelmer Antenor Mory Espinoza
Asesor(es): **Mgtr. Gaby Patricia Ruiz Petrozzi**
Tesis.
Título de Ingeniero Civil
Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.
Piura, abril 2020

Keywords: Rice husk ash/ CBR/ Sandy subgrade/ Modified Proctor/ Granulometry.

Introduction: The rice is one of the largest agricultural productions in Peru. The main residue left behind is the rice husk and its ash. This project seeks to explore an alternative for the reuse of this ash in civil engineering applications. These ashes could work by modifying the granulometry of the soil acting as non-plastic fines in combination with another hydraulic binder in a small dose. This option will offer an effective alternative for sustainable and environmentally friendly paving solutions.

Methodology: To carry out the study of the incorporation of rice husk ash in sandy soils, a quantitative, experimental, laboratory-controlled investigation was carried out (Laboratory of Testing of Construction Materials of the University of Piura). The effects were evaluated by comparison between the natural soil and various proportions of ash in contrast to a soil sample. Due to the cohesionless of the natural soil, a small amount of cement was used as a complementary binder. The effects were evaluated by comparing the compaction parameters and the CBR value of the natural soil and the soil with 5%, 10% and 15% of ash.

Results: The soil corresponds to a sandy soil, of excellent quality to be used as a subgrade. By adding 5% and 10% ash, the mixture increases the CBR, 109% and 181%, respectively. It seems that the ash helps in the arrangement of the soil, increasing resistance. This is also because the cement manages to give the soil greater stability and firmness, thanks to its cementing properties that allow it to keep the soil particles together.

Conclusions: It is then concluded that rice husk ash, without prior grinding without any other treatment, does not have a favorable effect on the CBR of sandy soils. Apparently, it only acts as a fine non-plastic soil, decreasing the particle size and increasing the water and cement consumption required for stabilization. Despite this, it is possible to use up to 15% of ash without disqualifying the soil as an excellent subgrade.

Summary date: February 20th, 2020

Prefacio

Las vías de comunicación terrestre son el principal contribuyente al desarrollo y fortalecimiento económico del país: permiten el acceso de la población a los diferentes tipos de servicios, tales como centros de trabajo, centros médicos, mercados, entre otros.

En los casos donde los suelos de subrasante presentan baja capacidad de soporte, el desarrollo de los proyectos de pavimentación se hacen complejos. En estos casos se emplean diferentes métodos y productos para mejorar y modificar sus propiedades.

Por otro lado, debido a la crisis ambiental que se está viviendo en la actualidad, el uso de cenizas para modificar suelos de subrasante con fines de pavimentación; se ha visto como una alternativa a la disposición de residuos y el consumo de recursos naturales vírgenes. Un residuo abundante en Piura es la ceniza de la cáscara de arroz, por lo que encontrar alternativas para aprovecharla es de vital importancia. La reutilización de las cenizas de cáscara de arroz en suelos ha sido explorada por diversos investigadores con el ánimo de encontrar nuevas posibilidades de cuidado del medio ambiente, incorporándola en distintos tipos de suelos. Este trabajo busca explorar un poco más en esta alternativa con aplicaciones a las condiciones locales.

Agradezco sinceramente al Ing. Carlos Timaná y a la empresa Costeño Alimentos S.A.C. por la atención cordial y el material brindado para la realización del ensayo. Así mismo, a la Mgtr. Gaby Ruiz por sus consejos, enseñanzas y tiempo dedicado para la realización de la presente tesis y al Téc. Francisco Castro por la ayuda brindada en la realización de los ensayos.

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Tabla de contenido

Introducción **1**

Capítulo 1 Marco teórico **5**

1.1. Métodos de estabilización de suelos en pavimentos 5

1.2. Estabilización por combinación de suelos 6

1.3. Estabilización de suelos con cemento 6

1.4. Uso de las cenizas de cáscara de arroz en suelos 8

Capítulo 2 Metodología **11**

2.1. Preparación de los materiales 11

2.2. Plan experimental 11

2.2.1. Caracterización de los materiales 12

2.2.1.1. Composición química de la ceniza 12

2.2.1.2. Gravedad específica 12

2.2.1.3. Granulometría 13

2.2.2. Control del suelo con ceniza de cáscara de arroz 13

2.2.2.1. Densidad próctor modificado 13

2.2.2.2. Capacidad de soporte de California (CBR) 15

2.3. Diseño de las combinaciones de suelo con cenizas de cáscara de arroz 16

Capítulo 3 Caracterización de los materiales **19**

3.1. Caracterización del suelo natural 19

3.1.1. Preparación del suelo natural 20

3.1.2. Clasificación SUCS y AASHTO 21
3.2. Caracterización de la ceniza de cáscara de arroz 22
3.2.1. Preparación de las cenizas de cáscara de arroz 23
3.2.2. Composición química 25
3.2.3. Forma y tamaño de la partícula de ceniza 26
3.2.4. Gravedad específica 27

Capítulo 4 Efecto de la ceniza en el comportamiento mecánico del suelo-cemento 29
4.1. Granulometría de la combinación suelo-cenizas 29
4.2. Efecto en la densidad próctor: Relación humedad – densidad 30
4.3. CBR 32

Conclusiones 35

Recomendaciones 37

Referencias bibliográficas 39

Anexos 43
Anexo A. Granulometría 45
Anexo B. Límites de Atterberg 51
Anexo C. Gravedad específica 52
Anexo D. Fluorescencia de rayos X de la ceniza de cáscara de arroz 54
Anexo E. Próctor modificado 55
Anexo F. CBR 59

Lista de tablas

Tabla 1. Requerimientos de cemento para suelo-cemento aplicable a varios tipos de suelo, según ACI (2009) 8
Tabla 2. Detalle de las muestras ensayadas y las proporciones de suelo, cemento y ceniza usados, en relación a cinco kilogramos de peso 17
Tabla 3. Composición química de la ceniza de cáscara de arroz mediante XRF 25
Tabla 4. Resultados del ensayo de próctor modificado 30
Tabla 5. Resultados del ensayo de Relación de Soporte de California (CBR) a 0.1" para las muestras analizadas. 32

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Lista de figuras

Figura 1. Horno en la planta de la empresa Costeño Alimentos S.A.C. donde es calcinada la cáscara de arroz. 2
Figura 2. Esquema de las masas de cemento alrededor de la arena en el proceso de estabilización con cemento. 7
Figura 3. Fiolas llenas con muestra y agua destilada, usadas en el ensayo de gravedad específica. 13
Figura 4. Humedecimiento de la mezcla. 14
Figura 5. Ensayo de próctor modificado: (a) compactación de la mezcla (b) muestra compactada. 14
Figura 6. Compactación de la muestra para el ensayo de CBR. 15
Figura 7. Muestras sumergidas por 4 días para el ensayo de CBR. 16
Figura 8. Muestras puestas al aire por 4 días para el ensayo de CBR. 16
Figura 9. Mezcla del suelo con el cemento. 17
Figura 10. Mezcla del suelo y cemento, con ceniza. 18
Figura 11. Mezcla homogénea de la combinación 1. 18
Figura 12. Ubicación de la zona de extracción de la arena. 19
Figura 13. Vista de la zona donde se extrajo la arena. 20
Figura 14. Tamizado de la arena aun húmeda por el tamiz N°4. 20
Figura 15. Secado al aire por 24 horas de la arena. 21
Figura 16. Tratamiento previo del suelo para su uso en la presente investigación: (a) lavado de la arena (b) secado al horno de la arena (c) tamizado de la arena. 21
Figura 17. Curva granulométrica de la arena. 22

Figura 18. Ubicación de la empresa Costeño Alimentos S.A.C. 23
Figura 19. Tamizado de ceniza de cáscara de arroz por el tamiz N° 10. 23
Figura 20. Tamizado de ceniza de cáscara de arroz por el tamiz N° 10. 24
Figura 21. Cristales de sílice retenidos por el tamiz N° 10. 24
Figura 22. Cristales de sílice presentes en la ceniza de cáscara de arroz, ... 24
Figura 23. Irritación de la piel al haber estado en contacto con las cenizas de cáscara de arroz. 25
Figura 24. Forma de la partícula de la ceniza de cáscara de arroz observada en el estereoscopio. 26
Figura 25. Distribución granulométrica de las partículas de ceniza de cáscara de arroz. 27
Figura 26. Curvas granulométricas del suelo con la adición de ceniza de cáscara de arroz. 29
Figura 27. Relación máxima densidad seca y humedad óptima. 30
Figura 28. Resultados del ensayo CBR a una penetración de carga de 0.1”. 32

Introducción

En el Perú, una de las mayores producciones agrícolas es la del arroz. Ésta ha venido creciendo a un ritmo de 2.4% anual desde el 2001 hasta el 2018, llegando a producir hasta 3 millones 39 mil toneladas al año (Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI], 2018). Piura, que experimentó el crecimiento en la producción agrícola e industrial del arroz, produce el 12.5% de arroz en todo el Perú, dejándolo como el tercer productor a nivel nacional, después del departamento de San Martín y Lambayeque (MINAGRI, 2018).

El principal residuo de la producción de estos granos es la cáscara de arroz, cuya disposición final deja como consecuencia problemas ambientales. Una de las formas más frecuentes de disposición es calcinarla. En los molinos locales se incinera con el fin de producir energía para el proceso de secado del arroz antes de su empaque.

Esto trae consigo un nuevo problema: la disposición final de las cenizas que genera dicha incineración. Se sabe que la incineración de cualquier vegetal deja como residuo cenizas, pero en la cáscara de arroz, la ceniza representa el 20% del peso de la cáscara incinerada (Mehta, 1994; Juliano, 1985). Estas contienen alrededor de 90% de sílice (Juliano, 1985), que es la concentración de sílice más alta en todos los residuos vegetales (Boateng y Skeete, 1990).

Las cenizas obtenidas como residuo de los procesos de combustión de las plantas de envasado de arroz suelen tener una reactividad puzolánica muy baja. La condición óptima para que las cenizas adquieran sus propiedades puzolánicas se dan a partir de su incineración a una temperatura de 400 °C (Vigil y Vásquez, 2000), condición en la cual es en donde se encuentra constituida básicamente de sílice amorfa reactiva. En las condiciones de quemado en las plantas, las temperaturas de calcinación superan los 500 °C, lo que condiciona la cantidad de sílice amorfa presente y la gran cantidad de pérdidas

por ignición (Behak y Musso, 2016). Por ello, la posibilidad de aprovechar estas cenizas es más como un fino o filler que como una puzolana.

En Piura, la empresa Costeño Alimentos S.A.C., produce aproximadamente 17 mil toneladas de arroz por temporada, lo que da un total de producción de 34 mil toneladas de arroz al año. Las cáscaras de arroz son el principal subproducto agroindustrial, lo que supone un promedio de 1,36 mil toneladas de ceniza al año.

Dicha empresa, para disminuir los desechos que deja su producción, venden una pequeña parte de dichas cáscaras a ganaderos y criadores de aves y la parte restante es usada como combustible para el secado del mismo arroz. Esto se da dentro de un horno circular tipo Kepler Weber, como se muestra en la Figura 1, a una temperatura controlada de 350 °C.

Figura 1. Horno en la planta de la empresa Costeño Alimentos S.A.C. donde es calcinada la cáscara de arroz.
Fuente: Molino Costeño Alimentos SAC. Alberca P. (2017).

Estas cenizas son depositadas en lugares descampados, donde la acción del aire genera nubes de polvo que causan malestar a la población, como suciedad en las viviendas y enfermedades oftalmológicas como la erosión corneal, que puede llegar a convertirse en queratitis. Por eso, la posibilidad de reusar este residuo puede contribuir a controlar estos efectos ambientales.

La aplicación de las cenizas de cáscara de arroz en soluciones de pavimentación ha sido explorada por diversos investigadores (Behak y Musso, 2016; Behak y Peres, 2008; Boateng y Skeete, 1990; Chobasti et al., 2010; Koteswara et al., 2011; Ospina et al., 2009;

Nasiri et al., 2016; Nusly y Chandrakaran, 2015; Trivedi et al., 2013; Vigil y Vásquez, 2000), especialmente en los casos de suelos que presentan baja capacidad de soporte, que no cumplen con los requerimientos de calidad necesarios. Los pavimentos que son construidos en este tipo de suelo demandan mayores espesores en su diseño, lo cual significa elevados costos y una disminución de la vida útil, debido a que presentan problemas de hundimiento o asentamiento. Ante este problema, la incorporación de residuos como ayuda para el mejoramiento de los suelos para pavimentación puede ser una alternativa de solución al mejoramiento de la infraestructura y a la reducción de los problemas de contaminación ambiental.

Este proyecto busca examinar una alternativa para el reuso de esta ceniza en aplicaciones de ingeniería civil, explorando la posibilidad de reincorporar las cenizas en los suelos de las subrasantes de origen local para pavimentos. Estas cenizas podrían trabajar modificando la granulometría del suelo, como finos no plásticos en combinación con otro aglomerante hidráulico en una pequeña dosis, como complemento, para el estudio de la ceniza. Esta opción ofrecería una alternativa eficaz, sustentable y ambientalmente amigable en pavimentación.

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Capítulo 1

Marco teórico

1.1. Métodos de estabilización de suelos en pavimentos

Cuando un suelo es susceptible de sufrir deformaciones elevadas o desgastes significativos por la acción del uso o de los agentes atmosféricos, se dice que el suelo es inestable y requiere ser sometido a ciertos tratamientos para mejorar sus propiedades. Existen tres métodos de estabilización para mejorar la resistencia de un suelo: estabilización física, estabilización química y estabilización mecánica.

La estabilización física, se basa en modificar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo. Entre los métodos que existen son: las mezclas de suelos, uso de geotextiles, la vibroflotación o vibrocompactación y la consolidación previa.

La estabilización química, se refiere al uso de agentes o sustancias químicas patentizadas y cuyo uso se basa en la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso. Entre estas sustancias se puede mencionar: cal, cemento portland, productos asfálticos, cloruro de sodio, cloruro de calcio, escorias de fundición, polímeros y hule de neumáticos.

La estabilización mecánica es aquella con la que se logra un suelo con buena resistencia sin que se produzcan reacciones químicas de importancia. Esto se logra con la compactación.

El uso de una u otra alternativa para mejorar los suelos depende fundamentalmente del tipo de suelo a estabilizar y los recursos disponibles para ello. En pavimentación el método usado por excelencia es la estabilización mecánica, compactando el suelo con los equipos adecuados; de hecho, no se admite una construcción de un paquete estructural de pavimentos sin la compactación adecuada. Adicionalmente y por la naturaleza de los

suelos más frecuentes, los métodos más comunes para la estabilización de suelos granulares son la combinación de suelos y la estabilización química, generalmente usando cal o cemento.

1.2. Estabilización por combinación de suelos

El método de estabilización por combinación de suelos estima una mejora mediante la mezcla de un suelo con uno o más materiales de préstamo, en proporción adecuada, que supongan propiedades que complementen y mejoren la granulometría del suelo natural, con la finalidad de lograr obtener un producto de mejor calidad y mayor estabilidad (Santos, 2016).

Este tipo de combinación de materiales busca conseguir una mezcla densamente granulada y limitada de acuerdo con su fracción plástica (Santos, 2016). Pretende mejorar al suelo haciendo su granulometría más distribuida y homogénea, lo cual representaría un mejor comportamiento de trabajabilidad, resistencia y mejor distribución al ser compactada, adquiriendo una mayor estabilidad volumétrica y reducción de vacíos. También puede mejorar su plasticidad, lo cual representaría una mejora a la capacidad drenante y sensibilidad al agua.

En general, se puede decir que un suelo completamente arenoso requiere ser combinado con grava, que le dará mayor capacidad de soporte y con finos, que le ofrecen un mínimo de cohesión. Los suelos compuestos sólo por finos, plásticos o no plásticos, requieren de grava y/o arena para reducir su compresibilidad y aumentar su capacidad de soporte.

1.3. Estabilización de suelos con cemento

En la estabilización de suelos con cemento, se mejora las propiedades mecánicas del suelo y es adecuado para tratar suelos finos, siempre y cuando no sean ni muy plásticos ni muy húmedos, porque requerirá un contenido tan elevado de cemento para lograr los resultados esperados, que lo volverían muy costoso y nada rentable. A esto se suma la reacción desfavorable que genera el contenido de materia orgánica por su gran avidez de captar a los iones de calcio liberados en la reacción del cemento dificultando su acción aglutinante. Asimismo, la presencia de sulfato es desfavorable por cuanto priva al cemento de agua para mejorar su comportamiento mecánico (Londoño, 2011).

Pero la eficacia del cemento como estabilizador en suelos granulares se debe fundamentalmente a sus propiedades conglomerantes, que debido a la reacción que se generan por el silicato del cemento al entrar en contacto con el agua, se forman masas fibrosas como consecuencia de la naturaleza del silicato, que reaccionan con las partículas del suelo, en donde los iones de calcio tienden a agrumar las partículas de suelo con carga negativa produciendo una floculación, a consecuencia de la gravedad y de la humedad óptima, cementándolas en sus puntos de contacto (ver Figura 2). La reacción que se genera del calcio con la sílice y alúmina, producen silicatos y aluminatos que aumentan lentamente la resistencia de la mezcla suelo-cemento por acción de sus propiedades puzolánicas, dando como resultado un material más resistente y durable (Montejo, 2002). Cabe resaltar que según el ACI (2009), para que se pueda discutir de suelo-cemento en una estabilización, dependerá del rango típico de requerimiento de cemento que a su vez se relaciona con una clasificación AASHTO del suelo (ver Tabla 1).

Entre las principales propiedades que se logran en un suelo granular al ser estabilizado con cemento, están: la reducción de la sensibilidad al agua, un aumento considerable de su resistencia a las deformaciones y un incremento de resistencia a la tracción. Los suelos granulares adecuados para ser estabilizados con cementos son los A-1, A-2 y A-3, según la clasificación AASHTO. Estos suelos corresponden con suelos arenosos con poco o nada de finos no plásticos.

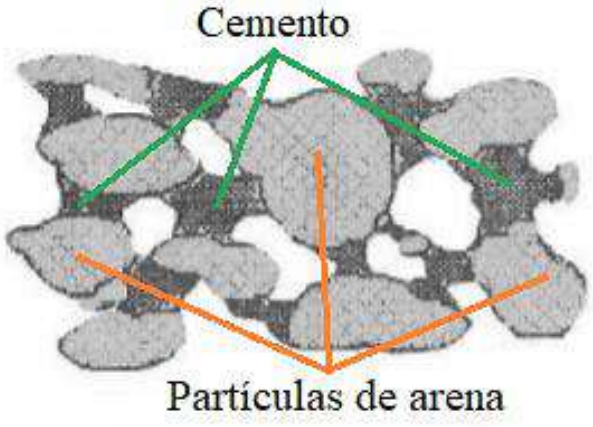


Figura 2. Esquema de las masas de cemento alrededor de la arena en el proceso de estabilización con cemento.
Fuente: Toirac J. (2008)

Tabla 1. Requerimientos de cemento para suelo-cemento aplicable a varios tipos de suelo, según ACI (2009)

Clasificación del suelo AASHTO	Rango típico de requerimientos de cemento (% en peso)
A-1-a	3 a 5
A-1-b	5 a 8
A-2	5 a 9
A-3	7 a 11
A-4	7 a 12
A-5	8 a 13
A-6	9 a 15
A-7	10 a 16

Fuente: American Concrete Institute (2009).

1.4. Uso de las cenizas de cáscara de arroz en suelos

Diversos estudios se han realizado para aprovechar los distintos tipos de cenizas incorporándolos en distintos suelos.

Chobbasti et al. (2010) demostraron que la ceniza de la cáscara de arroz fue efectiva en la reducción de los límites líquido y plástico de un suelo plástico. Por otro lado, Nusly y Chandrakaran (2015) usaron la ceniza de cáscara de arroz para modificar la estructura granulométrica de una arcilla blanda, reemplazando el 5, 10, 15 y 20% del peso de la arcilla. En ambos casos, la ceniza actuó como agregado fino no plástico para aumentar el contenido de humedad óptima y disminuir la densidad seca máxima.

Mamani y Yataco (2017) estudiaron el efecto que tiene en suelo arcilloso la incorporación de la ceniza de madera, que resulta de la calcinación del eucalipto usado como combustible en ladrilleras artesanales de Ayacucho. Ellos encontraron que el comportamiento mecánico del suelo arcilloso mejora significativamente al añadir la ceniza al suelo arcilloso, pues reduce el LL, aumenta la gravedad específica, aumenta la densidad seca y disminuye la humedad óptima, incrementando el ángulo de fricción y la cohesión. Estos efectos son explicados por las partículas de las cenizas que introducen en el suelo arcilloso partículas relativamente más grandes y sin cohesión. En ese trabajo no se usó ningún otro aglomerante.

En otro trabajo, Kharade et al (2014) evaluaron los efectos de incorporar ceniza de bagazo de caña de azúcar en arcillas altamente expansivas de la India. En ese caso mezclaron el suelo con cuatro contenidos de ceniza y midieron la resistencia del suelo en

términos de las propiedades de compactación, el CBR y la compresión no confinada. No se usó ningún otro aglomerante. Se concluyó que, sin usar ningún otro aglomerante, hay un contenido óptimo de ceniza (6%) que logra mejorar el suelo para cualquier aplicación. No se usó ningún tratamiento de molienda previa de la ceniza.

Chittaranjan et al. (2011) evaluaron tres tipos diferentes de cenizas procedentes del bagazo de la caña de azúcar, de la cáscara de arroz y de cáscara de nueces para ser incorporadas en suelos muy blandos. Ellos encontraron una mejora significativa del CBR cuando se incrementaba el porcentaje de ceniza en el suelo.

Alhassan (2008), Basha et al. (2005) y Trivedi et al. (2013) encontraron que el contenido óptimo de humedad aumenta y que la densidad seca máxima de un suelo plástico se reduce con el aumento del porcentaje de la ceniza de la cáscara de arroz.

En todos estos casos se puede observar que la ceniza sola, sin combinarse con ningún otro aglomerante, disminuye la densidad, aumenta el contenido de humedad óptima y mejora la capacidad de soporte del suelo, especialmente cuando el suelo es cohesivo y expansivo.

Otras investigaciones han evaluado el efecto de las cenizas en combinación con otros aglomerantes. Pérez (2012) comprobó que al adicionar ceniza volante a un suelo arcilloso junto con cemento también se mejoró el comportamiento del suelo arcilloso para ser empleado como sub-base y subrasante.

Lo mismo observó Onyelowe (2012) al evaluar el efecto de la ceniza del bagazo de la caña de azúcar en suelos con cemento. El encontró que el efecto de la ceniza dependía del contenido de cemento usado. Para un 4% de cemento, la adición de ceniza disminuía la máxima densidad seca, mientras que al usar un 6% de cemento, la adición de ceniza la aumentaba. Pero en ambos casos, el contenido de humedad óptima siempre aumentaba al incrementar el contenido de ceniza, así como el CBR.

Por otro lado, Koteswara et al. (2011) notaron que la resistencia a la compresión a los 28 días de un suelo expansivo aumentó aproximadamente cinco veces mediante la adición de 20% de ceniza de cáscara de arroz con 5% de cal y 3% de yeso. Al parecer, muy pocos esfuerzos se han realizado para evaluar la aplicabilidad de las cenizas en suelos arenosos, tal vez porque éstos son menos problemáticos en comparación con los suelos arcillosos.

Behak y Musso (2016) y Behak y Peres (2008) evaluaron el efecto de incorporar cenizas de cáscara de arroz en suelos arenosos con cal. Ellos encontraron que, al no haber

un control de la calcinación de la cáscara de arroz, las cenizas presentan alto contenido orgánico, lo cual retarda las reacciones de la cal y produce bajos incrementos de la resistencia. Se sabe que la avidez del carbono por el agua interfiere en las reacciones entre los iones de calcio y la sílice amorfa (Petry y Glazier, 2005). A pesar de eso, encontraron un aumento considerable en la resistencia del suelo tratado con cenizas de cáscara de arroz y cal, lo cual hace a esta ceniza potencialmente útiles para la construcción de pavimentos de bajo tránsito cuando se usa combinada con cal (Behak y Musso, 2016).

De esta revisión se verifica que las cenizas disminuyen siempre la densidad seca y aumentan la necesidad de agua para lograr una buena compactación. En los suelos arcillosos, las mejoras son notables cuando se adiciona ceniza, aun cuando no se usa otro aglomerante como la cal o el cemento. En combinación con la cal o el cemento se pueden lograr mejoras significativas, pero en algunos casos, los efectos positivos dependerán del contenido de aglomerante que lo acompaña.

Poco se ha hecho en los suelos arenosos y no se ha probado en combinación con cemento. Se sabe que el uso del cemento es muy eficaz en suelos granulares, aumentando considerablemente su resistencia a las deformaciones y ofreciendo un incremento de la resistencia a la tracción (Toirac, 2008). Esto ofrece una ventaja de aplicación local, dado que los suelos predominantes en Piura son mayormente arenosos, con algo de limos y arcillas. Además, el ahorro en el transporte de materiales, la reutilización de desperdicios (reducción del impacto ambiental) y un mayor empleo de materiales de la zona. Considerando la revisión de literatura, se espera que los efectos en suelos arenosos sean aún mayores. Estas mejoras se evalúan, al igual que lo sugiere la literatura, en las propiedades de compactación y el CBR.

Capítulo 2

Metodología

Para el estudio de la incorporación de la ceniza de cáscara de arroz en suelos arenosos, se llevó a cabo una investigación cuantitativa, experimental, controlada en laboratorio (Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción de la Universidad de Piura). Los efectos se evaluaron por comparación entre el suelo natural y varias proporciones de ceniza. Debido a la falta de cohesión del suelo, se usó una dosis pequeña de cemento tipo V, que es el más usado en pavimentación.

2.1. Preparación de los materiales

Los materiales necesitaron ser seleccionados para eliminar el contenido de elementos no deseados. En el caso de la ceniza, se pasó por el tamiz N° 10 con la finalidad de eliminar los residuos orgánicos y los cristales del mismo proceso de calcinación.

En el caso del suelo, se pasó por el tamiz N° 4 para eliminar la materia orgánica como hojas y raíces.

2.2. Plan experimental

El plan experimental comprendió dos etapas: la primera correspondió con la caracterización del suelo y las cenizas. La segunda, corresponde con las pruebas de control del suelo y las mezclas.

2.2.1. Caracterización de los materiales

La caracterización de la ceniza consistió en determinar la composición química a través del ensayo de fluorescencia de Rayos X según la norma ASTM E2465 – 13. Además, se evaluó la granulometría por el método de sedimentación con hidrómetro y la forma de la partícula por observación con un estereoscopio.

El suelo natural se caracterizó mediante las clasificaciones SUCS y AASHTO. Se siguió el método de ensayos según las normas NTP 339.134 para la clasificación SUCS y NTP 339.135 para la clasificación AASHTO. Basado en los resultados de ensayos de la muestra en laboratorio, se clasificó de acuerdo con los grupos de suelos asignándoles un símbolo y nombre de grupo en el caso de la clasificación SUCS y un grupo o subgrupo para el caso de la clasificación AASHTO. Además, se evaluó su granulometría por el método de tamizado.

2.2.1.1. Composición química de la ceniza

La determinación de la composición química de la ceniza de cáscara de arroz se hizo mediante el ensayo de espectroscopía de fluorescencia de rayos X (ASTM E2465 – 13), para la determinación de los componentes, en el laboratorio de CIA Minera Agregados Calcáreos S.A. (COMACSA).

2.2.1.2. Gravedad específica

Se midió la gravedad específica de la ceniza de cáscara de arroz siguiendo la norma NTP 339.131, realizándolo por duplicado. Se colocó la muestra de ceniza de cáscara de arroz dentro del picnómetro, fue llenado con agua destilada hasta la mitad de su capacidad y se le conectó directamente a la bomba de vacío para eliminar el aire atrapado dentro de la muestra Figura 3**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Luego se llenó el picnómetro con agua destilada para registrar los cambios de temperatura con un termómetro.

Figura 3. Fiolas llenas con muestra y agua destilada, usadas en el ensayo de gravedad específica.
Fuente: Elaboración propia

2.2.1.3. Granulometría

Para el suelo se midió la distribución del tamaño de las partículas mediante el método por tamizado, mientras que para la ceniza se midió mediante dos métodos: por tamizado y por sedimentación. (NTP 339.128)

Para la granulometría por tamizado se usaron los tamices normalizados ASTM. Para la granulometría por sedimentación se usó el hidrómetro con hexametafosfato de sodio como defloculante, para permitir que las partículas que se encontraban unidas pudieran precipitar de forma individual al momento de hacer el ensayo.

2.2.2. Control del suelo con ceniza de cáscara de arroz

Los efectos de la estabilización se midieron a través de dos parámetros: Densidad próctor modificado y capacidad de soporte de california o CBR.

2.2.2.1. Densidad próctor modificado

La densidad próctor modificado se midió siguiendo el método A de la norma NTP 339.141, tanto para la muestra de suelo natural como para las muestras con adiciones. El suelo se humedece cada vez con cantidades de agua variable y se compacta usando un molde de 4 pulgadas, compactando 5 capas con 25 golpes por capa, mediante un pistón de 10 lbf, que cae a una altura de 18 pulgadas. Al terminar se mide la densidad, como el

cociente del peso de la muestra dividido entre el volumen del molde, que es conocido. Luego se determina la humedad del suelo siguiendo la norma NTP 339.127. Se deben usar al menos 5 valores de humedad, que se grafican con la densidad obtenida. Cada muestra con un contenido de humedad y peso unitario corresponde a un punto en la gráfica. Así, de la gráfica se puede determinar la humedad que permite conseguir la máxima densidad seca. Este valor de humedad se conoce como humedad óptima. La realización del ensayo se puede ver en las Figura 4 y Figura 5.

Figura 4. Humedecimiento de la mezcla.
Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Ensayo de próctor modificado: (a) compactación de la mezcla (b) muestra compactada.
Fuente: Elaboración propia

2.2.2.2. Capacidad de soporte de California (CBR)

El ensayo de CBR se realizó siguiendo la norma NTP 339.145 en condiciones saturadas y no saturadas, con la finalidad de determinar únicamente la resistencia a la penetración del suelo.

Para la realización del ensayo se prepararon 3 probetas por tipo de muestra, las cuales fueron compactadas en 5 capas, con diferente energía de compactación y con la humedad óptima respectiva según la probeta y porcentaje de ceniza. La primera probeta fue compactada con 10 golpes cada capa, la segunda probeta con 25 golpes cada capa y, por último, la tercera probeta, fue compactada con 56 golpes cada capa (ver Figura 6)

Siguiendo el procedimiento sugerido en la norma, se procedió a sumergir en un pozo de agua las muestras durante 4 días, constituyendo así las muestras en condiciones saturadas. Las muestras dejadas al aire, sin sumergir, quedaron expuestas durante 4 días, constituyendo las muestras en condiciones no saturadas (ver Figura 7 y 8). Posteriormente al descanso de los 4 días para las probetas, se procedió con la realización del ensayo. El valor de CBR corresponde a la resistencia medida para una penetración de 0.1”.

Figura 6. Compactación de la muestra para el ensayo de CBR.
Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Muestras sumergidas por 4 días para el ensayo de CBR.
Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Muestras puestas al aire por 4 días para el ensayo de CBR.
Fuente: Elaboración propia

2.3. Diseño de las combinaciones de suelo con cenizas de cáscara de arroz

El suelo ha sido usado como el patrón de comparación. Sobre este se añadió la ceniza de cáscara de arroz en tres proporciones: 5%, 10% y 15% en peso del suelo, como reemplazo del suelo. Debido a la falta de cohesión del suelo, se usó un 4% de cemento como aglomerante, el cual se mantuvo constante en todas las mezclas. Este porcentaje se expresa en peso respecto al suelo total entendido como la suma del suelo, cemento y ceniza. Tal como se sugiere en la literatura (Behak y Musso, 2016; Nusly y Chandrakaran, 2015; Behak y Peres, 2008), el reemplazo se realizó en peso, considerando que se trata de materiales con densidades muy diferentes y partículas muy finas. Sin embargo, la gran

diferencia con los otros trabajos es el grado de molienda aplicado, que, en el presente trabajo, no se ha realizado.

En la Tabla 2, se resumen las cantidades usadas para preparar las muestras de suelo estudiadas. La codificación de las muestras corresponde con la siguiente descripción: TM-PS+PC+PCZ, donde TM corresponde al tipo de muestra, que en este caso ha sido suelo natural (SN) y suelo con cemento y ceniza (SCZ). El término PS corresponde con el porcentaje de suelo, PC al porcentaje de cemento y PCZ al porcentaje de ceniza.

Tabla 2. Detalle de las muestras ensayadas y las proporciones de suelo, cemento y ceniza usados, en relación a cinco kilogramos de peso.

Muestra	Suelo natural (g)	Cemento (g)	Ceniza (g)	Total (g)
SN - 100% + 0% + 0%	5000	0	0	5000
SCZ 1 - 91% + 4% + 5%	4550	200	250	5000
SCZ 2 - 86% + 4% + 10%	4300	200	500	5000
SCZ 3 - 81% + 4% + 15%	4050	200	750	5000

Fuente: Elaboración propia

La mezcla se preparó manualmente en seco, mezclando primero el suelo con el cemento y luego se adicionó la ceniza, mezclándolo todo por 10 minutos hasta homogenizarlo completamente (ver Figura 9, Figura 10 y Figura 11).

Figura 9. Mezcla del suelo con el cemento.
Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Mezcla del suelo y cemento, con ceniza.
Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Mezcla homogénea de la combinación 1.
Fuente: Elaboración propia

Capítulo 3

Caracterización de los materiales

3.1. Caracterización del suelo natural

El suelo natural se obtuvo de una zona dentro del casco urbano de Piura, ubicado en las coordenadas Latitud: 5°10'33.2”S y Longitud: 80°38'00.7”W, dentro del campus de la Universidad de Piura, en el cruce vial cercano al Laboratorio de Ensayo de Materiales de Construcción, como se muestra en las Figura 12 y Figura 13.

Figura 12. Ubicación de la zona de extracción de la arena.
Fuente: Google maps

Figura 13. Vista de la zona donde se extrajo la arena.
Fuente: Google maps

3.1.1. Preparación del suelo natural

Se extrajeron aproximadamente 400 kilogramos de arena que fueron transportados en sacos al laboratorio donde se realizaron los ensayos. El material se encontraba húmedo y contenía materia orgánica (hojas, ramas y raíces). Previamente fue tamizado por el tamiz N°4, para eliminar la materia orgánica que esta contenía y se puso a secar al aire durante 24 horas, como se muestra en las Figura 14 y Figura 15. La arena ya limpia y seca, fue almacenada en un sitio seco y limpio.

Figura 14. Tamizado de la arena aun húmeda por el tamiz N°4.
Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Secado al aire por 24 horas de la arena.
Fuente: Elaboración propia

3.1.2. Clasificación SUCS y AASHTO

Después del lavado y secado al horno del material granular, se procedió al tamizado de la arena (ver Figura 16). En la Figura 17, se muestra la curva granulométrica representativa del suelo, donde se puede apreciar que corresponde a una arena fina, mal graduada por tener una distribución de tamaño de partícula uniforme. El diámetro medio de esta arena es de 0.093 mm. El contenido de finos no plásticos es del 8%.

Figura 16. Tratamiento previo del suelo para su uso en la presente investigación: (a) lavado de la arena (b) secado al horno de la arena (c) tamizado de la arena.
Fuente: Elaboración propia

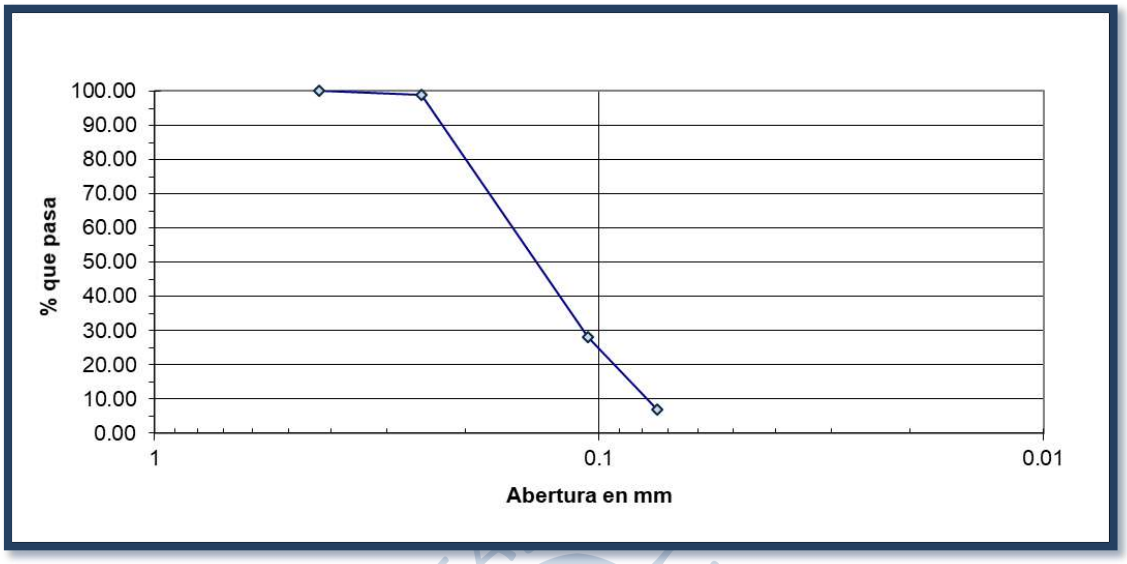


Figura 17. Curva granulométrica de la arena.
Fuente: Elaboración propia

Este suelo corresponde con una arena pobremente graduada con limo (SP-SM) en el sistema de clasificación SUCS y un suelo A-3(0) en el sistema de clasificación AASTHO. En general, carece de propiedades plásticas. Esto significa que no tiene firmeza, sus partículas no tienden a juntarse ni adherirse como los suelos cohesivos y se encuentra propenso a derrumbes y asentamientos debido a que estas partículas tienden a reordenarse al experimentar una fuerza de penetración. Por su finura se espera que tenga un requisito de cemento elevado, aunque la ausencia de finos puede ser favorable.

Además, se puede decir que al adicionarle 4% de cemento a las mezclas de suelo con ceniza de cáscara de arroz, de acuerdo con la Tabla 1, no se estaría hablando de suelo-cemento, ni de estabilización, debido a que el porcentaje de cemento se encuentra fuera del rango de requerimiento para este tipo de suelo.

3.2. Caracterización de la ceniza de cáscara de arroz

Las cenizas de cáscara de arroz provienen de la empresa Costeño Alimentos S.A.C., ubicada en la carretera Panamericana Norte, Mz. B Lt. 07, Zona Industrial Sullana, Piura, Perú, como se muestra en la Figura 18.

Figura 18. Ubicación de la empresa Costeño Alimentos S.A.C.
Fuente: Google maps

3.2.1. Preparación de las cenizas de cáscara de arroz

Previo a los ensayos, las cenizas fueron tamizadas por el tamiz N° 10, como se muestra en las Figuras 19 y 20, con la finalidad de eliminar la materia orgánica y los cristales de sílice, como se muestra en las Figuras 21 y 22.

Figura 19. Tamizado de ceniza de cáscara de arroz por el tamiz N° 10.
Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Tamizado de ceniza de cáscara de arroz por el tamiz N° 10.
Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Cristales de sílice retenidos por el tamiz N° 10.
Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Cristales de sílice presentes en la ceniza de cáscara de arroz.
Fuente: Elaboración propia

Las cenizas tienen un color negro con partes grisáceas y contienen partículas que no han sido calcinadas. Dichas cenizas poseen una superficie muy áspera y altamente abrasiva, que, cuando se pone en contacto con la piel, ésta se irrita (ver Figura 23).

Figura 23. Irritación de la piel al haber estado en contacto con las cenizas de cáscara de arroz.

3.2.2. Composición química

Los resultados del análisis de XRF (Tabla 3) indican que las cenizas presentan un alto contenido de SiO_2 (92.19%), el otro 7.81% restante corresponde a diferentes tipos de óxidos, principalmente K_2O (4.2%).

Tabla 3. Composición química de la ceniza de cáscara de arroz mediante XRF

Compuesto	W/W % muestra
SiO_2	92.19
K_2O	4.20
P_2O_5	0.95
CaO	0.72
MgO	0.66
MnO	0.19
BaO	0.06
Y_2O_3	0.06
ZrO_2	0.05
SrO	0.05
Fe_2O_3	0.03
La_2O_3	0.03
LOI	1.42

Fuente: Elaboración propia

Estos resultados coinciden con los resultados reportados por Vigil (2000) para ceniza de cáscara de arroz. Al igual que en este otro estudio, el valor de LOI mayor a 1% indica una gran cantidad de materia orgánica presente.

3.2.3. Forma y tamaño de la partícula de ceniza

Al analizar las partículas de las cenizas se pudo observar que conservan parte de las características de la cáscara de arroz sin incinerar. Esto confirma que la cáscara tiene una combustión incompleta y son coherentes con el valor de 1.42% de LOI de la muestra estudiada. En la Figura 24 se puede ver la textura áspera de la cáscara calcinada, con la forma de lámina curva.

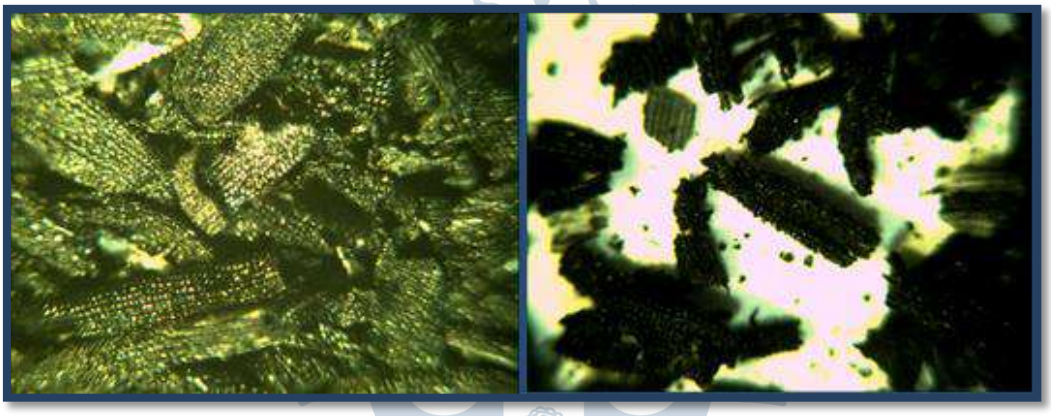


Figura 24. Forma de la partícula de la ceniza de cáscara de arroz observada en el estereoscopio.
Fuente: Elaboración propia

El ensayo de granulometría por tamizado por sí solo no es representativo, porque muchas de las partículas de ceniza son retenidas en los tamices, debido fundamentalmente a la forma alargada y achatada con textura irregular y rugosa (ver Figura 24). Esta forma de las partículas genera que tenga una difícil organización y dificulte su paso por las aberturas del tamiz al momento de la realización del ensayo. Asimismo, las partículas pequeñas se encuentran floculadas impidiendo una buena caracterización. Por esta razón se decidió realizar también la granulometría por hidrómetro.

En la Figura 25, se muestra la distribución del tamaño de partículas de la ceniza por el método de granulometría por hidrómetro (sedimentación). Se puede apreciar que la distribución de tamaño de partícula es continua y tiene una buena gradación de partículas.

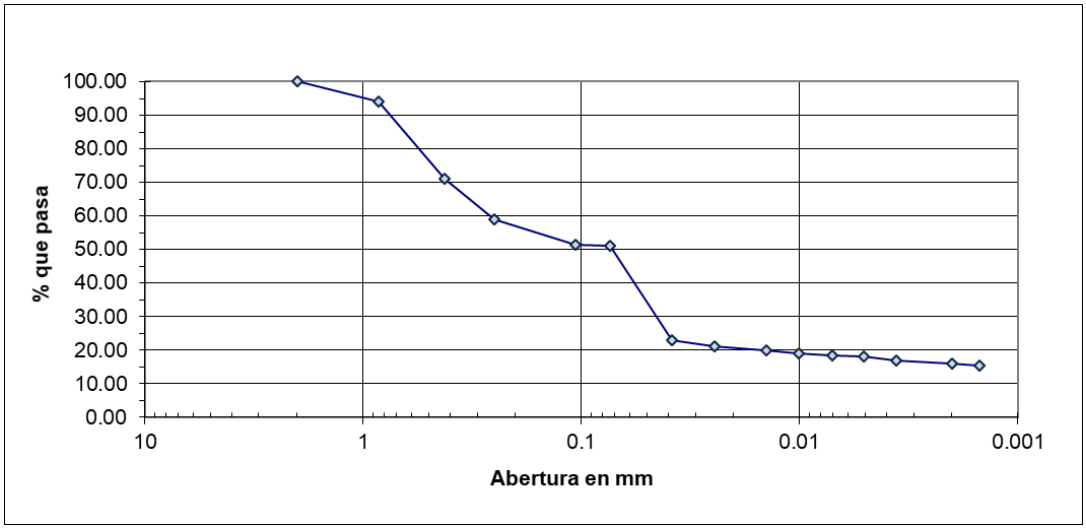


Figura 25. Distribución granulométrica de las partículas de ceniza de cáscara de arroz.
Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Gravedad específica

La gravedad específica de la ceniza es 2.19 g/cm^3, lo cual indica que tiene una densidad muy baja en comparación a la arena y al cemento que tiene 3.15 g/cm^3 aproximadamente. Este resultado coincide con el valor reportado por Vigil (Gs=2.16 g/cm^3). El bajo valor de la ceniza en relación con el suelo y al cemento supone que, para un porcentaje en peso muy bajo, el volumen -y, por tanto, la cantidad de partículas de ceniza añadida- será muy grande. Esto incrementa severamente la presencia de partículas pequeñas y alargadas que requerirán mayor cantidad de agua para lograr su acomodo y mayor cantidad de pasta de cemento para lograr la unión entre ellas. Este efecto se midió en los cambios de densidad de la mezcla con ceniza y en los resultados de la densidad próctor y el CBR.

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Capítulo 4

Efecto de la ceniza en el comportamiento mecánico del suelo-cemento

4.1. Granulometría de la combinación suelo-cenizas

Se evaluó la adición de la ceniza de cáscara de arroz al suelo, a nivel de combinación y modificación de la distribución del tamaño de partículas únicamente para ayudar en la interpretación de los resultados de la incorporación. La curva granulométrica representativa de cada combinación (5%, 10% y 15%), se muestran en la Figura 26. Se puede observar que la clasificación del suelo no cambia al adicionarle la ceniza, es decir, sigue siendo una arena pobremente graduada con limo (SP-SM) en el sistema SUCS y un suelo A-3(0) en el sistema AASTHO.

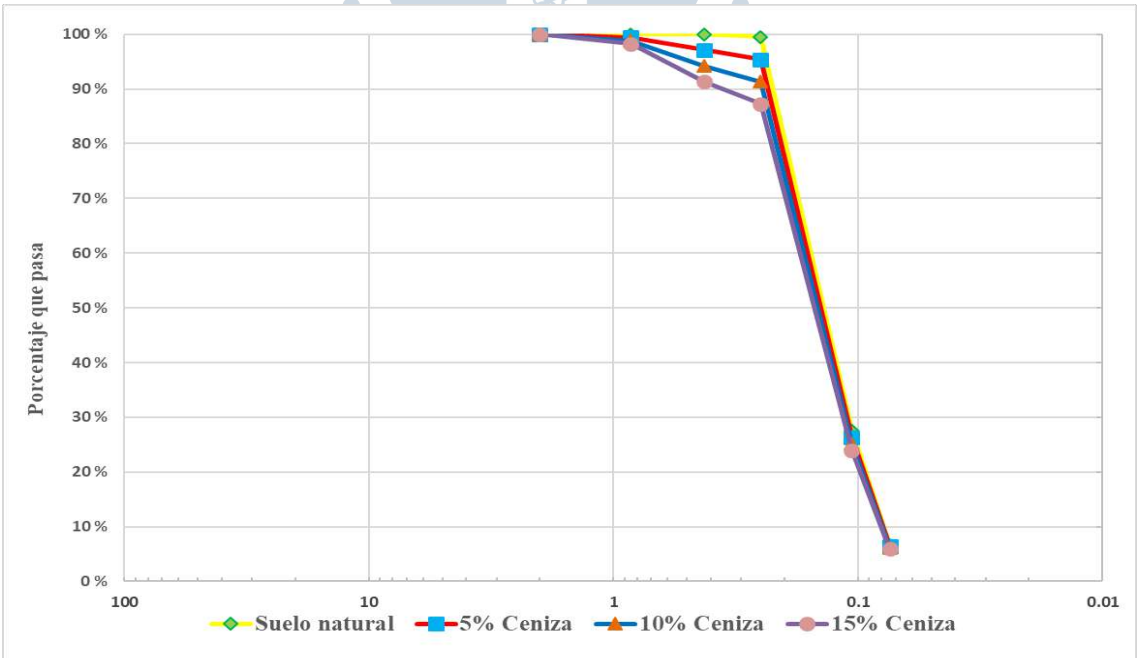


Figura 26. Curvas granulométricas del suelo con la adición de ceniza de cáscara de arroz.
Fuente: Elaboración propia

Dado que se ha usado la ceniza en una granulometría mayor al tamiz No. 200, se nota su efecto en el rango de partículas mayores a las 74 micras. A medida que se adiciona la ceniza se observa una tendencia de la gradación a ser más distribuida. Esto, en general, favorece el acomodo de las partículas dentro del conjunto al momento de la compactación.

4.2. Efecto en la densidad próctor: Relación humedad – densidad

Los valores de máxima densidad seca y humedad óptima del próctor modificado se resumen en la Tabla 4 y se han graficado en la Figura 27. Estos valores corresponden tanto al suelo natural como a las combinaciones de ceniza de cáscara de arroz.

Tabla 4. Resultados del ensayo de próctor modificado

Muestra (TM-PS+PC+PCZ)	Máxima densidad seca (g/cm^3)	Humedad óptima (%)
SN - 100% + 0% + 0%	1.64	10.5
SCZ 1 - 91% + 4% + 5%	1.61	16.0
SCZ 2 - 86% + 4% + 10%	1.51	17.0
SCZ 3 - 81% + 4% + 15%	1.44	23.0

Fuente: Elaboración propia

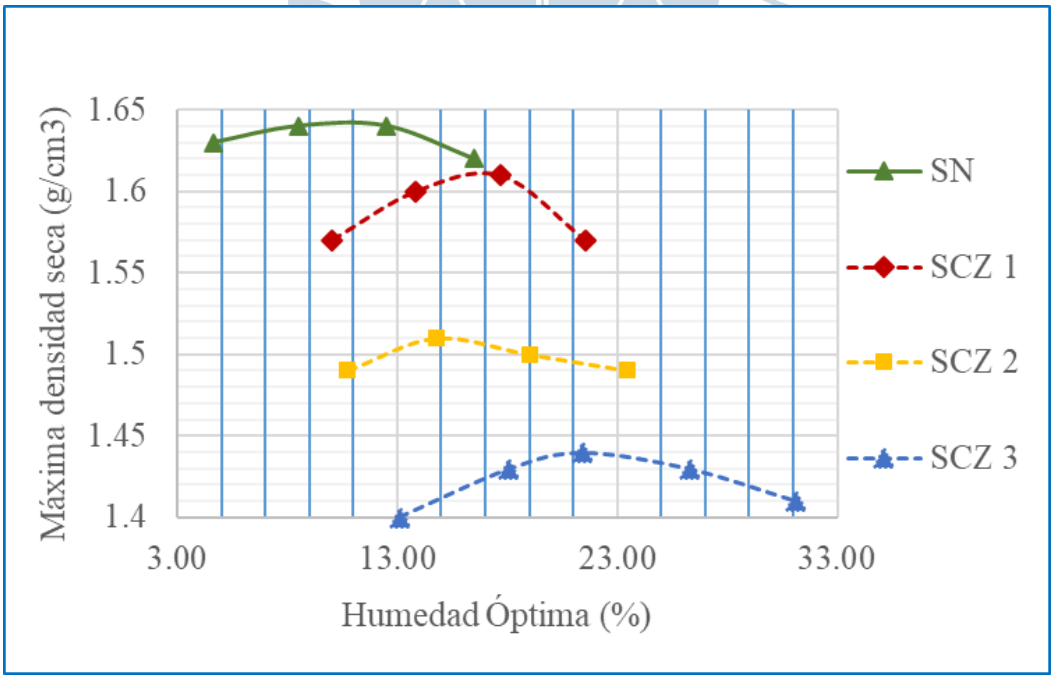


Figura 27. Relación máxima densidad seca y humedad óptima.
Fuente; Elaboración propia

En la Figura 27, se pueden apreciar las curvas de máxima densidad seca vs humedad óptima de las 4 muestras ensayadas. Las curvas de densidad son achatadas y no cuentan con un pico definido, muy típicas de los suelos arenosos, debido a que el peso específico seco no varía tanto entre el estado suelto y el denso (Behak, 2008).

Al adicionar y aumentar proporcionalmente el contenido de la ceniza de cáscara de arroz se observa una disminución de la máxima densidad seca respecto a la del suelo natural. Esto se podría explicar por la baja densidad de la ceniza, es decir, las partículas de las cenizas tienen un menor peso en relación con su volumen, y para el mismo peso de material adicionado, las cenizas representan un mayor volumen en las muestras, en comparación al suelo natural. De este modo, la contribución del arreglo de las partículas suelo-ceniza a la densidad puede ser poco significativo, pero el peso total es menor, haciendo que la densidad final del conjunto sea menor

La presencia de las cenizas de cáscara de arroz en el suelo aumenta significativamente la necesidad de agua requerida para lograr la máxima densidad posible. Este mismo efecto se ha observado en otras investigaciones con ceniza de cáscara de arroz (Behak y Peres, 2008; Nasiri, 2016) y de las cenizas en general. Este efecto puede ser atribuido a la forma alargada de las cenizas que tienen una mayor área superficial con relación a su peso y, por tanto, una mayor necesidad de agua para lubricar su movimiento (Nasiri, 2016; Ospina et al., 2009). Por otro lado, Behak y Peres (2008) atribuyen este requerimiento de agua a la elevada capacidad de absorción de la ceniza, debido a que parte del agua de la mezcla es absorbida por los poros de la ceniza y otra parte es consumida por el proceso de hidratación del cemento, lo que resulta en una mayor adición de agua para realizar la compactación con una mayor eficiencia y una adecuada hidratación del cemento. Constructivamente esto no constituye un problema puesto que los niveles de energía de compactación requeridos son similares, pero sí un mayor costo por la cantidad de agua requerida para realizar el proceso.

Este efecto sobre el contenido de humedad óptimo es el mismo observado por Basha et al. (2005) y Trivedi et al. (2013) en suelos plásticos. En estos suelos, el contenido de humedad óptima aumenta y la máxima densidad seca se reduce con el aumento del porcentaje de la ceniza de la cáscara de arroz añadida.

4.3. CBR

Los resultados de CBR de las muestras, tanto del suelo natural y de aquellas con las adiciones de ceniza se muestran en la Tabla 5 y en la Figura 28, referidos al 100% de la máxima densidad seca a una penetración de carga de 0.1”. Se muestran los datos para las dos condiciones evaluadas (sumergidas y no sumergidas).

Tabla 5. Resultados del ensayo de Relación de Soporte de California (CBR) a 0.1” para las muestras analizadas.

Muestra (TM-PS+PC+PCZ)	CBR sumergido (%)	CBR no sumergido (%)
SN - 100% + 0% + 0%	39	45
SCZ 1 - 91% + 4% + 5%	148	213
SCZ 2 - 86% + 4% + 10%	120	133
SCZ 3 - 81% + 4% + 15%	62	69

Fuente: Elaboración propia

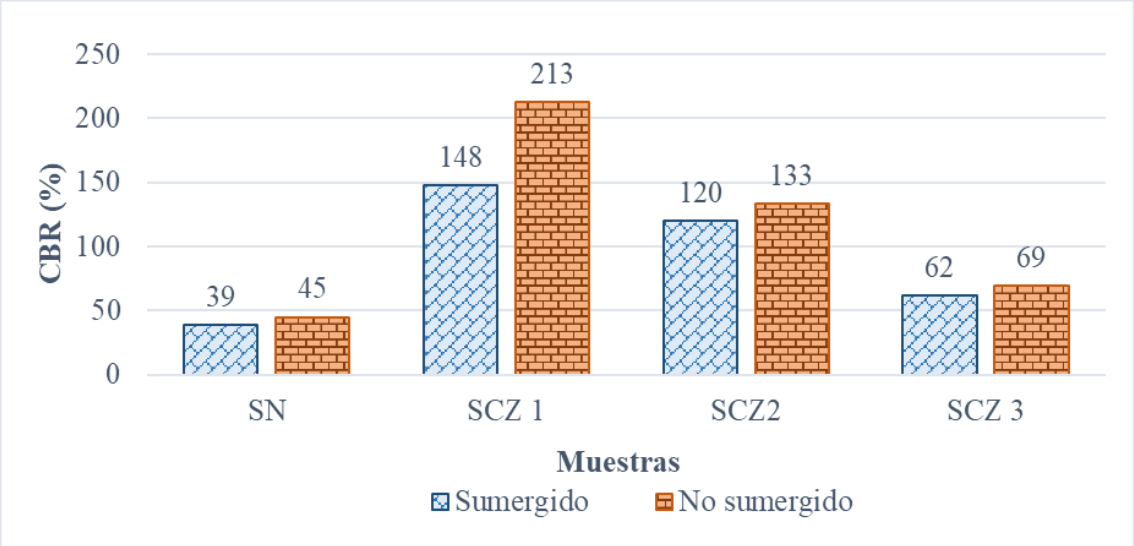


Figura 28. Resultados del ensayo CBR a una penetración de carga de 0.1”.
Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el suelo natural tiene una baja capacidad de soporte. Al adicionarle la ceniza, independientemente de la cantidad usada, la mezcla adquiere una gran resistencia respecto al suelo natural. Esto se debe fundamentalmente a la dosis de cemento usada, que a pesar de ser pequeña logra darle una mayor estabilidad y firmeza al suelo, gracias a sus propiedades cementantes que le permiten mantener unidas a las partículas del suelo. Sin embargo, la presencia de las cenizas parece lograr un adecuado

acomodo de las partículas en la mezcla de suelo, proporcionándole una mayor estabilidad estructural.

Se puede apreciar también que los valores de CBR de las muestras no sumergidas, son mayores que las sumergidas. Se hubiera esperado que al usar cemento la resistencia se incrementaría significativamente al estar sumergido debido al efecto del agua en la hidratación del cemento. Sin embargo, esto confirma que el contenido de cemento es insuficiente para lograr una buena adherencia entre las partículas y la presencia del agua deja las partículas del material en un estado más suelto, quitándole estabilidad.

A medida que se incrementa la cantidad de ceniza, el valor de CBR disminuye y las muestras no sumergidas se asemejan cada vez más a los valores de las muestras sumergidas. Este descenso se da, porque el valor de CBR de las combinaciones depende de la máxima densidad seca, la cual disminuye con el incremento de la adición de ceniza. Como se explicó anteriormente, las cenizas tienen una baja densidad, es decir, un menor peso en relación a su volumen, lo que implica una mayor área superficial y, por tanto, se requerirá una mayor cantidad de cemento para cementar tanto las partículas de arena como las de ceniza. Este efecto no sólo depende del tamaño de partículas sino también de su forma y textura (alargada, achatada, irregular y porosa).

Los valores de CBR obtenidos en cada muestra son coherentes con el ensayo de próctor modificado, porque ambos ensayos tienen la misma tendencia en sus gráficas. Las curvas que se generan dependerán de la máxima densidad seca, es decir, dependerá de la cantidad de ceniza de cáscara de arroz adicionada a la muestra.

Se concluye entonces que la ceniza de cáscara de arroz, sin molienda previa y sin ningún otro tipo de tratamiento, puede ser incorporada a suelos no cohesivos para ser usados como subrasantes. Al parecer, solo actúa como un suelo fino no plástico, disminuyendo la granulometría y aumentando el agua y el consumo de cemento requeridos en el proceso. La dosis máxima sugerida de ceniza a incorporar en una subrasante arenosa, siempre que se use con una dosis mínima de cemento, es del 15% sin que descalifique al suelo para ser usado como una subrasante excelente, ofreciendo una alternativa sustentable y ambientalmente amigable en pavimentación.

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Conclusiones

1. Las cenizas de cáscara de arroz se caracterizan por ser partículas alargadas, achatadas y por tener una textura irregular. Además, tienen una baja gravedad específica en comparación a la arena y al cemento, y una mayor área superficial en comparación con estos materiales.
2. La adición de ceniza de cáscara de arroz, sin molienda previa, en un suelo arenoso si se usa con una dosis pequeña de cemento, hace que la máxima densidad seca del suelo disminuya, debido a que las cenizas tienen una menor densidad en relación con las partículas de suelo a las que reemplaza.
3. La incorporación de ceniza de cáscara de arroz, sin molienda previa, en un suelo arenoso produce un aumento en la humedad óptima, debido fundamentalmente al pequeño tamaño de las partículas y a su forma alargada, lo que implica una mayor área superficial y, por tanto, un mayor requerimiento de agua para lograr una buena compactación. Las cenizas suponen partículas pequeñas sin cohesión ni plasticidad, incrementando la necesidad de agua para lograr la máxima densidad al mismo esfuerzo de compactación.
4. Un 5% de ceniza en el suelo arenoso, si se usa una dosis de 4% de cemento, permite lograr la máxima capacidad de soporte respecto al suelo natural. A medida que se incrementa la cantidad de ceniza hasta un 15%, el CBR de la mezcla suelo-ceniza disminuye respecto al 5% de ceniza, pero sigue siendo mayor al del suelo natural (39%).

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Recomendaciones

- Evaluar el uso de las cenizas con un tratamiento previo, como una molienda que lo lleve a tamaños suficientemente pequeños para intervenir en la reacción de hidratación del cemento o una calcinación que la haga más reactiva. Esto podría mejorar su potencial. Así mismo, se puede extender su evaluación a otros tipos de suelos y otros aglomerantes.
- El trabajo con cenizas de cáscara de arroz requiere el uso de implementos de protección como mascarillas gruesas y camisas para evitar el contacto con la piel, porque son altamente abrasivas e irritan la piel.
- Explorar el uso de otras cenizas que son depositadas en botaderos sin control alguno, con contenido de sílice suficientemente elevado y que podrían ser estudiados para su reutilización en pavimentación.

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Referencias bibliográficas

Alhassan, M. (2008). Permeability of lateritic soil treated with lime and rice husk ash. Civil Engieneering Departament, Federal University of Technology Mina, Nigeria, 12(2), pp. 115-120.

American Concrete Institute (2009). Report on Soil Cement. Reported by ACI Committee 230.

ASTM C618-12. Historical Standard: Especificación normalizada para Ceniza Volante de Carbón y Puzolana Natural en Crudo o Calcinada para Uso en Concreto.

Basha, E.; Hashim, R.; Mahmud, H. y Muntohar, A. (2005). Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. Construction and Building Materials 19(6), pp. 448-453.

Behak, L. y Musso, M. (2016). Performance of Low-Volume Roads with Wearing Course Layer of Silty Sandy Soil Modified with Rice Husk Ash and Lime. XII Conference on Transport Engineering; 7-9 June 2016; Valencia. DOI: 10.4995/CIT2016.2016.3451. 8 p.

Behak, L. y Peres, W. (2008). Caracterización de un material compuesto por suelo arenoso, ceniza de cáscara de arroz y cal potencialmente útil para su uso en pavimentación. Revista de Ingeniería de Construcción 23(1), pp. 34-41, Santiago de Chile.

Boateng, A. y Skeete, D. (1990). Incineration of Rice Hull for Uses as a Cementitious Material. The Guyana Experience. Cement and Concrete Research 20(5), pp. 795-802.

M. Chittaranjan, M. Vijay y D. Keerthi. Agricultural wastes as soil stabilizers. International Journal of Earth Sciences and Engineering, 2011, Vol-04, Issue No 06 SPL, pp. 50-51.

Chobasti, A., Ghodrati, H., Vahdatirad, M., Firouzian, S., Barari, A., Torabi, M., Bagherian, A. (2010). Influence of using rice husk ash in soil stabilization method with lime. Frontiers of Earth Science in Chine 4(4), pp. 471-480.

INDECOPI (1999). NTP 334.066:2008 – CEMENTOS. Método de ensayo para determinar el índice de actividad puzolánica utilizando cemento Pórtland.

INDECOPI (1999). NTP 339.127:1999 – SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

INDECOPI (1999). NTP 339.128:1999 – SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico.

INDECOPI (1999). NTP 339.129:1999 – SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de los suelos.

INDECOPI (1999). NTP 339.134:1999 – SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).

INDECOPI (1999). NTP 339.135:1999 – SUELOS. Método para la clasificación de suelos para uso en vías de transporte.

INDECOPI (1999). NTP 339.141:1999 – SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.

INDECOPI (1999). NTP 339.145:1999 – SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en laboratorio.

Juliano, B. (1985). Rice: Chemistry and Technology. Volumen 4 de AACC monograph series - American Association of Cereal Chemists, 774 p.

Kharade, A.; Suryavanshi, V.; Gujar, B.; Deshmukh, R. (2014). Waste product ‘bagasse ash’ from sugar industry can be used as stabilizing material for expansive soils. International Journal of Research in Engineering and Technology. Vol. 3, Issue 3, 506-512.

Koteswara, D.; Pranav, P. y Anusha, M. (2011). Stabilization of Expansive Soil with Rice Husk Ash, Lime and Gypsum – An Experimental Study. International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 3, N° 11.

Londoño, E. (2011). Lo que debes saber del ataque de sulfatos en el concreto. 360 EN CONCRETO. Grupo Argos, Colombia.

Malhotra, V. y Mehta, P. (1996). Pozzolanic and Cementitious Materials. Advances in concrete technology, v.1. Amsterdam, The Netherlands: Gordon and Breach.

Mamani, L. y Yataco, A. (2017). Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de madera de fondo, producto de ladrilleras artesanales en el departamento de Ayacucho. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad San Martín de Porres. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Lima, Perú.

Mehta, P. K. (1994). Rice husk ash. A unique supplementary cementing material. Advances in concrete technology Second Edition, pp. 419-444. Ed. CANMET Malhotra, V. M.

Ministerio de Agricultura y Riego (2017). Boletín Informe del Arroz. Dirección General de Políticas Agrarias, Dirección de Estudios Económicos e Información Agraria.

Ministerio de Agricultura y Riego (2018). Informe de Coyuntura Arroz. Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas – DGESEP.

Montejo, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Segunda edición, 1998. Segunda reimpresión de la segunda edición, 2002. Universidad Católica de Colombia.

Nasiri, M.; Lotfalian M.; Modarres A. y Wu, W. (2016). Optimum utilization of rice husk ash for stabilization of sub-base materials in construction and repair projects of forest roads.

Nusly K. y Chandrakaran S. (2015). Influence of Rice Husk Ash on Geotechnical of soft Clay. Asian Journal of Engineering and Technology (ISSN: 2321-2462) Volume 03 – Issue 04, Special issue for ICETTAS'15.

Onyelowe, K. Cement Stabilized Akwuete Lateritic Soil and the Use of Bagasse Ash as Admixture. Cellulose, 2012 vol. 2, pp. 45-55.

Ospina, M.; de Gutierrez, R.; Delvasto, S.; Monzó, J.; Borrachero, M. y Payá, J. (2009). Modificación de la morfología de la ceniza de cáscara de arroz por molienda de alta energía y su efecto en las propiedades reológicas de pastas de cemento portland adicionadas. Suplemento de la revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; S1 (2): 577-584.

Pérez Collantes, R. (2012). Estabilización de suelos arcillosos con cenizas de carbón para su uso como subrasante mejorada y/o sub base de pavimentos. Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería Geotécnica. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil. Lima, Perú.

Petry, T. y Glazier, E. (2005). The Effect of Organic Content on Lime Treatment of Highly Expansive Clay. In: 2nd International Symposium on Treatment and Recycling of Materials for Transport Infrastructure. Paris, 24-24 October 2005; 15p.

Ruskulis, O. (1994). Pozzolanas. Practical Action, The Schumacher Centre for Technology and Development, Bourton on Dunsmore, Rugby, Warwickshire, CV23 9QZ, UK.

Salazar, A., (2002). Síntesis de la tecnología del concreto. Una manera de entender a los materiales compuestos. 3° edición, Corporación Construir, Cali.

Santos, B.; Cardoso, C.; Levi, G.; Gómez, A. y Araujo, A. (2016). Estabilización granulométrica y química de suelo con fines viales. Conference: VII CICES – Congreso Ibero-Americano de Controle de Erosão, Volume: 1.

Toirac, J. (2008). El suelo-cemento como material de construcción. Ciencia y Sociedad, Volumen XXXIII, Número 4, Octubre-Diciembre 2008, pp. 520-571. Instituto Tecnológico de Santo Domingo. Santo Domingo, República Dominicana.

Trivedi, J.; Nair, S. y Ivyyunni, C. (2013). Optimum Utilization of Fly Ash for Stabilization of SubGade Soil using Genetic Algorithm. Chemical, Civil and Mechanical Engineering Traks of 3rd Nima University International Conference. Procedia Engineering 51, pp. 250-258.

Vigil, P. y Vásquez, R. (2000). Las cenizas de cáscara de arroz, adición puzolánica en cemento y concreto. Cementos Pacasmayo S.A.A., Universidad de Piura.

Zonificación Ecológica Económica (2017). Geología. Ministerio del Ambiente. Sistema de Información Ambiental Regional.

Anexos

UNIVERSITAS • STUDIORUM • PIURENSIS

Anexo A. Granulometría

UNIVERSIDAD DE PIURA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Norma: NTP 339.128 1999

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA **Ubicación** : Piura **Muestreo realizado por** : El solicitante

Obra : Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos

Procedencia : Universidad de Piura

Orden de servicio Nº : 21401

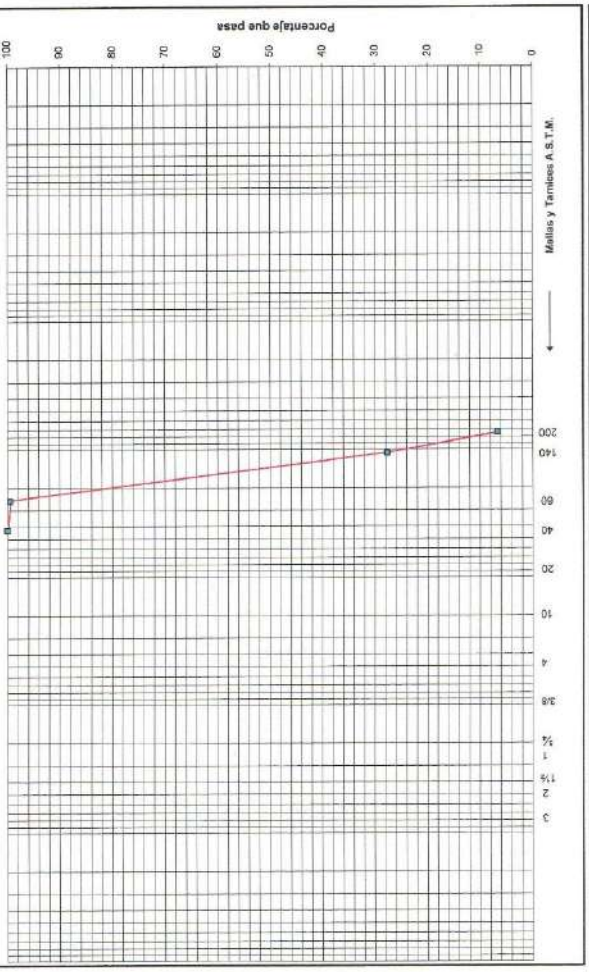
Informe Nº : 19/0557

Fecha de ensayo : 10/05/2018

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
7.62	3 "				
50.8	2 "				
38.1	1 1/2 "				
25.4	1 "				
19.1	3/4 "				
9.53	3/8 "				
4.76	4				
2	10				
0.85	20				
0.425	40	0.00	0.00	0.00	100
0.25	60	1.90	0.51	0.51	99
0.106	140	265.30	71.84	72.35	28
0.074	200	77.50	20.99	93.34	7
	Fondo	24.30			
	Total	369.00			
	Peso inicial	369.30			
	Pérdida	0.30			

Curva granulométrica



Descripción de la muestra: Arena pobremente graduada con limo (SP-SM)
Presenta 93% de arena fina Cu=2.3 Cc=1.5 y 7% de finos limosos no plásticos.
Muestra de color amarillo olivo.

Clasificación AASTHO: A-3 (0)

Supervisó el ensayo: Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo con los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP esta exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA LEMC LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

UNIVERSIDAD DE PIURA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

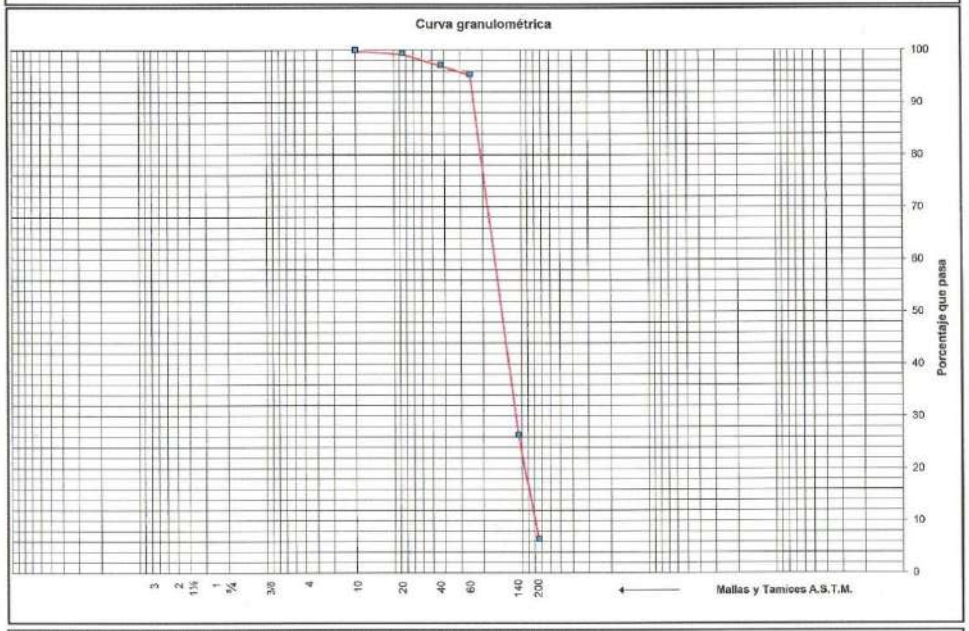
Norma: NTP 339.128 1999

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Orden de servicio N° : 21401
Informe N° : 190551
Fecha de ensayo : 15/06/2018
Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

Solicitante : WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA **Ubicación** : Piura **Muestreo realizado por** : El solicitante
Obra : Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Procedencia : Mezcla: 95% de arena+5% de ceniza

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
7.62	3 "				
50.8	2 "				
38.1	1 1/2 "				
25.4	1 "				
19.1	3/4 "				
9.53	3/8 "				
4.76	4				
2	10	0.00	0.00	0.00	100
0.85	20	2.90	0.59	0.59	99
0.425	40	11.40	2.31	2.89	97
0.25	60	8.40	1.70	4.59	95
0.106	140	341.10	69.02	73.61	26
0.074	200	98.50	19.93	93.55	6
	Fondo	31.70			
	Total	494.00			
	Peso inicial	494.20			
	Pérdida	0.20			



Supervisó el ensayo: Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912

L.E.M.C.

Descripción de la muestra: Arena pobremente graduada con limo (SP-SM) / granulometria de mezcla.
Presenta 94% de arena fina Cu=2.0 Cc=1.0 y 6% de finos limosos no plásticos.

Clasificación AASTHO: A-3 (0)

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

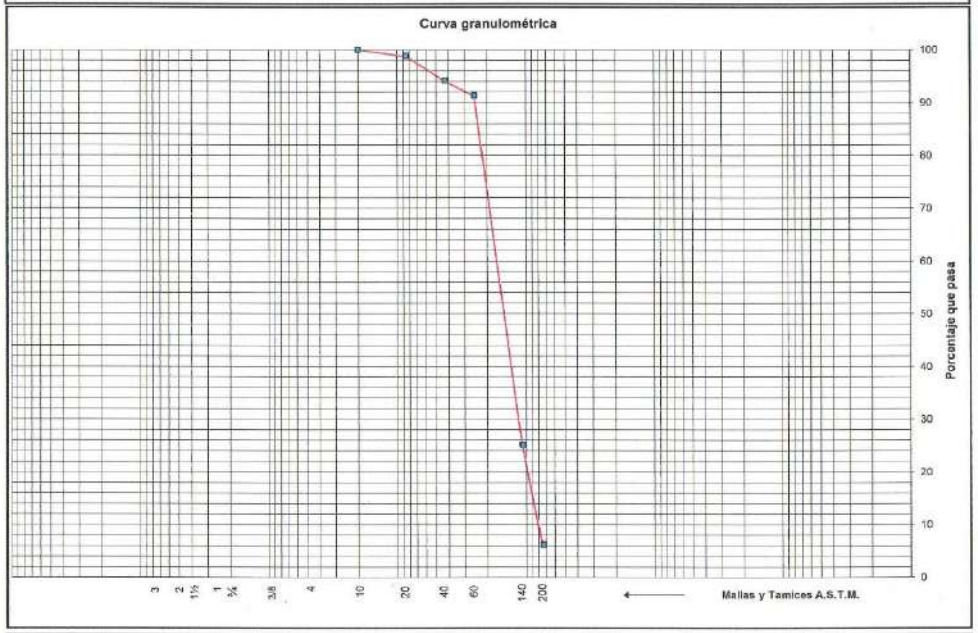
Norma: NTP 339.128 1999

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190453
Fecha de ensayo : 15/06/2018
Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

Solicitante : WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA **Ubicación** : Piura **Muestreo realizado por** : El solicitante
Obra : Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Procedencia : Mezcla: 90% de arena+10% de ceniza

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
7.62	3 "				
50.8	2 "				
38.1	1 1/2 "				
25.4	1 "				
19.1	3/4 "				
9.53	3/8 "				
4.76	4				
2	10	0.00	0.00	0.00	100
0.85	20	5.70	1.17	1.17	99
0.425	40	22.60	4.63	5.80	94
0.25	60	14.10	2.89	8.69	91
0.106	140	322.60	66.13	74.83	25
0.074	200	92.60	18.98	93.81	6
	Fondo	30.10			
	Total	487.70			
	Peso inicial	487.80			
	Pérdida	0.10			



Supervisó el ensayo: Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912

Descripción de la muestra: Arena pobremente graduada con limo (SP-SM) / granulometria de mezcla.
Presenta 94% de arena fina Cu=2.1 Cc=1.0 y 6% de finos limosos no plásticos.

Clasificación AASTHO: A-3 (0)

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

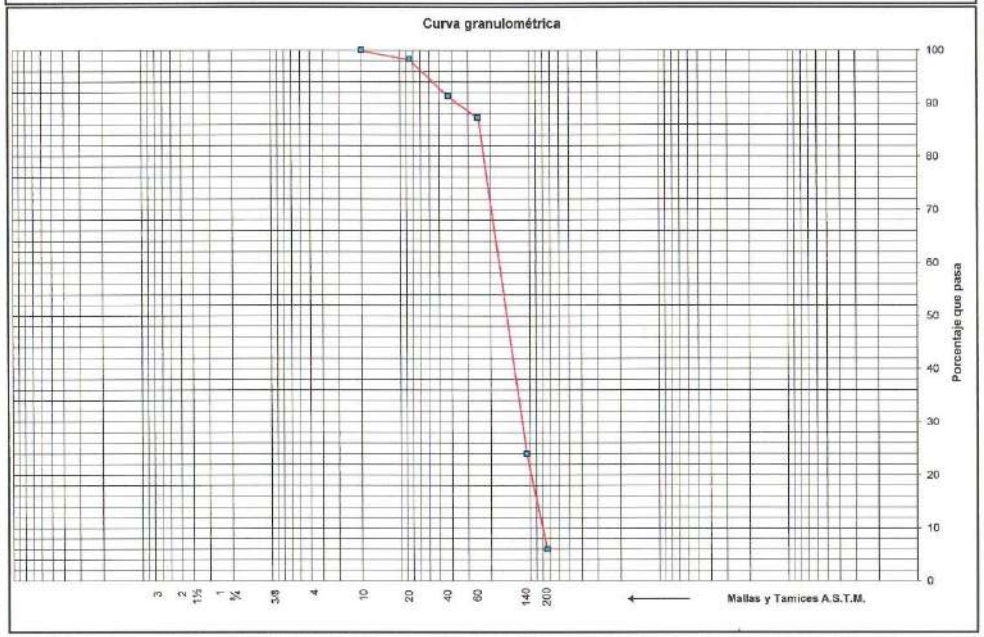
Norma: NTP 339.128 1999

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190452
Fecha de ensayo : 15/06/2018
Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

Solicitante : WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA **Ubicación** : Piura **Muestreo realizado por** : El solicitante
Obra : Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Procedencia : Mezcla: 85% de arena+15% de ceniza

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
7.62	3 "				
50.8	2 "				
38.1	1 1/2 "				
25.4	1 "				
19.1	3/4 "				
9.53	3/8 "				
4.76	4				
2	10	0.00	0.00	0.00	100
0.85	20	8.60	1.74	1.74	98.3
0.425	40	34.30	6.93	8.67	91.3
0.25	60	20.30	4.10	12.77	87.2
0.106	140	313.00	63.26	76.03	24.0
0.074	200	89.20	18.03	94.06	5.9
	Fondo	29.10			
	Total	494.50			
	Peso inicial	494.80			
	Pérdida	0.30			



Supervisó el ensayo: Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912

L.E.M.C.

Descripción de la muestra: Arena pobremente graduada con limo (SP-SM) / granulometría de mezcla.
Presenta 94% de arena fina Cu=2.2 Cc=1,0 y 6% de finos limosos no plásticos.

Clasificación AASTHO: A-3 (0)

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA

LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Norma: NTP 339.128 1999

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA **Ubicación** : Piura **Muestreo realizado por** : El solicitante

Obra : Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos

Procedencia : Ceniza procedente de fábrica Costeño

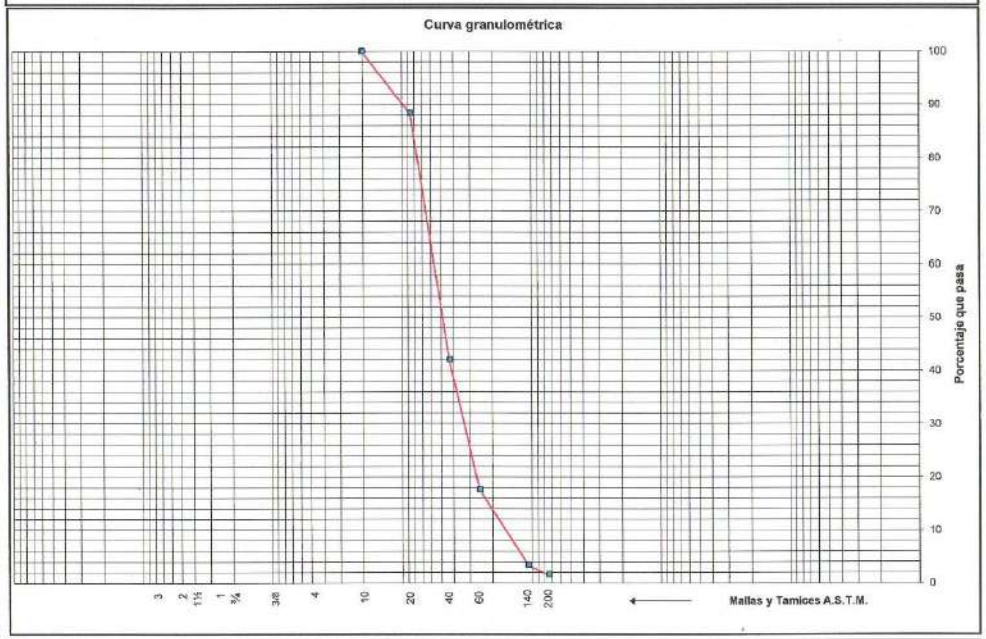
Orden de servicio Nº : 21401

Informe Nº : 190558

Fecha de ensayo : 13/06/2018

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

Abertura (mm)	Tamiz ASTM	Contenido (g)	Retenido parcial %	Retenido total %	Pasa %
7.62	3 "				
50.8	2 "				
38.1	1 1/2 "				
25.4	1 "				
19.1	3/4 "				
9.53	3/8 "				
4.76	4				
2	10	0.00	0.00	0.00	100
0.85	20	5.80	11.62	11.62	88
0.425	40	23.10	46.29	57.92	42
0.25	60	12.20	24.45	82.36	18
0.106	140	7.10	14.23	96.59	3
0.074	200	0.90	1.80	98.40	2
	Fondo	0.60			
	Total	49.70			
	Peso inicial	49.90			
	Pérdida	0.20			



Supervisó el ensayo: Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912

Descripción de la muestra: Arena pobremente. (SP) / Granulometria de ceniza
Presenta 98% de arena media a fina Cu=3,5 Cc=1,2 y 2% de finos limosos no plásticos.
Muestra de color negro

Clasificación AASTHO: A-1-b (0)

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y el resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - HIDRÓMETRO
Norma: NTP 339.128 1999

Orden de sevicio Nº : 21401
Informe Nº : 190465
Clasificación SUCS : _

Fecha de recepción : 17/04/2018
Fecha de ensayo : 09/05/2018 al 10/05/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Tesis	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestro realizado por	: El solicitante
Procedencia	: Ceniza de cáscara de arroz

CONDICIONES DEL ENSAYO:

Hidrómetro:	151 H
Agente dispersante:	Hexametafosfato de sodio
Corrección de menisco:	0.0005
Peso de suelo seco al aire (g):	30.0
Fact. de correcc. por humedad higroscópica:	0.998
(G_S) Gravedad específica de los sólidos:	2.19

RESULTADOS:

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Lectura en hidrómetro	Correcciones		Porcentaje de la muestra total que pasa	L (cm)	K	Diámetro de partícula (mm)
			menisco	comp*				
2	27	1.0085	1.0090	1.0075	46	13.90	0.01462	0.0385
5	27	1.0078	1.0083	1.0068	42	14.11	0.01462	0.0246
15	27	1.0075	1.0080	1.0065	40	14.20	0.01462	0.0142
30	27	1.0072	1.0077	1.0062	38	14.26	0.01462	0.0101
60	27	1.0070	1.0075	1.0060	37	14.30	0.01462	0.0071
120	27	1.0068	1.0073	1.0058	36	14.34	0.01462	0.0051
240	27	1.0065	1.0070	1.0055	34	14.40	0.01462	0.0036
480	26	1.0065	1.0070	1.0052	32	14.40	0.01165	0.0020
1440	25	1.0065	1.0070	1.0050	31	14.40	0.01492	0.0015

Observaciones:
* Corrección por defloculante, temperatura y menisco.

Realizó el ensayo : Tèc. Francisco Castro C.
Supervisó el ensayo Gaby Ruiz Petrozzi

UNIVERSIDAD DE PIURA
LEMC.
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

Anexo B. Límites de Atterberg

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

LÍMITES LÍQUIDO - PLÁSTICO - ÍNDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS
Norma: NTP 339.129 1999

Orden de servicio N°	: 21401
Informe N°	: 190454
Fecha de recepción	: 17/04/2018
Fecha de ensayo	: 11/05/2018
Fecha de emisión	: 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: Universidad de Piura

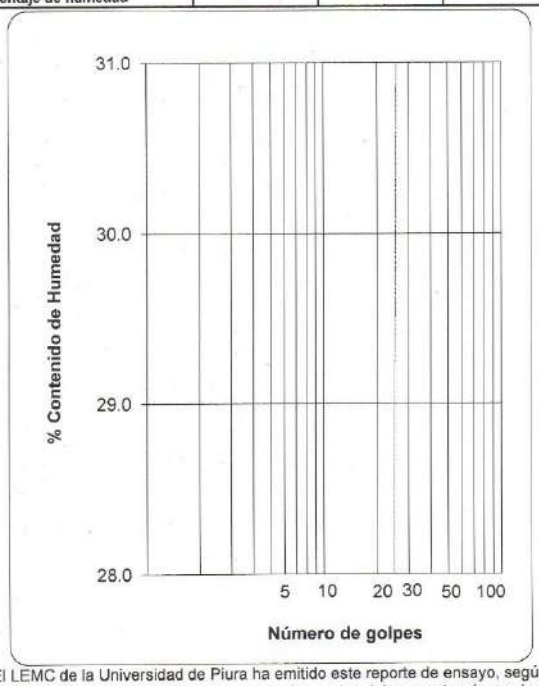
RESULTADOS:

LÍMITE LÍQUIDO

Peso húmedo						
Peso seco						
Peso de agua						
Porcentaje de humedad						
Número de golpes						

LÍMITE PLÁSTICO

Peso húmedo						
Peso seco						
Peso de agua						
Porcentaje de humedad						



DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
(Fracción que pasa tamiz N° 40)
Muestra no plásdtica.
Muestra de color amarillo olivo.

Clasificación AASHTO: _

LÍMITE LÍQUIDO L. L.	_
LÍMITE PLÁSTICO L. P.	_
ÍNDICE PLÁSTICO I. P.	N.P

Realizó el ensayo: Téc. Francisco Castro C.

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

Anexo C. Gravedad específica

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO RELATIVO EN SUELOS
Norma: NTP 339.131 1999

Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190562

Fecha de recepción : 17/04/2018
Fecha de ensayo : 14/05/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019
Clasificación AASHTO : -

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Tesis	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: Ceniza procedente de fábrica Costeño

RESULTADOS:

Ensayo	Peso Específico (Tx / 20°C)
1	2.18
2	2.19
Promedio	2.19

Observaciones: ---

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.
L.E.M.C.
Gaby Ruiz Parrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

	Mo	Ma	Mb	t°	Gs
Fiola N°	suelo seco	Fiola + agua	F+W+suelo	temp.	Gs
1	40	662	683.7	28	2.19
2	40	664.5	686.3	28	2.20

calibración de fiolas (Ma)					
Temp.	Fiola 1	Fiola 4	Fiola 5	Fiola 3	Fiola2
18		663.6			
19	661.75				
20			648.3		
21	661.4				
22		663.35			
23			647.8		
24		662.9		661.29	
25	660.8				
26		662.7	647.8		
27	660.7		647.5	661.59	
28		662.5			
29					
30			646.8		
31	647.22	662.1			
32			646.5		
33					

Tabla de corrección		
t°	Densidad agua	factor corrección
18	0.9986244	1.0004
19	0.9984347	1.0002
20	0.9982343	1.0000
21	0.9980233	0.9998
22	0.9978019	0.9996
23	0.9975702	0.9993
24	0.9973286	0.9991
25	0.9970770	0.9988
26	0.9968156	0.9986
27	0.9965451	0.9983
28	0.9962652	0.9980
29	0.9959761	0.9977
30	0.9956780	0.9974

UNIVERSITAS PIURENSIS

Anexo D. Fluorescencia de rayos X de la ceniza de cáscara de arroz

COMACSA
Cía Minera
AGREGADOS CALCÁREOS S.A.

Informe de ensayo XRF

DES_ID-MR-520_190418_ID - PF1-C

21/04/2018 11:05:29 a.m.

Fecha de análisis: 20/04/18 6:17 p.m.

Método	:	UQ+C
Calibración	:	UQ+_Cuarzo
Calculado como	:	Oxides
Nro. de caso	:	0 = All known
Atmósfera	:	Vacuum
Tipo de film	:	None

Diámetro medido	=	29.00	mm
Área medida	=	660.52	mm2
Masa medida	=	5794.32	mg
Altura muestra	=	3.00	mm
Dilución	=	11.064	Li2O/Li2B4O7/LiBr

Resultados

Compuesto	W/W % muestra
SiO2	92.19
K2O	4.20
P2O5	0.95
CaO	0.72
MgO	0.66
MnO	0.19
BaO	0.06
Y2O3	0.06
ZrO2	0.05
SrO	0.05
Fe2O3	0.03
La2O3	0.03
LOI	1.42

Ing. Gladys Palomino B.
Jefe de Laboratorio

Concentración > 10 ppm y wt % > 2 Err. Est.
Laboratorio - Análisis Instrumental

Los resultados del informe de ensayo solo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. El laboratorio no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Cía Minera Agregados Calcáreos S.A.
Av. Universitaria Norte N°5140
Urb. Industrial Infantas - Los Olivos
Lima - Perú

(+511) 202-6363
(+511) 202-6364

www.comacsa.com.pe

Anexo E. Próctor modificado

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PRUEBA DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO
Norma: NTP 339.141 1999

Orden de servicio	: 21401	**Fecha de recepción**	: 17/04/2018
Informe Nº	: 190563	**Fecha de ensayo**	: 15/05/2018
Clasificación AASHTO	: A-3 (0)	**Fecha de emisión**	: 01/03/2019

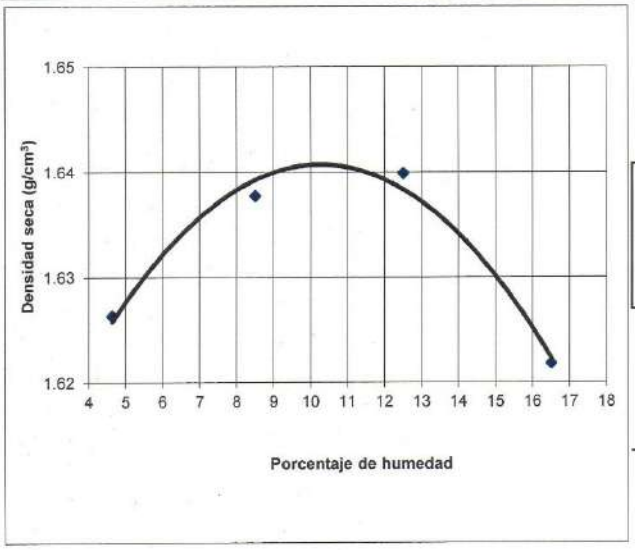
EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Tesis	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: Arena de duna (UDEP)

CONDICIONES DEL ENSAYO:

Procedimiento utilizado:	A	**Método de preparación:**	Húmedo
Molde Nº:	A1	**Volumen del molde (cm^3):**	942.6
Peso del molde (g):	4461	**Altura de caída (pulg.):**	18
Nº de capas:	5	**Nº de golpes por capa:**	25
Peso del martillo (lb) :	10		

Punto Nº	I	II	III	IV	V
Peso de molde + suelo húmedo (g)	6065	6136	6200	6242	
Cápsula para humedad Nº	1	2	3	4	
Peso de cápsula (g)	189.1	181.4	165.6	130.8	
Peso de cápsula + suelo húmedo (g)	676.9	856.3	879.2	908.7	
Peso de cápsula + suelo seco (g)	655.3	803.4	799.9	798.5	
Porcentaje de humedad	4.63	8.50	12.50	16.50	
Densidad seca (g/cm^3)	1.63	1.64	1.64	1.62	



Máxima densidad seca (g/cm^3)	1.64
Humedad óptima (%)	10.5

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46913
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. LABORATORIO DE MATERIALES DE CONST.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PRUEBA DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO
Norma: NTP 339.141 1999

Orden de servicio	: 21401	**Fecha de recepción**	: 17/04/2018
Informe Nº	: 190456	**Fecha de ensayo**	: 30/04/2018
Clasificación AASHTO	: A-3 (0)	**Fecha de emisión**	: 01/03/2019

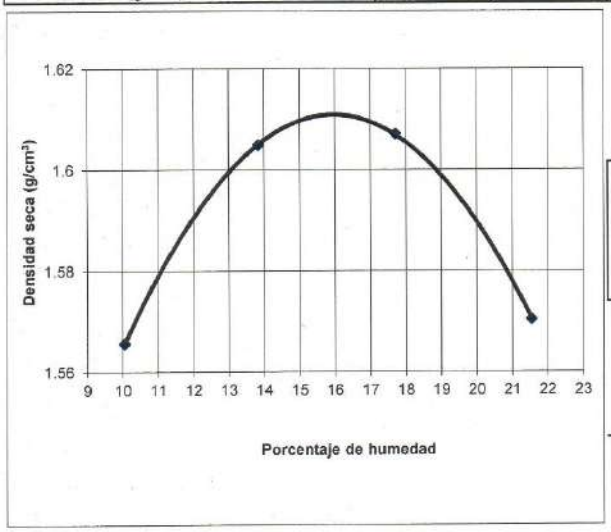
EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Tesis	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: 91% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+5% ceniza de cáscara de arroz

CONDICIONES DEL ENSAYO:

Procedimiento utilizado:	A	**Método de preparación:**	Húmedo
Molde Nº:	A1	**Volumen del molde (cm^3):**	942.6
Peso del molde (g):	4461	**Altura de caída (pulg.):**	18
Nº de capas:	5	**Nº de golpes por capa:**	25
Peso del martillo (lb) :	10		

Punto Nº	I	II	III	IV	V
Peso de molde + suelo húmedo (g)	6085	6183	6244	6260	
Cápsula para humedad Nº	1	2	3	4	
Peso de cápsula (g)	161.3	166.2	165.6	127.6	
Peso de cápsula + suelo húmedo (g)	810.9	810.6	840.4	838.6	
Peso de cápsula + suelo seco (g)	751.6	732.3	738.9	712.6	
Porcentaje de humedad	10.05	13.83	17.70	21.54	
Densidad seca (g/cm^3)	1.57	1.60	1.61	1.57	



Máxima densidad seca (g/cm^3)	1.61
Humedad óptima (%)	16.0

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PRUEBA DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO
Norma: NTP 339.141 1999

Orden de servicio	: 21401	**Fecha de recepción**	: 17/04/2018
Informe Nº	: 190552	**Fecha de ensayo**	: 15/05/2018
Clasificación AASHTO	: A-3 (0)	**Fecha de emisión**	: 01/03/2019

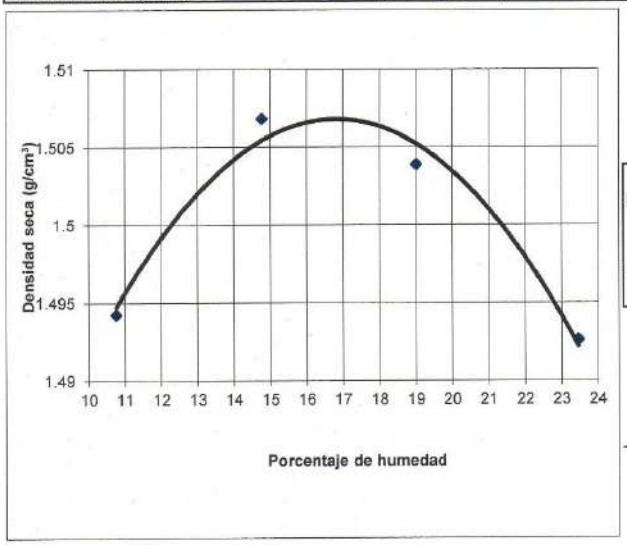
EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Tesis	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: 86% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+10% ceniza de cáscara de arroz

CONDICIONES DEL ENSAYO:

Procedimiento utilizado:	A	**Método de preparación:**	Húmedo
Molde Nº:	A1	**Volumen del molde (cm^3):**	942.6
Peso del molde (g):	4461	**Altura de caída (pulg.):**	18
Nº de capas:	5	**Nº de golpes por capa:**	25
Peso del martillo (lb) :	10		

Punto Nº	I	II	III	IV	V
Peso de molde + suelo húmedo (g)	6021	6091	6148	6198	
Cápsula para humedad Nº	1	2	3	4	
Peso de cápsula (g)	166.2	166.8	166.8	169.9	
Peso de cápsula + suelo húmedo (g)	694.3	707.9	816.1	851.9	
Peso de cápsula + suelo seco (g)	643	638.3	712.4	722.3	
Porcentaje de humedad	10.76	14.76	19.01	23.46	
Densidad seca (g/cm^3)	1.49	1.51	1.50	1.49	



Máxima densidad seca (g/cm^3)	1.51
Humedad óptima (%)	17.0

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

PRUEBA DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO
Norma: NTP 339.141 1999

Orden de servicio	: 21401	**Fecha de recepción**	: 17/04/2018
Informe Nº	: 190553	**Fecha de ensayo**	: 15/05/2018
Clasificación AASHTO	: A-3 (0)	**Fecha de emisión**	: 01/03/2019

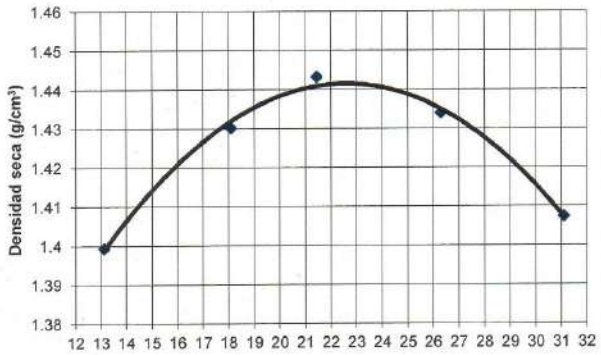
EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Tesis	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: 81% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+15% ceniza de cáscara de arroz

CONDICIONES DEL ENSAYO:

Procedimiento utilizado:	A	**Método de preparación:**	Húmedo
Molde Nº:	A1	**Volumen del molde (cm^3):**	942.6
Peso del molde (g):	4461	**Altura de caída (pulg.):**	18
Nº de capas:	5	**Nº de golpes por capa:**	25
Peso del martillo (lb) :	10		

Punto Nº	I	II	III	IV	V
Peso de molde + suelo húmedo (g)	5953	6053	6113	6168	6200
Cápsula para humedad Nº	2	3	4	4	5
Peso de cápsula (g)	189.8	203.4	170.1	127.6	186.6
Peso de cápsula + suelo húmedo (g)	697.7	756.9	711.6	621.4	624.2
Peso de cápsula + suelo seco (g)	638.8	672.1	616	518.6	520.4
Porcentaje de humedad	13.12	18.09	21.44	26.29	31.10
Densidad seca (g/cm^3)	1.40	1.43	1.44	1.43	1.41



Máxima densidad seca (g/cm^3)	1.44
Humedad óptima (%)	23.0

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA
L.E.M.C.
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

Anexo F. CBR

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190556

Hoja 1 de 2

Clasificación AASTHO : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 21/05/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Tesis	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: Universidad de Piura

Condiciones iniciales del ensayo:

Especimen	# 1	# 2	# 3
Método de preparación y compactación		Húmedo	
Condición al momento de ensayarlos		Remojados 4 días	
% de humedad de compactación	10.5	10.5	10.5
Densidad seca antes de sumergirlos en agua	1.57	1.64	1.67
Compactación en golpes por capa	10	25	56

RESULTADOS

Especimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	–	–	–
C.B.R. corregido a 0.1" de penetración	17	27	39
C.B.R. corregido a 0.2" de penetración	16	23	30
Cantidad de sobrecarga	10 lb	10 lb	10 lb

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

UNIVERSIDAD DE PIURA
L.E.M.C.
ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Gaby Ruiz Pérozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

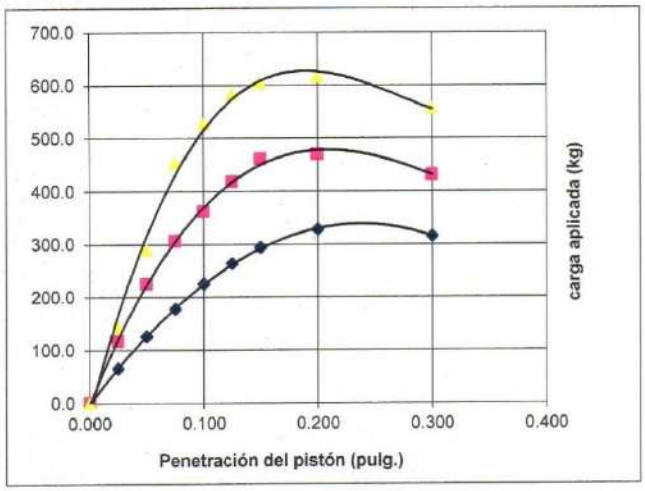
Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190556 Hoja 2 de 2

Clasificación visual : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 21/05/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra : Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación : Piura
Muestreo realizado por : El solicitante
Procedencia : Universidad de Piura

	Espécimen # 1		*Molde #X1-10golp.*		*Espécimen # 2*		*Molde #X2-25golp.*		*Espécimen # 3*		*Molde #X3-56golp*	
	sin corregir		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*	
Penetración	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*
pulgadas	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*
0.000	*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0		
0.025	0.0240	65.4			0.0480	117.1			0.0600	142.9		
0.050	0.0520	125.7			0.0980	224.8			0.1280	289.4		
0.075	0.0760	177.4			0.1360	306.6			0.2040	453.1		
0.100	0.0980	224.8	224.8	17	0.1620	362.6	362.6	27	0.2380	526.3	526.3	39
0.125	0.1160	263.6			0.1880	418.6			0.2640	582.3		
0.150	0.1300	293.7			0.2080	461.7			0.2740	603.9		
0.200	0.1460	328.2	328.2	16	0.2120	470.3	470.3	23	0.2800	616.8	616.8	30
0.300	0.1400	315.3			0.1940	431.6			0.2520	556.5		



Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ----

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190555

Hoja 1 de 2

Clasificación AASTHO : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 04/06/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Tesis	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: Universidad de Piura

Condiciones iniciales del ensayo:

Especimen	# 1	# 2	# 3
Método de preparación y compactación		Húmedo	
Condición al momento de ensayarlos		Sin Remojar	
% de humedad de compactación	10.6	10.6	10.6
Densidad seca antes de sumergirlos en agua	1.57	1.63	1.65
Compactación en golpes por capa	10	25	56

RESULTADOS

Especimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	–	–	–
C.B.R. corregido a 0.1" de penetración	23	34	45
C.B.R. corregido a 0.2" de penetración	17	23	29
Cantidad de sobrecarga	10 lb	10 lb	10 lb

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Gaby Ruiz Petrazzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

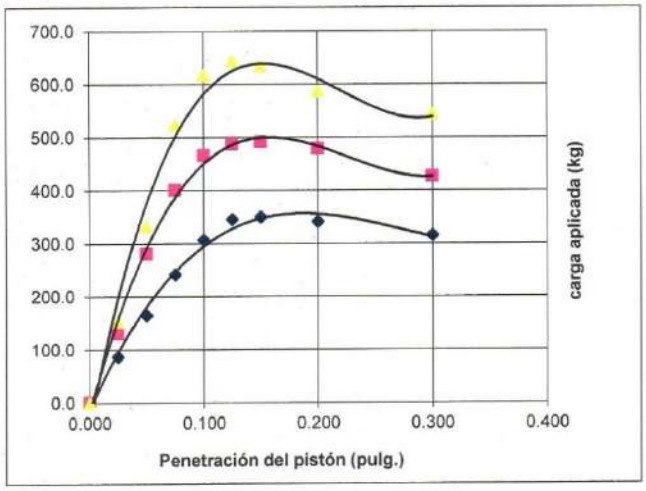
Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190555 Hoja 2 de 2

Clasificación visual : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 04/06/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra : Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación : Piura
Muestreo realizado por : El solicitante
Procedencia : Universidad de Piura

	Espécimen # 1		*Molde #X1-10golp.*		*Espécimen # 2*		*Molde #X2-25golp.*		*Espécimen # 3*		*Molde #X3-56golp*	
	sin corregir		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*	
Penetración	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*
pulgadas	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*
0.000	*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0		
0.025	0.0340	86.9			0.0540	130.0			0.0640	151.6		
0.050	0.0700	164.5			0.1240	280.8			0.1480	332.5		
0.075	0.1060	242.0			0.1800	401.4			0.2360	522.0		
0.100	0.1360	306.6	306.6	23	0.2100	466.0	466	34	0.2800	616.8	616.8	45
0.125	0.1540	345.4			0.2200	487.6			0.2920	642.6		
0.150	0.1560	349.7			0.2220	491.9			0.2880	634.0		
0.200	0.1520	341.1	341.1	17	0.2160	478.9	478.9	23	0.2660	586.6	586.6	29
0.300	0.1400	315.3			0.1920	427.3			0.2460	543.6		



Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. LABORATORIO DE MATERIALES DE CONST.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ----

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190459

Hoja 1 de 2

Clasificación AASTHO : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 07/05/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: 91% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+5% ceniza

Condiciones iniciales del ensayo:

Especimen	# 1	# 2	# 3
Método de preparación y compactación		Húmedo	
Condición al momento de ensayarlos		Remojados 4 días	
% de humedad de compactación	15.6	15.6	15.6
Densidad seca antes de sumergirlos en agua	1.46	1.51	1.62
Compactación en golpes por capa	10	25	56

RESULTADOS

Especimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	–	–	–
C.B.R. corregido a 0.1" de penetración	65	90	148
C.B.R. corregido a 0.2" de penetración	64	88	156
Cantidad de sobrecarga	10 lb	10 lb	10 lb

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. LABORATORIOS DE MATERIALES DE CONST.

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190459

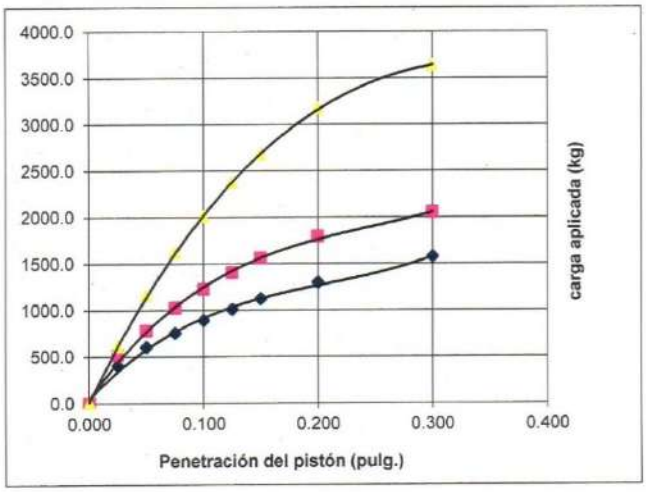
Hoja 2 de 2

Clasificación visual : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 07/05/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra : Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación : Piura
Muestreo realizado por : El solicitante
Procedencia : 91% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+5% ceniza

	Espécimen # 1		*Molde #X1-10golp.*		*Espécimen # 2*		*Molde #X2-25golp.*		*Espécimen # 3*		*Molde #X3-56golp*	
	sin corregir		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*	
Penetración	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*
pulgadas	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*
0.000	*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0		
0.025	0.1800	401.4			0.2320	513.4			0.2760	608.2		
0.050	0.2740	603.9			0.3540	776.2			0.5300	1155.3		
0.075	0.3440	754.6			0.4680	1021.7			0.7440	1616.2		
0.100	0.4060	888.2	888.2	65	0.5620	1224.2	1224.2	90	0.9260	2008.2	2008.2	148
0.125	0.4620	1008.8			0.6460	1405.1			1.0940	2370.1		
0.150	0.5140	1120.8			0.7180	1560.2			1.2360	2675.9		
0.200	0.5960	1297.4	1297.4	64	0.8240	1788.5	1788.5	88	1.4680	3175.6	3175.6	156
0.300	0.7240	1573.1			0.9460	2051.3			1.6840	3640.8		



Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46918
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ----

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190458

Hoja 1 de 2

Clasificación AASTHO : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 18/06/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: 91% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+5% ceniza

Condiciones iniciales del ensayo:

Especimen	# 1	# 2	# 3
Método de preparación y compactación		Humedo	
Condición al momento de ensayarlos		Sin Remojar	
% de humedad de compactación	15.7	15.7	15.7
Densidad seca antes de sumergirlos en agua	1.49	1.53	1.64
Compactación en golpes por capa	10	25	56

RESULTADOS

Especimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	–	–	–
C.B.R. corregido a 0.1" de penetración	79	121	213
C.B.R. corregido a 0.2" de penetración	77	124	221
Cantidad de sobrecarga	10 lb	10 lb	10 lb

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : —

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA
L.E.M.C.
ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190458

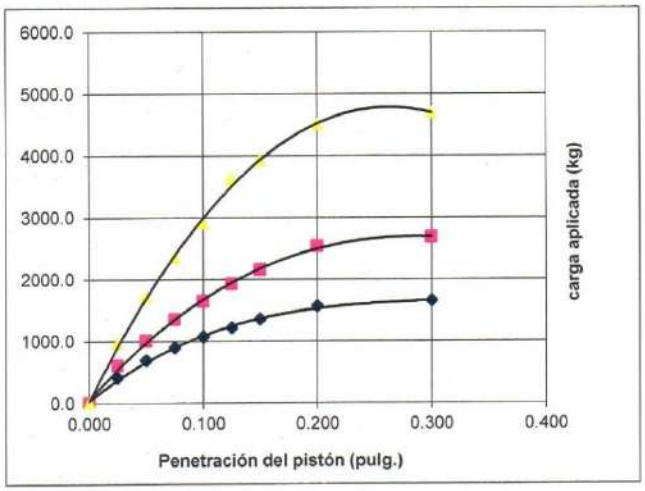
Hoja 2 de 2

Clasificación visual : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 18/06/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra : Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación : Piura
Muestreo realizado por : El solicitante
Procedencia : 91% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+5% ceniza

	Espécimen # 1		*Molde #X1-10golp.*		*Espécimen # 2*		*Molde #X2-25golp.*		*Espécimen # 3*		*Molde #X3-56golp*	
	sin corregir		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*	
Penetración	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*
pulgadas	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*
0.000	*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0		
0.025	0.1860	414.3			0.2740	603.9			0.4400	961.4		
0.050	0.3160	694.3			0.4600	1004.5			0.7880	1711.0		
0.075	0.4100	896.8			0.6200	1349.1			1.0860	2352.8		
0.100	0.4900	1069.1	1069.1	79	0.7580	1646.4	1646.4	121	1.3420	2904.2	2904.2	213
0.125	0.5580	1215.6			0.8880	1926.4			1.6760	3623.6		
0.150	0.6220	1353.4			0.9960	2159.0			1.8160	3925.2		
0.200	0.7200	1564.5	1564.5	77	1.1720	2538.1	2538.1	124	2.0860	4506.7	4506.7	221
0.300	0.7600	1650.7			1.2400	2684.5			2.1740	4696.2		



Gaby Ruiz Petrozza
Ingeniero Civil
CIP 46918
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA
L.E.M.C.
LAB. ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ----

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190460

Hoja 1 de 2

Clasificación AASTHO : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 18/06/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: 86% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+10% ceniza

Condiciones iniciales del ensayo:

Especimen	# 1	# 2	# 3
Método de preparación y compactación		Húmedo	
Condición al momento de ensayarlos		Remojados 4 días	
% de humedad de compactación	16.9	16.9	16.9
Densidad seca antes de sumergirlos en agua	1.33	1.43	1.56
Compactación en golpes por capa	10	25	56

RESULTADOS

Especimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	–	–	–
C.B.R. corregido a 0.1" de penetración	44	69	120
C.B.R. corregido a 0.2" de penetración	39	64	121
Cantidad de sobrecarga	10 lb	10 lb	10 lb

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

UNIVERSIDAD DE PIURA
L.E.M.C.
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONST.

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190460

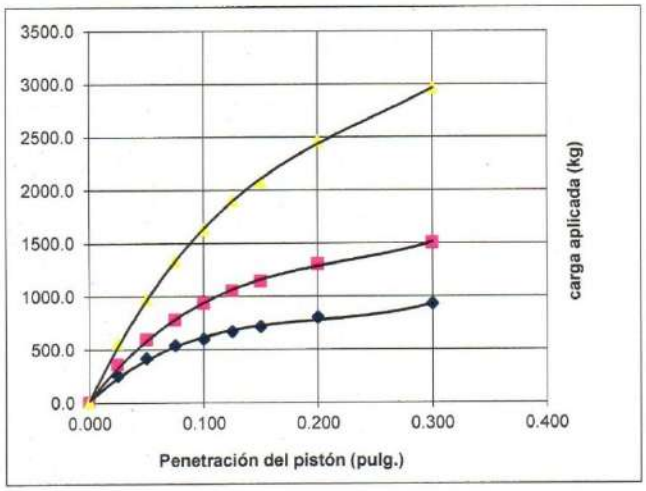
Hoja 2 de 2

Clasificación AASTHO : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 18/06/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra : Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación : Piura
Muestreo realizado por : El solicitante
Procedencia : 86% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+10% ceniza

	Espécimen # 1		*Molde #X1-10golp.*		*Espécimen # 2*		*Molde #X2-25golp.*		*Espécimen # 3*		*Molde #X3-56golp*	
	sin corregir		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*	
Penetración	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*
pulgadas	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*
0.000	*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0		
0.025	0.1120	254.9			0.1600	358.3			0.2520	556.5		
0.050	0.1880	418.6			0.2700	595.3			0.4460	974.3		
0.075	0.2440	539.3			0.3560	780.5			0.6120	1331.9		
0.100	0.2720	599.6	599.6	44	0.4280	935.6	935.6	69	0.7500	1629.1	1629.1	120
0.125	0.3040	668.5			0.4840	1056.2			0.8760	1900.5		
0.150	0.3260	715.9			0.5260	1146.7			0.9560	2072.8		
0.200	0.3660	802.0	802	39	0.6000	1306.0	1306	64	1.1360	2460.5	2460.5	121
0.300	0.4260	931.3			0.6940	1508.5			1.3680	2960.2		



Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46918
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ----

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

Orden de servicio N° : 21401
Informe N° : 190461

Hoja 1 de 2

Clasificación AASTHO : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 14/05/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: 86% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+10% ceniza

Condiciones iniciales del ensayo:

Especimen	# 1	# 2	# 3
Método de preparación y compactación		Húmedo	
Condición al momento de ensayarlos		Remojados 4 días	
% de humedad de compactación	17.0	17.0	17.0
Densidad seca antes de sumergirlos en agua	1.31	1.44	1.54
Compactación en golpes por capa	10	25	56

RESULTADOS

Especimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	–	–	–
C.B.R. corregido a 0.1" de penetración	46	78	133
C.B.R. corregido a 0.2" de penetración	44	73	132
Cantidad de sobrecarga	10 lb	10 lb	10 lb

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA
L.E.M.C.
ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

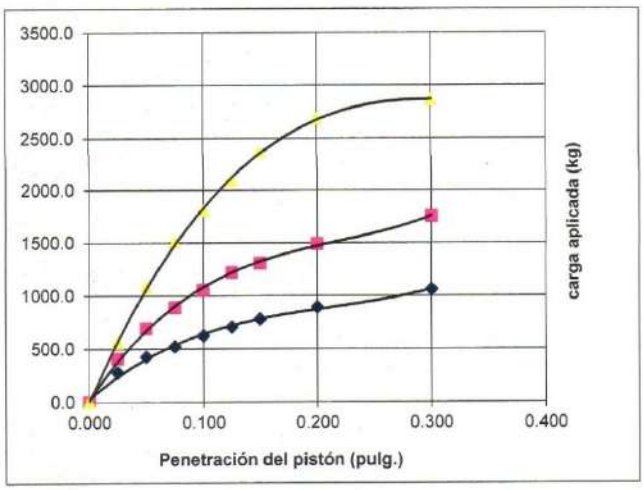
Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190461 Hoja 2 de 2

Clasificación visual : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 14/05/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra : Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación : Piura
Muestreo realizado por : El solicitante
Procedencia : 86% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+10% ceniza

	Espécimen # 1		*Molde #X1-10golp.*		*Espécimen # 2*		*Molde #X2-25golp.*		*Espécimen # 3*		*Molde #X3-56golp*	
	sin corregir		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*	
Penetración	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*
pulgadas	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*
0.000	*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0		
0.025	0.1240	280.8			0.1840	410.0			0.2520	556.5		
0.050	0.1920	427.3			0.3160	694.3			0.4960	1082.0		
0.075	0.2360	522.0			0.4080	892.5			0.6940	1508.5		
0.100	0.2840	625.4	625.4	46	0.4840	1056.2	1056.2	78	0.8320	1805.7	1805.7	133
0.125	0.3220	707.3			0.5620	1224.2			0.9640	2090.1		
0.150	0.3560	780.5			0.6020	1310.3			1.0920	2365.7		
0.200	0.4080	892.5	892.5	44	0.6860	1491.3	1491.3	73	1.2400	2684.5	2684.5	132
0.300	0.4860	1060.5			0.8080	1754.0			1.3240	2865.4		



Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46918
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA
LEMC
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONST.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ----

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190462

Hoja 1 de 2

Clasificación AASTHO : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 18/06/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: 81% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+15% ceniza

Condiciones iniciales del ensayo:

Especimen	# 1	# 2	# 3
Método de preparación y compactación		Húmedo	
Condición al momento de ensayarlos		Remojado 4 días	
% de humedad de compactación	22.6	22.6	22.6
Densidad seca antes de sumergirlos en agua	1.20	1.34	1.43
Compactación en golpes por capa	10	25	56

RESULTADOS

Especimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	–	–	–
C.B.R. corregido a 0.1" de penetración	27	49	62
C.B.R. corregido a 0.2" de penetración	24	43	59
Cantidad de sobrecarga	10 lb	10 lb	10 lb

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

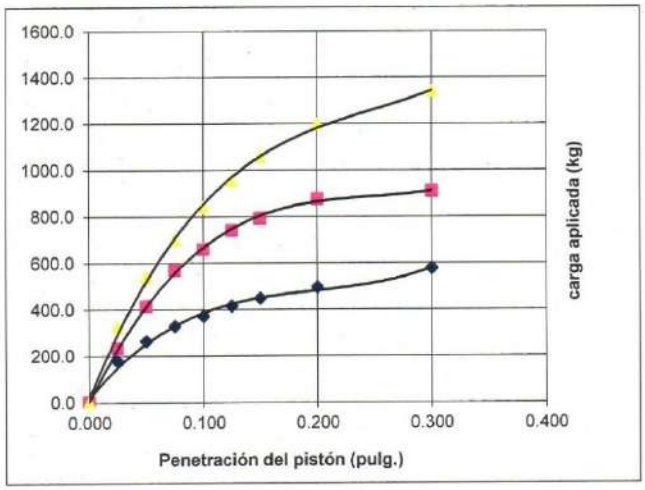
Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190462 Hoja 2 de 2

Clasificación visual : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 18/06/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra : Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación : Piura
Muestreo realizado por : El solicitante
Procedencia : 81% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+15% ceniza

	Espécimen # 1		*Molde #X1-10golp.*		*Espécimen # 2*		*Molde #X2-25golp.*		*Espécimen # 3*		*Molde #X3-56golp*	
	sin corregir		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*	
Penetración	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*
pulgadas	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*
0.000	*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0		
0.025	0.0760	177.4			0.1020	233.4			0.1440	323.9		
0.050	0.1160	263.6			0.1860	414.3			0.2440	539.3		
0.075	0.1460	328.2			0.2580	569.4			0.3180	698.6		
0.100	0.1660	371.3	371.3	27	0.3000	659.9	659.9	49	0.3840	840.8	840.8	62
0.125	0.1860	414.3			0.3380	741.7			0.4360	952.8		
0.150	0.2020	448.8			0.3620	793.4			0.4840	1056.2		
0.200	0.2240	496.2	496.2	24	0.4000	875.3	875.3	43	0.5500	1198.3	1198.3	59
0.300	0.2620	578.0			0.4160	909.7			0.6160	1340.5		



Gaby Ruiz Patrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46918
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA
LEMC
ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ----

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

Orden de servicio Nº : 21401
Informe Nº : 190463

Hoja 1 de 2

Clasificación AASTHO : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 21/05/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante	: WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra	: Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación	: Piura
Muestreo realizado por	: El solicitante
Procedencia	: 81% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+15% ceniza

Condiciones iniciales del ensayo:

Especimen	# 1	# 2	# 3
Método de preparación y compactación		Húmedo	
Condición al momento de ensayarlos		Sin Remojar	
% de humedad de compactación	22.4	22.4	22.4
Densidad seca antes de sumergirlos en agua	1.16	1.29	1.44
Compactación en golpes por capa	10	25	56

RESULTADOS

Especimen	# 1	# 2	# 3
% de expansión con respecto a su altura inicial	–	–	–
C.B.R. corregido a 0.1" de penetración	30	54	69
C.B.R. corregido a 0.2" de penetración	24	44	62
Cantidad de sobrecarga	10 lb	10 lb	10 lb

Observaciones:

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ---

UNIVERSIDAD DE PIURA L.E.M.C. ENSAYOS DE MATERIALES DE CONST.
Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46912
Responsable

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.

UNIVERSIDAD DE PIURA
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA RAZÓN SOPORTE DE CALIFORNIA DE SUELOS COMPACTADOS EN LABORATORIO
Norma: NTP 339.145 1999

Orden de servicio N° : 21401
Informe N° : 190463

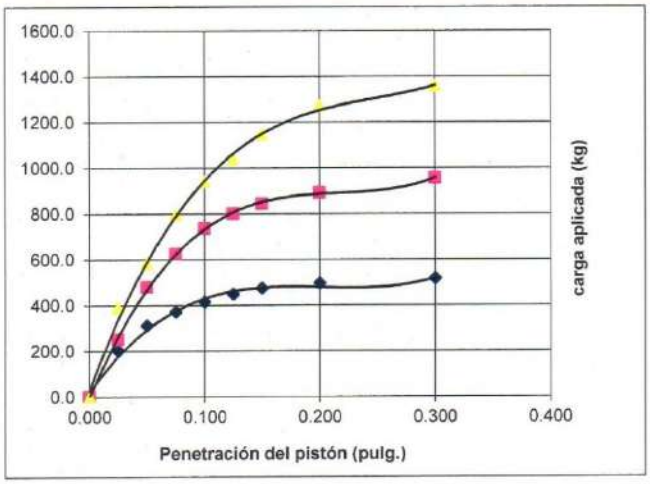
Hoja 2 de 2

Clasificación visual : A-3 (0)
Fecha de ensayo : 21/05/2018
Fecha de emisión : 01/03/2019

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : WUELMER ANTENOR MORY ESPINOZA
Obra : Efecto de las cenizas de cascarilla de arroz como estabilizador de suelos arenosos
Ubicación : Piura
Muestreo realizado por : El solicitante
Procedencia : 81% de arena de duna (UDEP)+4% de cemento tipo V+15% ceniza

	Espécimen # 1		*Molde #X1-10golp.*		*Espécimen # 2*		*Molde #X2-25golp.*		*Espécimen # 3*		*Molde #X3-56golp*	
	sin corregir		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*		*sin corregir*		*corregido*	
Penetración	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*	*lect.dial*	*carga*	*carga*	*C.B.R.*
pulgadas	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*	*mm.*	*kg*	*kg*	*%*
0.000	*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0			*0.0000*	0.0		
0.025	0.0880	203.3			0.1100	250.6			0.1740	388.5		
0.050	0.1380	310.9			0.2160	478.9			0.2640	582.3		
0.075	0.1660	371.3			0.2840	625.4			0.3620	793.4		
0.100	0.1860	414.3	414.3	30	0.3360	737.4	737.4	54	0.4300	939.9	939.9	69
0.125	0.2020	448.8			0.3660	802.0			0.4760	1039.0		
0.150	0.2140	474.6			0.3860	845.1			0.5260	1146.7		
0.200	0.2240	496.2	496.2	24	0.4080	892.5	892.5	44	0.5840	1271.6	1271.6	62
0.300	0.2340	517.7			0.4380	957.1			0.6240	1357.7		



Gaby Ruiz Petrozzi
Ingeniero Civil
CIP 46970
Responsable

UNIVERSIDAD DE PIURA
L.E.M.C.
LABORATORIOS DE MATERIALES DE CONST.

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.
Presenció el ensayo : ----

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo, según los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes dejan constancia que la responsabilidad del LEMC-UDEP, se restringe exclusivamente al procedimiento de ejecución y al resultado del reporte de ensayo. El LEMC-UDEP está exento de toda responsabilidad que derive de la interpretación y uso posterior de la información contenida en este reporte por parte del cliente o de terceros.