



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Efecto de la incorporación de las cenizas de caña de  
azúcar en subrasantes areno-limosas**

Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Civil

**Mercedes Lucía Neyra León**

**Asesor:**  
**Mgtr. Ing. Gaby Ruíz Petrozzi**

**Piura, marzo 2020**



*Agradezco a Dios por ser mi motor y mi fortaleza.*

*A mis padres, Marco y Mercedes, por el amor, el apoyo constante y por la confianza depositada en mí.*

*En memoria, de mi tía Luz y de Lidia, porque me enseñaron a nunca rendirme y a que todo es posible con perseverancia.*

*A mi esposo, por el amor, la confianza y su ayuda incondicional durante todo este tiempo.*



## **Resumen Analítico-Informativo**

### **Efecto de la incorporación de las cenizas de caña de azúcar en subrasantes areno-limosas**

**Mercedes Lucía Neyra León**

**Asesor(es):** Mgtr. Ing. Gaby Ruiz Petrozzi

**Tesis.**

**Título de Ingeniera Civil**

**Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.**

**Piura, marzo de 2020**

**Palabras claves:** Arenas limosas/ ceniza caña de azúcar/ subrasante/ Próctor Modificado /CBR.

**Introducción:** La contaminación ambiental que atravesamos exige buscar nuevas propuestas para ayudar a reducir los efectos no deseados del desarrollo. El uso de las cenizas de caña de azúcar incorporadas en subrasantes puede contribuir a reducir la contaminación ambiental. La presente investigación evalúa el efecto de la adición de ceniza de caña de azúcar en las características mecánicas de los suelos areno-limosos para ser empleados en subrasantes.

**Metodología:** La metodología es cuantitativa y de tipo experimental, controlada en el laboratorio. Se realizaron ensayos de caracterización de los materiales, tanto al suelo como a la ceniza. Se usó un suelo granular con poca plasticidad y por su falta de cohesión se utilizó un aglomerante en una dosis pequeña, como complemento para estudiar mejor los efectos de la ceniza. Usando como base el suelo natural, se le adicionó ceniza en tres cantidades. Los parámetros de control fueron la densidad máxima con el Próctor modificado y el de CBR.

**Resultados:** La ceniza evaluada tiene insuficiente contenido de sílice para ser considerada como puzolana, además de su elevado contenido de materia orgánica. La adición de ceniza en un suelo areno-limoso disminuye la máxima densidad seca debido a la menor densidad de sus partículas respecto a las del suelo natural. La adición de cenizas incrementa la cantidad de agua requerida para la compactación, debido a la mayor área superficial de sus partículas.

**Conclusiones:** La ceniza de caña de azúcar desechada de la empresa Caña Brava en la Región Piura, no es conveniente adecuada para ser usada en subrasantes arenosas porque disminuye drásticamente los valores de CBR.

**Fecha de elaboración del resumen:** 15 de enero de 2020

### Analytical-Informative Summary

**Efecto de la incorporación de las cenizas de caña de azúcar en subrasantes arenolimosas**

**Mercedes Lucía Neyra León**

**Asesor(es):** Mgtr. Ing. Gaby Ruiz Petrozzi

**Tesis.**

**Título de Ingeniera Civil**

**Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería.**

**Piura, marzo de 2020**

**Keywords:** Silty sands/ sugarcane ash/ subgrant/ Modified Proctor / CBR.

**Introduction:** The environmental pollution has pushed up to us to create new proposals to help to reducing the undesirable effects of development. The use of sugarcane ashes in subgrades can contribute to this purpose. The present investigation evaluates the effect of the addition of sugarcane ash in the mechanical properties of silty-sandy soils, which, due to their lack of cohesion, require cement to keep their particles together and be able to be used in subgrade.

**Methodology:** Quantitative and experimental methodology, controlled in the laboratory is used. Characterization tests of the materials were carried out, both on the soil and on the ash. A granular soil with little plasticity was used and due to its lack of cohesion, a little dose of cement was used as a complement. Using the natural soil as a control sample, three different addition of ash was evaluated. The control parameters were maximum density with Modified Proctor and CBR tests.

**Results:** The ash evaluated has low silica content to be considered as a pozzolan and a high organic matter content. Used in a subgrade of silty-sandy soils, the addition of ash decreases the maximum dry density of the mixtures due the low density compared to the soil particles.

**Conclusions:** The sugar cane ash discarded from the Caña Brava company in Piura has a very low silica content. Thus, without a milling process, it is not convenient to be used as subgrade, in more than 10 %, because as the CBR values decrease drastically when the use of ash is higher in the mixture despite having used cement as a binder to keep the soil particles together with the ash.

**Summary date:** January 15th, 2020

## **Prefacio**

Cuando se propuso realizar el presente trabajo de investigación se pensó en enfocarla en los suelos predominantes en la ciudad de Piura como subrasante para volúmenes de tránsito bajos y medios, incorporando un material de desecho industrial producido en nuestra ciudad. El propósito era buscar alternativas al uso de productos comerciales usados para mejorar suelos e innovar con materiales desechados que contribuyan al cuidado del medio ambiente.

Uno de los residuos industriales disponibles localmente es la ceniza de caña de azúcar, que es generada por la industria Caña Brava en la provincia de Sullana. Los suelos predominantes en Piura son las arenas limosas. Estos suelos no son problemáticos y tienen buenas propiedades como subrasantes, lo que constituye una gran ventaja para añadir este residuo dentro de la estructura de un pavimento. Si bien la incorporación de este residuo puede que no tiene la capacidad de mejorar las propiedades de un material, al menos su incorporación no debería disminuirlas. De esta forma, se propone el siguiente tema con la finalidad de evaluar el efecto de esta ceniza en los suelos arenosos de Piura con el ánimo de ofrecer una alternativa a la disposición de estos residuos.

No puedo dejar de mencionar a las personas que me apoyaron en la realización de este proyecto. A la Ing. Gaby Patricia Ruiz Petrozzi, por ser mi asesora y quien gracias a sus sabias indicaciones contribuyó a que hiciera realidad esta tesis. Y al técnico Francisco Castro, por la ayuda brindada en la realización de los ensayos en el laboratorio.



## Tabla de contenido

|                                                                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introducción .....</b>                                                                                                           | <b>1</b>  |
| <b>Capítulo 1 Generalidades y fundamentos teóricos .....</b>                                                                        | <b>5</b>  |
| 1.1. Aprovechamiento de las cenizas de biomasa en ingeniería civil .....                                                            | 5         |
| 1.2. Revisión de literatura sobre el uso de la ceniza de caña de azúcar en la<br>modificación de las propiedades de los suelos..... | 6         |
| 1.3. Principios de compactación.....                                                                                                | 10        |
| 1.3.1. Energía de compactación .....                                                                                                | 11        |
| 1.3.2. Contenido de humedad.....                                                                                                    | 11        |
| 1.4. Requisitos para subrasante .....                                                                                               | 11        |
| 1.5. Conveniencia del uso de cemento en suelos granulares.....                                                                      | 12        |
| 1.6. Alcance de la investigación.....                                                                                               | 13        |
| <b>Capítulo 2 Metodología .....</b>                                                                                                 | <b>15</b> |
| 2.1. Ensayos para la caracterización de los materiales.....                                                                         | 15        |
| 2.1.1. Ensayo de fluorescencia de rayos X.....                                                                                      | 15        |
| 2.1.2. Ensayo de granulometría .....                                                                                                | 16        |
| 2.1.3. Límites de Atterberg.....                                                                                                    | 17        |
| 2.2. Ensayos para evaluar el comportamiento mecánico del suelo .....                                                                | 18        |
| 2.2.1. Ensayo Proctor modificado .....                                                                                              | 18        |
| 2.2.2. Ensayo de relación de soporte de California (CBR) .....                                                                      | 20        |
| 2.3. Diseño de las combinaciones del suelo con ceniza.....                                                                          | 21        |
| 2.4. Preparación de las muestras .....                                                                                              | 22        |

|                                                                                                 |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Capítulo 3 Resultados de la caracterización de materiales .....</b>                          | <b>23</b> |
| 3.1. Suelo natural .....                                                                        | 23        |
| 3.2. Ceniza de caña de azúcar .....                                                             | 26        |
| <br><b>Capítulo 4 Evaluación de los efectos de la ceniza de caña de azúcar en el suelo.....</b> | <b>31</b> |
| 4.1. Granulometría de las mezclas de suelo con ceniza.....                                      | 31        |
| 4.2. Relación humedad-densidad de las mezclas .....                                             | 32        |
| 4.3. CBR de las mezclas .....                                                                   | 33        |
| <br><b>Conclusiones .....</b>                                                                   | <b>37</b> |
| <br><b>Recomendaciones .....</b>                                                                | <b>39</b> |
| <br><b>Referencias bibliográficas.....</b>                                                      | <b>41</b> |
| <br><b>Anexos .....</b>                                                                         | <b>47</b> |
| Anexo A. Curvas granulométricas .....                                                           | 49        |
| Anexo B. Ensayo de Fluorescencia de rayos X de la ceniza.....                                   | 54        |
| Anexo C. Ensayo Proctor modificado.....                                                         | 55        |
| Anexo D. Ensayos de relación de soporte de California (CBR) .....                               | 59        |

## Lista de tablas

|          |                                                                                                                                             |    |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. | Composición química de la ceniza usada para la estabilización de suelos, expresada como óxidos (% en peso), en diversas publicaciones ..... | 8  |
| Tabla 2. | Efecto de la adición de ceniza de caña de azúcar en suelos expansivos y lateríticos con cemento, según la literatura. ....                  | 9  |
| Tabla 3. | Efecto de la adición de ceniza de caña de azúcar en la estabilización de suelos expansivos con cal según la literatura .....                | 10 |
| Tabla 4. | Requerimientos de CBR para subrasante, sub-base y base Granular.....                                                                        | 12 |
| Tabla 5. | Requerimientos de cemento para suelo-cemento aplicable a varios tipos de suelo, según ACI (2009).....                                       | 13 |
| Tabla 6. | Proporción de los materiales usados en las mezclas evaluadas .....                                                                          | 21 |
| Tabla 7. | Composición química de la ceniza de caña de azúcar por el método de Fluorescencia de Rayos X (XRF).....                                     | 29 |
| Tabla 8. | Valores de máxima densidad seca y humedad óptima de las mezclas evaluadas .....                                                             | 33 |



## Lista de figuras

|            |                                                                                                                                           |    |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.  | Ensayo granulométrico (a) del suelo (b) de la ceniza. ....                                                                                | 16 |
| Figura 2.  | (a)Cuarteo de la muestra. (b)Técnico midiendo la cantidad de agua a<br>agregar.....                                                       | 19 |
| Figura 3.  | (a) Compactación del suelo (b)Peso del molde con muestra. (c) Peso de<br>la muestra antes de ser secada al horno.....                     | 19 |
| Figura 4.  | Elaboración de probetas para CBR .....                                                                                                    | 20 |
| Figura 5.  | a) Espécimen no sumergido en agua. (b) Espécimen sumergido en agua.<br>(c) Ejecución del ensayo CBR. ....                                 | 21 |
| Figura 6.  | Mezcla del suelo natural con cemento y ceniza, en seco. ....                                                                              | 22 |
| Figura 7.  | Técnico realizando la extracción del suelo. ....                                                                                          | 23 |
| Figura 8.  | Ubicación del lugar de extracción de la muestra de suelo. ....                                                                            | 24 |
| Figura 9.  | Ubicación del lugar de extracción de la muestra de suelo. ....                                                                            | 24 |
| Figura 10. | Trituración de las partículas del suelo que no pasan el tamiz N° 4. ....                                                                  | 25 |
| Figura 11. | Curva granulométrica de la muestra de suelo. ....                                                                                         | 26 |
| Figura 12. | Ubicación de la empresa Caña Brava.....                                                                                                   | 26 |
| Figura 13. | Proceso de calcinación de la ceniza. ....                                                                                                 | 27 |
| Figura 14. | Lugar de disposición final de la ceniza dentro de la empresa Caña Brava ....                                                              | 28 |
| Figura 15. | Tamizado de la ceniza por tamiz N°10.....                                                                                                 | 28 |
| Figura 16. | Visualización de la CCA a través de un estereoscopio. Se observan las<br>partículas alargadas, que evidencian las fibras calcinadas. .... | 29 |
| Figura 17. | Curva granulométrica de la CCA.....                                                                                                       | 30 |
| Figura 18. | Curvas granulométricas de las mezclas de suelo areno-limoso y ceniza<br>de caña de azúcar.....                                            | 31 |

|            |                                                                                                             |    |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 19. | Curvas de compactación del suelo natural, el suelo-cemento y las mezclas con ceniza de caña de azúcar. .... | 32 |
| Figura 20. | Variación de CBR a 0.1'' de penetración de las muestras sumergidas y no sumergidas ensayadas .....          | 33 |



## **Introducción**

La crisis ambiental que actualmente hay en el mundo ha motivado nuevas propuestas para ayudar a reducir los efectos no deseados del desarrollo. En el ámbito de la ingeniería civil se están innovando planteamientos para la inclusión de materiales contaminantes en los materiales de construcción, intentando con ello revertir los efectos negativos de la industria con su aprovechamiento como recursos en las obras civiles. En el ámbito de los pavimentos, esta incorporación de residuos busca, en general, mejorar la capacidad de soporte de los suelos, haciéndolos más eficientes y durables, reduciendo así el uso de materiales de préstamo.

Una de estas innovaciones aborda el uso de cenizas de caña de azúcar para la elaboración de morteros, como estabilizador de suelos, para la elaboración de cemento por el alto contenido de sílice que contiene esta ceniza, entre otros.

En Piura se cultiva la caña de azúcar para la producción de etanol, siendo la corporación Caña Brava la más importante en la región, ubicada en la provincia de Sullana. Está conformada por tres empresas: Agrícola del Chira S.A., que se encarga de la plantación y cosecha de la caña de azúcar; Sucroalcolera del Chira S.A., encargada de la molienda y de la producción industrial del etanol; y Bioenergía del Chira S.A. responsable de la generación de la energía eléctrica a partir del bagazo. La zona agrícola cuenta con 9400 hectáreas de caña donde se procesa diariamente 4300 toneladas de caña para producir 370 mil litros de etanol por día. El bagazo de este proceso se aprovecha como combustible para la etapa de secado de la caña de azúcar, lo cual tiene un impacto positivo en el ambiente al reducir el uso de combustibles fósiles. Sin embargo, la calcinación del bagazo genera entre 208 y 260 toneladas diarias de cenizas que son dispuestos a cielo abierto en zonas de relleno, lo que requiere grandes extensiones de terreno sin uso útil. A pesar de los controles en las zonas de

relleno, sus partículas finas son llevadas por las corrientes de aire hacia las zonas pobladas, atentando contra la calidad del aire. Eventualmente esto podría originar problemas en la salud de las personas al respirar estos residuos. Aunque no hay evidencia de efectos en las personas, si se encontrara alguna aplicación que aproveche el excedente de cenizas con técnicas innovadoras sería una solución al problema ambiental.

En múltiples investigaciones se ha determinado que el contenido de sílice de las cenizas procedentes de la combustión de residuos agrícolas puede tener características puzolánicas. Cordeiro et al. (2008) estudió las cenizas de bagazo producidas en las calderas de una fábrica de alcohol brasileña. Calcinadas a temperaturas que varían entre 700–900°C, en dependencia del contenido de humedad del bagazo, después de ser molidas en un molino vibratorio presentan una buena actividad puzolánica y mejoran la resistencia a la compresión de los morteros. Nuntachai Chusilp et al. (2009) encontró que las cenizas de bagazo de caña de azúcar pueden reemplazar parcialmente el clínker Portland hasta un 30%, siendo la sustitución del 20% la proporción óptima para obtener un concreto con mayor resistencia a la compresión y una menor permeabilidad al agua que el concreto con 100% de cemento Portland.

Sin embargo, en el Perú es muy escasa la investigación en torno a la utilización de cenizas de bagazo de caña de azúcar. Jiménez (2016) estudió la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  añadiéndole diferentes porcentajes de ceniza de bagazo de caña de azúcar como puzolana, obteniendo resistencias mayores a las del concreto convencional, evidenciándose que el rango más adecuado es entre 8% y 10%. Delgado y Mendoza (2018) analizaron el efecto de la ceniza de bagazo de caña de azúcar activada alcalinamente con disoluciones de NaOH 10M sobre la tensión efectiva en suelos susceptibles a licuación, encontrando que el suelo adquiere un comportamiento denso y rígido, de tal manera que reduce el riesgo de licuación. En todos estos casos se intenta aprovechar su capacidad puzolánica, pero requiere una molienda previa.

El aprovechamiento de estas cenizas en subrasantes sin un tratamiento previo de molienda o similar permitiría reducir el impacto ambiental del residuo y ofrecería una alternativa ecológica.

En Piura, el suelo predominante es areno-limoso, por lo que su falta de cohesión requiere incluir un agente aglomerante; en este caso se usó el cemento por ser el de más fácil

acceso. El efecto de la ceniza se midió usando como parámetro de control los parámetros de compactación y el CBR.

Este informe consta de cuatro capítulos. El primero contiene aspectos generales y fundamentos teóricos sobre los mecanismos para modificar el comportamiento de los suelos, y una revisión de literatura sobre el uso de la ceniza de caña de azúcar en suelos. El segundo capítulo describe los ensayos empleados en la caracterización de materiales, así como aquellos para la evaluación del comportamiento mecánico del suelo estabilizado (Próctor y CBR). El capítulo tres presenta, los resultados de la caracterización de los materiales. El último capítulo comprende la evaluación de los efectos de la adición de la ceniza de caña de azúcar al suelo de la subrasante. Finalmente se termina con un apartado de conclusiones y recomendaciones.





## **Capítulo 1**

### **Generalidades y fundamentos teóricos**

#### **1.1. Aprovechamiento de las cenizas de biomasa en ingeniería civil**

Las cenizas de biomasa son materiales livianos producidos con materias primas de origen vegetal, renovables y disponibles localmente. Se pueden considerar recursos inagotables, ya sea en su forma original o cuando son obtenidos de residuos originarios de procesos industriales.

El estudio de biomasa como material cementante ha alcanzado en los últimos años un gran auge. La generación de residuos, tales como la ceniza de caña de azúcar, se ha convertido en un problema ambiental, motivando un especial interés de estudiar su aprovechamiento en la ingeniería civil, minimizando el impacto que genera su producción. Por ejemplo, Tórrez et al. (2014) evalúa la ceniza de bagazo de caña de la industria azucarera nicaragüense como material alternativo al cemento Portland. En ese estudio se determinó que las cenizas de bagazo de caña de azúcar son un material puzolánico con una mejor reactividad frente al  $\text{Ca(OH)}_2$  con 15 % de sustitución.

Chávez (2017) evalúa los efectos de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto del agregado fino en la elaboración del concreto hidráulico, concluyendo que influye positivamente, dado que aumenta en un 21.88% la resistencia a la compresión para una adición del 3.24% respecto del volumen absoluto de agregado fino.

Por otro lado, se sabe que las cenizas pueden tener propiedades puzolánicas al ser calcinadas a ciertas temperaturas (400°C a 800°C) (Martirena et al., 2000). Dependerá de la composición química original del residuo, de las condiciones de calcinación (Cordeiro et al., 2009) y el uso de flujo de aire forzado (Soares et al., 2014).

Vidal et al. (2014) estudiaron tres cenizas procedentes de ingenios azucareros del Valle del Cauca, por medio de composición química, difracción de rayos X y actividad puzolánica. Las cenizas estudiadas contenían sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) amorfas, lo cual favorecía la reactividad con el cemento. Las muestras fueron tratadas térmicamente debido al alto contenido de partículas carbonosas producto de la combustión incompleta y se les determinó la actividad puzolánica, encontrándose índices hasta del 97%. Se concluyó que las cenizas pueden ser adicionadas al cemento para la elaboración de materiales de construcción.

Chusilp et al. (2009) estudiaron el uso de la ceniza de bagazo como un material puzolánico apto para ser utilizado en el concreto. La adición de ceniza mejora la resistencia, la permeabilidad y la evolución del calor. Se obtuvo que el porcentaje óptimo de sustitución de ceniza es de 20%.

## **1.2. Revisión de literatura sobre el uso de la ceniza de caña de azúcar en la modificación de las propiedades de los suelos**

Muchos investigadores han intentado estabilizar suelos químicamente usando materiales cementantes y residuos agrícolas. Tal es el caso de Anupam et al. (2013) quienes compararon la estabilización de suelos arcillosos utilizando diversos desechos agrícolas como cenizas volantes (FA), cenizas de cáscara de arroz (RHA), cenizas de bagazo (BA) y cenizas de paja de arroz (RSA) sin ningún otro tipo de aglomerante para mejorar la capacidad de carga del suelo. Las propiedades que se probaron fueron el límite de contracción, las características de compactación y el CBR. Se observaron mejoras marcadas en los límites de contracción para el suelo mezclado con FA, BA, RHA y RSA, ésta fue más pronunciada para un 30% de mezcla de RHA. Además, llegaron a la conclusión de que los cuatro desechos industriales provocaban un aumento en el contenido óptimo de humedad y una disminución de la densidad seca máxima del suelo estabilizado. Independientemente del período de curado, todas las cenizas produjeron un incremento del CBR, aunque este incremento depende del tipo de ceniza. Las cantidades necesarias de cenizas para lograr este resultado depende de la ceniza: Las cenizas volantes, de cáscara de arroz y las de bagazo de caña se deben añadir hasta un 25% y la ceniza de paja de arroz, hasta un 20%. La ceniza de paja de arroz produjo un mejor valor de CBR en comparación con los otros tres materiales de desechos industriales.

Gandhi (2012) trabajó en la mejora de los suelos expansivos de baja resistencia utilizando cenizas de bagazo de caña de azúcar. En este caso, la ceniza fue usada como un fino no cohesivo no plástico que modificaba tanto su granulometría como los límites de Atterberg. Se verificó que la ceniza absorbía la humedad de los suelos de manera efectiva y les proporcionaba una ganancia de resistencia inicial. Además, se comprobó que mientras el porcentaje de ceniza aumenta, el límite líquido, la plasticidad, el hinchamiento y la contracción disminuyen.

Onyelowe (2012) estudió la estabilización de un suelo laterítico (residual, limo-arcilloso, plástico) utilizando cemento entre un 4% y un 6% junto con cenizas de bagazo de caña hasta un 10% en peso de suelo seco. Aquí la ceniza actuó como puzolana, observándose un aumento del contenido óptimo de humedad y del CBR a medida que se aumentaba el contenido de ceniza.

Por otro lado, Kiran y Kiran (2013) observaron que la mezcla de cenizas de bagazo de la caña de azúcar para un suelo expansivo no originó un aumento significativo en la densidad, pero los valores de CBR y resistencia a la compresión no confinada (UCS) se incrementaron con la adición de un 8% de cenizas de bagazo. Además, comprobaron que los valores de densidad aumentaron de  $15.16 \text{ KN/m}^3$  a  $16.5 \text{ KN/m}^3$  para la adición de 8% de ceniza de bagazo con 8% de cemento, luego los valores de CBR aumentaron de 2.12 a 5.43 para la adición de 4% de ceniza de bagazo con 8% de cemento y valores de UCS se incrementó de  $84.92 \text{ KN/m}^2$  a  $174.91 \text{ KN/m}^2$  para la adición de 8% de ceniza de bagazo con 8% de cemento. Por último, concluyeron que, los resultados de la mezcla de ceniza de bagazo con diferente porcentaje de cal para un suelo expansivo dieron un cambio considerable en los valores de CBR y UCS, pero los valores de densidad disminuyeron con la mayor cantidad de contenido de cal.

Kharade et al. (2014) trabajó con cenizas de bagazo utilizada para estabilizar suelos expansivos en proporciones del 3%, 6%, 9% y 12% en peso del suelo. En esa investigación se verificó que la ceniza se comportaba como un fino no cohesivo que modifica las propiedades del suelo, aumentando su máxima densidad seca y el contenido óptimo de humedad hasta un reemplazo del 6% con ceniza de bagazo y disminuyendo dichas propiedades cuando el reemplazo de bagazo de ceniza es mayor del 6%, esto se lo atribuyen a que la ceniza de bagazo de baja gravedad específica reemplaza el suelo de gravedad específica más alta y es de naturaleza fibrosa. Los resultados de CBR aumentan casi un 40%

hasta con un reemplazo de 6% de bagazo de ceniza y empiezan a disminuir cuando el porcentaje de ceniza aumenta esto se debe a que el óptimo contenido de humedad es responsable de los valores del CBR. A bajos niveles de energía se dispone de menos agua para controlar el proceso de hidratación, lo que conduce a formar enlaces de resistencia y da como resultado menos resistencia. Los resultados de UCS varían de la misma manera y esto se le puede atribuir al efecto del tamaño del grano del suelo y a la gravedad específica de ambos materiales.

En las investigaciones citadas se ha usado con éxito la ceniza de la caña de azúcar en suelos plásticos, evidenciándose una gran efectividad para disminuir su susceptibilidad al agua, aumentar la capacidad de soporte y controlar las deformaciones. Aunque los investigadores no evalúan la actividad puzolánica de la ceniza, en algunos casos se ha verificado su efecto cuando ha estado acompañada de otro cementante estabilizador como la cal hidráulica o el cemento.

Por otro lado, no siempre se reporta la composición química y su composición mineralógica, datos fundamentales para sustentar la reactividad química de la ceniza. Tampoco se reporta si ha sido sometida a tratamiento previo de molienda para reducir el tamaño de partícula e incrementar su reactividad. En la Tabla 1 se presenta la composición química de la ceniza reportada por la literatura en relación con las aplicaciones de estabilización citadas anteriormente.

Tabla 1. Composición química de la ceniza usada para la estabilización de suelos, expresada como óxidos (% en peso), en diversas publicaciones

| Componente                     | Kharade et. al. (2014) | Anupam et. al (2013) | Onyelowe (2012) |
|--------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 64,38                  | 65,27                | 57,65           |
| MgO                            | 0,85                   | 1,27                 | 1,17            |
| CaO                            | 10,26                  | 11,16                | 4,52            |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,56                   | 2,10                 | 3,96            |
| Na <sub>2</sub> O              | 1,05                   | -                    | -               |
| K <sub>2</sub> O               | 3,57                   | -                    | -               |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 11,67                  | 3,11                 | 8,23            |
| H <sub>2</sub> O               | -                      | -                    | 2,41            |
| LOI                            | -                      | 2,11                 | 5,00            |

Fuente: Elaboración propia

En las Tablas 2 y 3 se muestran los resultados de la estabilización de suelos usando ceniza de caña de azúcar, sin y con cal, respectivamente, según la literatura. Si bien los requerimientos de un suelo para ser usado como sub-base en pavimentación van más allá del CBR, éste refleja convenientemente el desempeño del material. Se puede observar que los

valores de CBR obtenidos como resultado de la estabilización dependen mucho más del contenido de cemento o la aplicación de una estabilización con cal que del contenido de ceniza. En algunos casos, es posible distinguir un contenido óptimo de ceniza alrededor del 6 y 8%, mientras que, en otros casos, el CBR tiene una tendencia a seguir incrementándose al añadir la ceniza. En cualquier caso, se requiere siempre un trabajo experimental para determinar la mejor combinación ceniza-cemento para lograr una buena estabilización.

Tabla 2. Efecto de la adición de ceniza de caña de azúcar en suelos expansivos y lateríticos con cemento, según la literatura.

| Referencia               | Tipo de suelo                                                 | % ceniza | % cemento | MDD <sup>a</sup> | OMC <sup>b</sup> | CBR    | UCS <sup>c</sup><br>kN/m <sup>2</sup> |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------|----------|-----------|------------------|------------------|--------|---------------------------------------|
| Kharade et al.<br>(2014) | EXPANSIVO                                                     | 0        | 0         | 1,305            | 30,50            | 12,88% | 138.58                                |
|                          |                                                               | 3        |           | 1,34             | 35,05            | 15,93% | 152.15                                |
|                          |                                                               | 6        |           | 1,38             | 34,50            | 22,04% | 245.65                                |
|                          |                                                               | 9        |           | 1,29             | 28,10            | 17,39% | 220.03                                |
|                          |                                                               | 12       |           | 1,23             | 27,40            | 12,58% | 187.52                                |
| Kiran y Kiran<br>(2013)  | EXPANSIVO                                                     | 0        | 0         | 15,16            | 21,96            | 2,11%  | 84,92                                 |
|                          |                                                               | 4        |           | 14,97            | -                | 2,70%  | 152                                   |
|                          |                                                               | 8        |           | 15,3             | -                | 3,22%  | 162                                   |
|                          |                                                               | 12       |           | 15,12            | -                | 2,82%  | 134                                   |
|                          |                                                               | 4        | 2         | 15,95            | -                | 4,90%  | 143                                   |
|                          |                                                               | 8        |           | 16,38            | -                | 5,10%  | 165                                   |
|                          |                                                               | 12       |           | 14,87            | -                | 4,60%  | 142                                   |
|                          |                                                               | 4        |           | 15,78            | -                | 5,40%  | 160                                   |
|                          |                                                               | 8        | 4         | 14,52            | -                | 5,25%  | 175                                   |
|                          |                                                               | 12       |           | 15,19            | -                | 4,90%  | 142                                   |
|                          |                                                               | 4        |           | 15,41            | -                | 5,20%  | 155                                   |
|                          |                                                               | 8        |           | 15,90            | -                | 5,18%  | 145                                   |
| Anupam et al.<br>(2013)  | ARCILLA                                                       | 0        | 0         | 1,7              | 17               | 2%     | -                                     |
|                          |                                                               | 5        |           | 1,69             | 17,2             | 4,6    | -                                     |
|                          |                                                               | 10       |           | 1,68             | 19               | 6,5    | -                                     |
|                          |                                                               | 15       |           | 1,65             | 20               | 7,2    | -                                     |
|                          |                                                               | 20       |           | 1,6              | 21,5             | 7,5    | -                                     |
|                          |                                                               | 25       |           | 1,52             | 22,5             | 7,6    | -                                     |
|                          |                                                               | 30       |           | 1,5              | 24               | 7,4    | -                                     |
|                          |                                                               | 35       |           | 1,45             | 26,2             | 6,7    | -                                     |
| Onyelowe<br>(2012)       | LATERÍTIC<br>O (residual,<br>limo-<br>arcilloso,<br>plástico) | 0        | 4         | 1,78             | 20,51            | 58,77  | -                                     |
|                          |                                                               | 2        |           | 1,79             | 20,71            | 85,66  | -                                     |
|                          |                                                               | 4        |           | 1,74             | 21,2             | 86,1   | -                                     |
|                          |                                                               | 6        |           | 1,69             | 21,8             | 94,2   | -                                     |
|                          |                                                               | 8        |           | 1,5              | 22,64            | 112,18 | -                                     |
|                          |                                                               | 10       |           | 1,5              | 22,88            | 128,05 | -                                     |
|                          |                                                               | 0        | 6         | 1,88             | 17,9             | 85,3   | -                                     |
|                          |                                                               | 2        |           | 1,96             | 14,02            | 98,6   | -                                     |
|                          |                                                               | 4        |           | 1,98             | 15,96            | 106,7  | -                                     |
|                          |                                                               | 6        |           | 2,1              | 16,01            | 119,02 | -                                     |

| Referencia | Tipo de suelo | % ceniza | % cemento | MDD <sup>a</sup> | OMC <sup>b</sup> | CBR    | UCS <sup>c</sup><br>kN/m <sup>2</sup> |
|------------|---------------|----------|-----------|------------------|------------------|--------|---------------------------------------|
|            |               | 8        |           | 2,3              | 16,22            | 126,75 | -                                     |
|            |               | 10       |           | 2,5              | 16,4             | 137,62 | -                                     |

a Máxima densidad seca

b Humedad óptima

c Compresión no confinada

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Efecto de la adición de ceniza de caña de azúcar en la estabilización de suelos expansivos con cal según la literatura

| Referencia              | Tipo de suelo | % ceniza | % cal | MDD   | OMC | CBR   | UCS<br>kN/m <sup>2</sup> |
|-------------------------|---------------|----------|-------|-------|-----|-------|--------------------------|
| Kiran y Kiran<br>(2013) | EXPANSIVO     | 4        |       | 14.97 | -   | 2,70% | 152                      |
|                         |               | 8        | 0     | 15.3  | -   | 3,22% | 152                      |
|                         |               | 12       |       | 15.12 | -   | 2,82% | 133                      |
|                         |               | 4        |       | 15.39 | -   | 4.4   | 153                      |
|                         |               | 8        | 2     | 15.05 | -   | 4.39  | 140                      |
|                         |               | 12       |       | 14.95 | -   | 3.70  | 142                      |
|                         |               | 4        |       | 14.85 | -   | 4.60  | 137                      |
|                         |               | 8        | 4     | 14.85 | -   | 4.40  | 122                      |
|                         |               | 12       |       | 14.75 | -   | 2.49  | 109                      |
|                         |               | 4        |       | 14.45 | -   | 3.60  | 115                      |
|                         |               | 8        | 6     | 14.50 | -   | 3.80  | 121                      |
|                         |               | 12       |       | 14.85 | -   | 2.60  | 117                      |

Fuente: Elaboración propia

Se puede concluir que independientemente de la cantidad de SiO<sub>2</sub> que posea la ceniza, no se observa una actividad puzolánica alta, lo cual se ve reflejado en los valores bajos de CBR (Tabla 2 y Tabla 3). Esto origina que, al ser agregada al suelo, solo actúe como un modificador de granulometría contribuyendo con partículas finas no plásticas al suelo. Por lo tanto, queda claro que debe ser usado con un aglomerante que ayude a la estabilización.

### 1.3. Principios de compactación

Para obtener resultados correctos en la compactación es necesario determinar en laboratorio la óptima combinación del suelo, el agua, el cemento y la energía de compactación. Los cuatro parámetros son de mucha importancia para garantizar el mínimo costo y un exitoso desempeño del suelo compactado, lo que conlleva también la disminución

del potencial de agrietamiento. Adicionalmente, los procedimientos constructivos y de control de calidad son elementos fundamentales para lograr dichos objetivos (Arce, 2011).

### **1.3.1. Energía de compactación**

La compactación de suelos es un procedimiento por el cual se mejoran algunas propiedades mecánicas de los suelos. Mediante la aplicación de energía mecánica se reducen los vacíos que se encuentran con aire en la masa de suelo para aumentar su peso unitario. De esta forma se logra un aumento en la resistencia, en la rigidez, una mejora en la estabilidad volumétrica y una disminución de la permeabilidad del suelo (Sagüés, 2014). El retardo en la compactación puede hacer completamente ineficiente el tratamiento; dos horas como máximo es lo que se considera aceptable, ya que el remoldeo posterior y las concentraciones de presiones ejercidas destruyen los vínculos formados inicialmente. Una vez endurecido, conforme pasa el tiempo, el proceso de cambio será menor hasta ejercer poca o nula influencia (De La Fuente, 2013).

### **1.3.2. Contenido de humedad**

El agua es necesaria en el suelo para ayudar a obtener la máxima compactación y para la posterior hidratación del cemento. El contenido de humedad está usualmente en el rango de 5% a 13% por peso de muestra seca al horno, pero debe determinarse experimentalmente.

### **1.4. Requisitos para subrasante**

En un pavimento, se tienen diferentes rangos de valores de CBR para subrasantes. Los valores de CBR cercanos a 0% son suelos de calidad pobre, es decir, que no poseen una buena resistencia a esfuerzos cortantes, mientras que los más cercanos a 100% indican que poseen una mejor calidad (Sánchez, 2012).

Para estimar si un suelo puede ser usado como subrasante se contrasta este valor obtenido con los sugeridos en los manuales o especificaciones. En el Perú, el MTC (2013) sugiere unos valores para la categoría de subrasante que se ofrecen en la Tabla 4.

Tabla 4. Requerimientos de CBR para subrasante, sub-base y base Granular

| Nivel del suelo | Uso                     | Requerimiento       |
|-----------------|-------------------------|---------------------|
| Subrasante      | Subrasante inadecuada   | < 3%                |
|                 | Subrasante insuficiente | $\geq 3\%$ a < 6%   |
|                 | Subrasante regular      | $\geq 6\%$ a < 10%  |
|                 | Subrasante buena        | $\geq 10\%$ a < 20% |
|                 | Subrasante muy buena    | $\geq 20\%$ a < 30% |
|                 | Subrasante excelente    | $\geq 30\%$         |

Fuente: Elaboración propia

### 1.5. Conveniencia del uso de cemento en suelos granulares

En teoría, cualquier suelo puede mezclarse con cemento, a excepción de los suelos con bastante contenido tanto de sales que afecten al cemento como de sustancias orgánicas.

En los suelos granulares limpios se desarrollan uniones muy fuertes con la pasta de cemento durante el período de hidratación, llegando a formar una microestructura en forma de un panal de abejas, con "adherencias rígidas" en todos sus granos, con un comportamiento rígido y frágil. Dan un material duro porque es resistente a la penetración, pero frágiles porque son más fáciles de romper debido a su escasa o nula deformación permanente.

En cambio, en suelos con bastantes finos, limosos y arcillosos, todo lo que podrá lograrse con una cantidad normal de cemento es la formación de tales adherencias en una sola parte de los granos y las demás serán de "adherencia plástica" entre las partículas arcillosas del suelo. Con el aumento de finos se tornan en un material menos duro, más fáciles de penetrar, pero más difíciles de romper por ser dúctiles, es decir sufren deformaciones plásticas. (De La Fuente, 2013) Debe considerarse que mientras más finos tenga el suelo, principalmente de tipo arcilloso, mayor cantidad de cemento requerirá y, por tanto, mayor será su costo.

Según el ACI (2009), conociendo la granulometría del suelo se puede saber el porcentaje de cemento adecuado a utilizar (Tabla 5). Se puede observar que en los suelos granulares se sugiere un contenido de cemento del 3% al 9%. Por lo tanto, si no se desea convertir el suelo en suelo-cemento, no debería usarse más de 3% de cemento en la mezcla.

Tabla 5. Requerimientos de cemento para suelo-cemento aplicable a varios tipos de suelo, según ACI (2009)

| AASHTO Clasificación del suelo | 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: ACI (2009)

### 1.6. Alcance de la investigación

Si bien en Piura predominan suelos areno-limosos que no representan mayor reto para su uso, sí ofrecen una mayor posibilidad de alcanzar propiedades competitivas al incorporárseles materiales de desecho industrial.

Por otro lado, se sabe que en Caña Brava los residuos de caña se calcinan a 450 °C, pero de modo no homogéneo y sin flujo de aire. En esas condiciones, sólo una fracción muy pequeña se recupera como ceniza propiamente dicha. Por ello, existen muy pocas posibilidades de tener una ceniza con sílice amorfa y con propiedades puzolánicas. Sin molienda previa, la ceniza actúa como un modificador de granulometría, que adiciona al suelo partículas finas no plásticas. Dependiendo del tipo de suelo, se requiere del uso de un aglomerante que complemente la cohesión entre las partículas.

La presente investigación se orienta a evaluar el efecto de la adición de ceniza de caña de azúcar en las características mecánicas de los suelos areno-limosos estabilizados con cemento para su empleo como subrasante. La evaluación se centra en un análisis cuantitativo de los efectos de la ceniza en la capacidad portante expresada como CBR usado como parámetro de control y en las propiedades de compactación.

Dado que se quiere reducir al mínimo los procesos energéticos asociados a su preparación y procesamiento antes de usarlo, no se espera aplicar ninguna molienda al

material antes de usarlo. Por tanto, el tamaño de las partículas de la ceniza no será suficientemente pequeño para esperar una reacción con el cemento. Por tanto, no se ha incluido el análisis de las especies mineralógicas que se forman como resultado de esta combinación. Esto deberá ser abordado posteriormente en futuras investigaciones.



## **Capítulo 2**

### **Metodología**

La tesis tiene una metodología cuantitativa, de tipo experimental, controlada en el laboratorio. Inicialmente se realizaron ensayos de caracterización de los materiales, tanto al suelo como a la ceniza.

Después de seleccionar un suelo granular con poca plasticidad, como muestra patrón se le adicionó ceniza en tres distintas cantidades y para efectos de cohesión entre sus partículas se le adicionó un 2% de cemento. Los efectos de la adición de ceniza se midieron por comparación con el suelo natural, usando como parámetros de control las propiedades de compactación y el ensayo de CBR (NTP 339.145) para dos condiciones: i) condición saturada durante 4 días, tal como lo indica la norma y ii) condición no saturada solo con fines comparativos.

#### **2.1. Ensayos para la caracterización de los materiales**

Para la caracterización previa de los materiales se realizaron ensayos de fluorescencia de rayos X, granulometría y límites de Atterberg.

##### **2.1.1. Ensayo de fluorescencia de rayos X**

Esta prueba sirve para determinar la composición química de la ceniza. La determinación de los elementos químicos se realiza en base a la norma ASTM E2465-13. El material es bombardeado con radiación fluorescente (rayos X) y se mide su composición química. La cantidad de elementos se reporta en porcentajes en peso y se reportan como óxidos del elemento encontrado en el ensayo, de los cuales, serán más importantes el óxido

de sílice y de aluminio para conocer si es un material puzolánico y si es posible usarlo como un agente estabilizador de suelo.

En esta prueba el valor de las pérdidas por ignición (LOI por sus siglas en inglés) está considerado generalmente como un indicador sencillo para estimar el contenido en materia orgánica y carbonatos de los sedimentos (Dean, 1974; Bengtsson y Enell, 1986).

### 2.1.2. Ensayo de granulometría

El porcentaje de grava influirá en el valor del CBR ya que existe una correlación lineal entre ellos, por lo que cuanto más grava esté presente en la muestra, más se acercará el CBR al 100% (Araujo, 2014).

Los suelos con más contenido de arena tienen un comportamiento más rígido y probablemente más resistencia. Sin embargo, una mayor cantidad de arena significa menor contenido de grava y de finos, lo que origina un menor valor de CBR (Araujo, 2014).

Por otro lado, la cantidad de finos ofrece mayor resistencia y estabilidad al suelo. Estos parámetros se verán reflejados en los límites de Atterberg y éstos a su vez, en el contenido de humedad, relación de vacíos o presión de falla de un suelo que influye en su resistencia al corte y por ende en el CBR (Araujo, 2014).

En la Figura 1 se muestra la realización del ensayo de granulometría del suelo por tamizado y en la Figura 2 el de la ceniza.



Figura 1. Ensayo granulométrico (a) del suelo (b) de la ceniza.  
Fuente: Elaboración propia

### 2.1.3. Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, debido a que el comportamiento de un suelo se ve influenciado por la presencia de agua y esto se acentúa cuanto menor es el tamaño de las partículas que componen dicho suelo.

Según lo establecido en la Norma NTP 339.129 primero se debe seleccionar una cantidad suficiente de suelo a un contenido de humedad natural para obtener 150g a 200 g de material que pase el Tamiz N° 40. Colocar en un recipiente y añadir suficiente agua hasta cubrir el suelo. Dejarlo sumergido hasta que todos los grumos se hayan suavizado y los finos no se adhieran a las superficies de las partículas gruesas. Posteriormente, vaciar la mezcla suelo-agua en el Tamiz N° 10 y enjuagar el material fino. Después de remover tanto material grueso como sea posible dejarlo secar a temperatura ambiente por 16h.

El Límite líquido (LL) corresponde con el contenido de humedad con el cuál el suelo deja de ser líquido y pasa a plástico (Whitlow, 1989). El LL se determina mediante el método de la cuchara de Casagrande siguiendo lo establecido en la NTP 339.129. Este consiste en colocar una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal. Utilizando un acanalador, dividir la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Cuando se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, manteniendo la herramienta perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento. Verificar que no existen restos de suelo por debajo de la copa. Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm. Registrar el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Si la pasta se sigue deslizando en la copa o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se registrará que el límite líquido no pudo determinarse.

El Límite Plástico (LP) corresponde con el contenido de humedad con el cual el suelo deja de ser plástico y se convierte en semiplástico (Whitlow, 1989). Se midió mediante el método descrito por la NTP 339. 129, el cual consiste en seleccionar una porción de 20 g de

suelo del material preparado para el ensayo de límite líquido, reduciendo su contenido de humedad a una consistencia a la cual pueda enrollarse sin que se pegue a las manos esparciéndolo o mezclándolo continuamente sobre la placa de vidrio o en el plato de mezclado. De la masa de 20 g, tomar una porción de 1,5 g a 2,0 g. Formar una masa elipsoidal con el espécimen de ensayo. Enrollar la masa entre la palma o los dedos y la placa de vidrio con la presión necesaria para enrollar la masa en un hilo de diámetro uniforme en toda su longitud. El hilo debe ser deformado en cada movimiento hasta que su diámetro sea de 3,2 mm, en no más de 2 minutos. Luego romper el hilo en varios pedazos. Se reúnen los pedazos en una sola porción y se moldean los pedazos entre los dedos pulgares y demás dedos de ambas manos, en una masa uniforme elipsoidal y se le enrolla nuevamente. Se continúa este enrollado alternado cuantas veces sea necesario, hasta que el suelo se desmenuce o presente signos de fisuras cuando es llevado a hilos de 3,2 mm de diámetro. Reunir las porciones del hilo agrietado y colocarlas en un recipiente de peso conocido. Repetir lo descrito anteriormente hasta que el recipiente tenga no menos de 6 g.

Repetir todo lo descrito y determinar el contenido de humedad de los recipientes.

El Índice de Plasticidad (IP) corresponde con el intervalo de humedad en el estado plástico. Se determina por la diferencia entre LL y LP (Whitlow, 1989).

## **2.2. Ensayos para evaluar el comportamiento mecánico del suelo**

### **2.2.1. Ensayo Proctor modificado**

Este ensayo tiene por finalidad determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de un suelo compactado en un molde normalizado mediante un pistón de masa conocida, en caída libre y con una energía de compactación determinada.

Teniendo como base la norma NTP 339.141, el procedimiento usado fue el tipo A, ya que todas las partículas pasaban el tamiz #4. Antes de realizar el ensayo, el suelo fue separado en 4 depósitos con la misma proporción de material (Figura 2a) y cada uno de ellos fue humedecido con diferentes cantidades de agua que representan distintos contenidos de humedad (Figura 2b). Se empleó un molde de 4 pulgadas, de peso y volumen conocidos, al cual se le colocó 5 capas de material, las cuales son compactadas con 25 golpes cada una con un pistón de 10 lbf que cae a una altura de 18 pulgadas, como se observa en la Figura 3<sup>a</sup>. Posteriormente, se enrasa y se pesa el molde con el suelo compactado (Figura 3b) y una proporción de esa muestra se pesa (Figura 3c) en una cápsula cuyo peso es conocido y se

pone a secar al horno por 24h. Este procedimiento se les realiza a todos los cuarteos de la muestra.

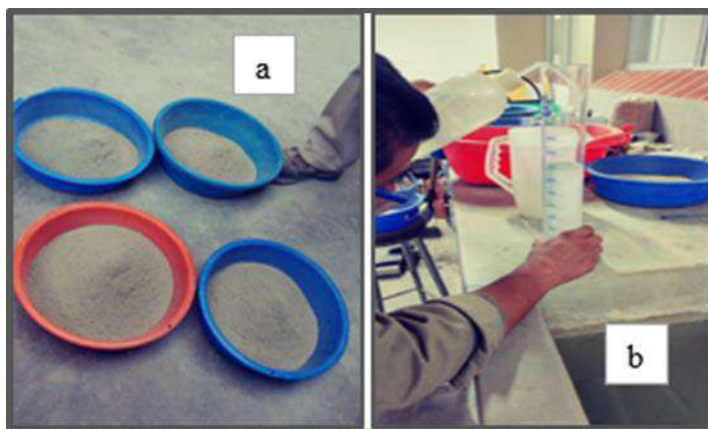


Figura 2. (a)Cuarteo de la muestra. (b)Técnico midiendo la cantidad de agua a agregar.

Fuente. Elaboración propia

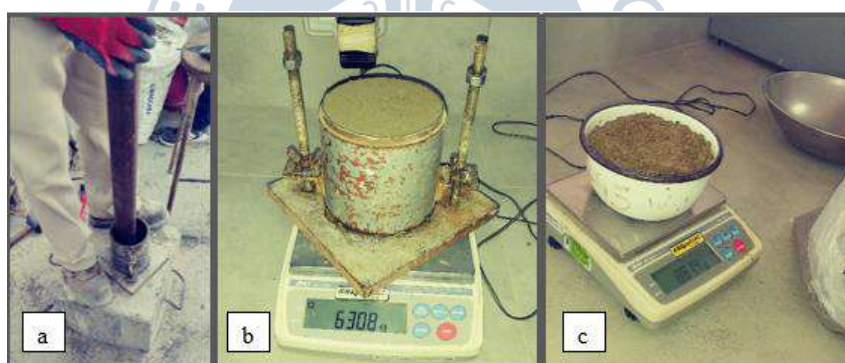


Figura 3. (a) Compactación del suelo (b) Peso del molde con muestra. (c) Peso de la muestra antes de ser secada al horno.

Fuente. Elaboración propia

Transcurridas 24h se saca la muestra del horno y se pesa, con los datos del peso de la cápsula, el peso de la cápsula más el suelo húmedo y el peso de la cápsula más el suelo seco se calcula el porcentaje de humedad de la muestra ensayada.

Con los datos del volumen del molde, el peso del molde, el peso del molde más el suelo húmedo y el porcentaje de humedad, se calcula la densidad seca de la muestra.

La máxima densidad seca y el contenido óptimo de humedad se obtienen repitiendo el ensayo Próctor para varios contenidos de humedad (Whitlow, 1989) y dibujando en un plano cartesiano todos los valores de porcentajes de humedad (eje X) con sus respectivas densidades secas (eje Y), obteniendo una parábola cóncava hacia abajo llamada curva de

compactación. El contenido de humedad óptimo es el que corresponde con la máxima densidad seca en la curva de compactación (Whitlow, 1989), es decir, los valores correspondientes al vértice.

### 2.2.2. Ensayo de relación de soporte de California (CBR)

El California Bearing Ratio o CBR se midió siguiendo la NTP 339.145 y la ASTM D 698-70 sobre muestras remoldeadas, siendo un indicador de la resistencia al corte del suelo bajo condiciones controladas de máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad obtenidos en el ensayo Proctor modificado.

Para el ensayo de CBR para el suelo natural se confeccionaron 6 probetas (Figura 4), compactadas en 5 capas con distintas energías de compactación (dos probetas de 10, dos probetas de 25 y dos probetas de 56 golpes). Luego, solo 3 de estas probetas (una probeta para cada número de golpes) se saturan durante 96 horas para simular las condiciones de trabajo más desfavorables (Figura 5b); mientras las 3 probetas restantes se dejan al aire (Figura 5a) durante el mismo tiempo para luego determinar su posible expansión.

En la práctica se usa el número de CBR obviando el símbolo de porcentaje y se escribe como un número entero. En la Figura 5c se muestra la medida del CBR en la muestra de suelo.



Figura 4. Elaboración de probetas para CBR

Fuente. Elaboración propia

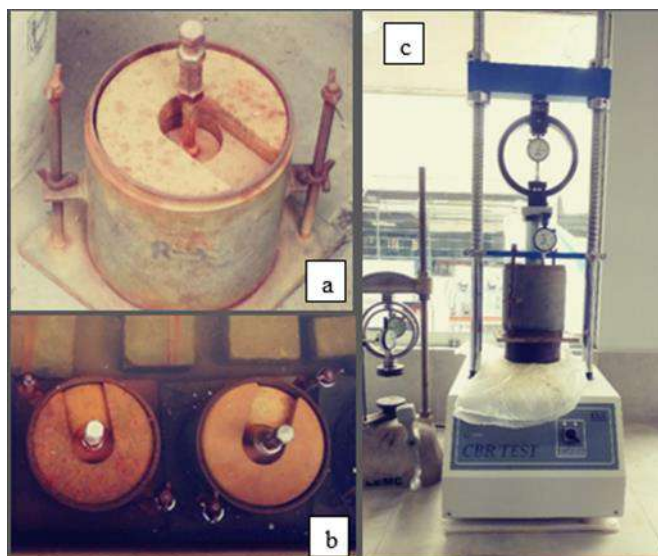


Figura 5. a) Espécimen no sumergido en agua. (b) Espécimen sumergido en agua. (c) Ejecución del ensayo CBR.  
Fuente. Elaboración propia

### 2.3. Diseño de las combinaciones del suelo con ceniza

La adición de cenizas se hizo en tres proporciones en peso total de la mezcla seca, establecidos entre 5% y 15%. Este rango toma en cuenta los valores sugeridos por la literatura (Kharade et al., 2014; Kiran y Kiran, 2013; Anupam et al., 2013; Onyelowe, 2012) para la incorporación de cenizas en suelos con un aglomerante inorgánico como complemento.

Tabla 6. Proporción de los materiales usados en las mezclas evaluadas

| Muestra | Cemento (%) | Ceniza (%) | Suelo (g) | Cemento (g) | Ceniza (g) | Total (g) |
|---------|-------------|------------|-----------|-------------|------------|-----------|
| SN      | 0           | 0          | 5000      | 0           | 0          | 5000      |
| M1      | 2           | 5          | 4650      | 100         | 250        | 5000      |
| M2      | 2           | 10         | 4400      | 100         | 500        | 5000      |
| M3      | 2           | 15         | 4150      | 100         | 750        | 5000      |

Fuente: Elaboración propia

La cantidad de agua usada, tal como se sugiere en la misma norma, se determinó para cada combinación con el ensayo Próctor modificado, pues corresponde a la humedad óptima. Se tomó en cuenta el agua aportada por el contenido de humedad natural de cada material. Esta cantidad de agua corresponde a la necesaria para la lubricación de las partículas durante su compactación. Aunque la presencia del cemento pueda requerir una mayor cantidad de agua para su hidratación, ésta no se añadió en esta etapa sino una vez compactado el suelo.

Se procedió a realizar el mezclado manualmente en una carretilla, combinando primero el suelo con el cemento en seco. Luego se añadió la ceniza, también en seco, mezclando todo hasta lograr una mezcla homogénea (Figura 6). Después se añadió el agua y se volvió a mezclar hasta lograr una unión uniforme.



Figura 6. Mezcla del suelo natural con cemento y ceniza, en seco.  
Fuente: Elaboración propia

#### 2.4. Preparación de las muestras

Para preparar las muestras se mezcló primero el suelo con el cemento y, donde corresponde, las cenizas, en seco. El proceso de mezclado se realizó manualmente. El orden de combinación fue primero el suelo, luego el cemento y finalmente la ceniza. Después de mezclarlo todo hasta lograr una mezcla homogénea, se añadió el agua y se continuó mezclando hasta lograr una mezcla homogénea.

La mezcla de suelo se moldeó como corresponde para generar los especímenes necesarios para evaluar las propiedades de compactación y el CBR.

## Capítulo 3

### Resultados de la caracterización de materiales

#### 3.1. Suelo natural

El suelo natural corresponde al de un estrato superficial (Figura 7) ubicado en las coordenadas latitud:  $5^{\circ}10'21.8''\text{S}$  y longitud:  $80^{\circ}39'54.7''\text{O}$ , en la provincia de Piura, departamento de Piura, tal como se muestra en la Figura 8.



Figura 7. Técnico realizando la extracción del suelo.  
Fuente: Elaboración propia

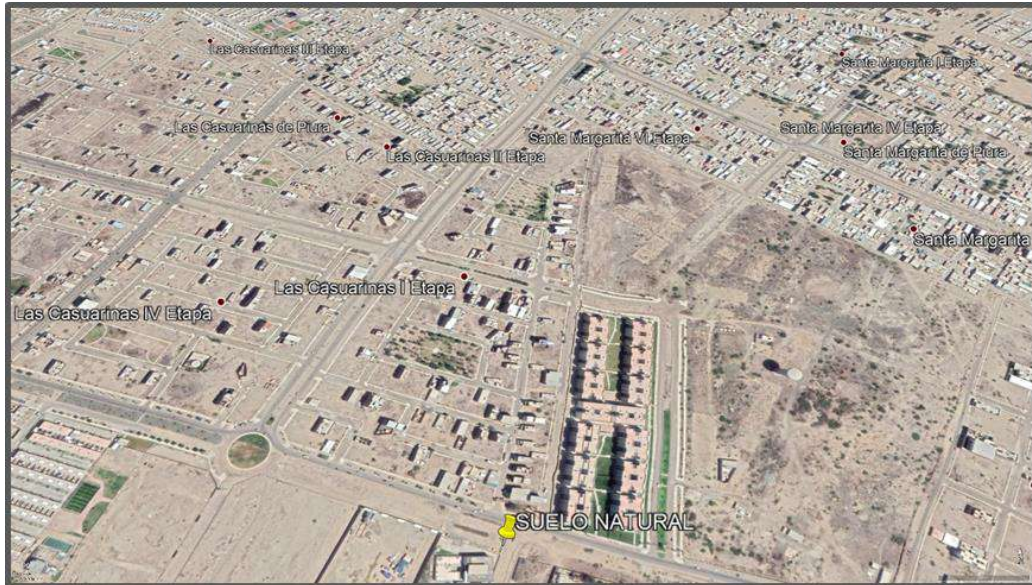


Figura 8. Ubicación del lugar de extracción de la muestra de suelo.  
Fuente: Google Earth

El material se encontraba húmedo, poseía partículas grandes y material vegetal. Fue pasado por el tamiz N°4 (Figura 9), tratando de eliminar la mayor cantidad de materia orgánica y las partículas que no pasaban dicho tamiz se chancaron (Figura 10) lo mejor posible para que pueda ser usada en los ensayos posteriores. Luego, se dejó secar al aire durante 24 horas. Terminado este tiempo de secado, el suelo fue reservado para los posteriores ensayos.



Figura 9. Ubicación del lugar de extracción de la muestra de suelo.  
Fuente: Google Earth



Figura 10. Trituración de las partículas del suelo que no pasan el tamiz N° 4.  
Fuente: Elaboración propia

La curva granulométrica del suelo natural se presenta en la Figura 11 y los datos de sustento, en el Anexo A. Como se puede apreciar, este material tiene una alta composición de finos en su estructura. Contiene un 39% de finos limosos no plásticos, con un 61% de arena fina. El suelo natural se clasifica en el sistema SUCS como una arena limosa SM y en el sistema AASHTO como un suelo limoso A-4 (0).

Comparado con los límites de la gradación B sugeridos por American Society for Testing and Materials (ASTM) para material de sub-base o base en zonas ubicadas a menos de 3000 m de altitud, se puede afirmar que es adecuado para subrasantes (MTC, 2013. Tabla 4.8) por su valor Índice de Grupo (IG) igual a cero. En cualquier caso, es un suelo al que le faltan partículas grandes, pues todas sus partículas pasan la malla No. 4. Sin embargo, es muy conveniente para ser usado como suelo-cemento (Toirac, 2008). Según el American Concrete Institute (2009), este suelo requerirá de 7% a 12% de cemento.

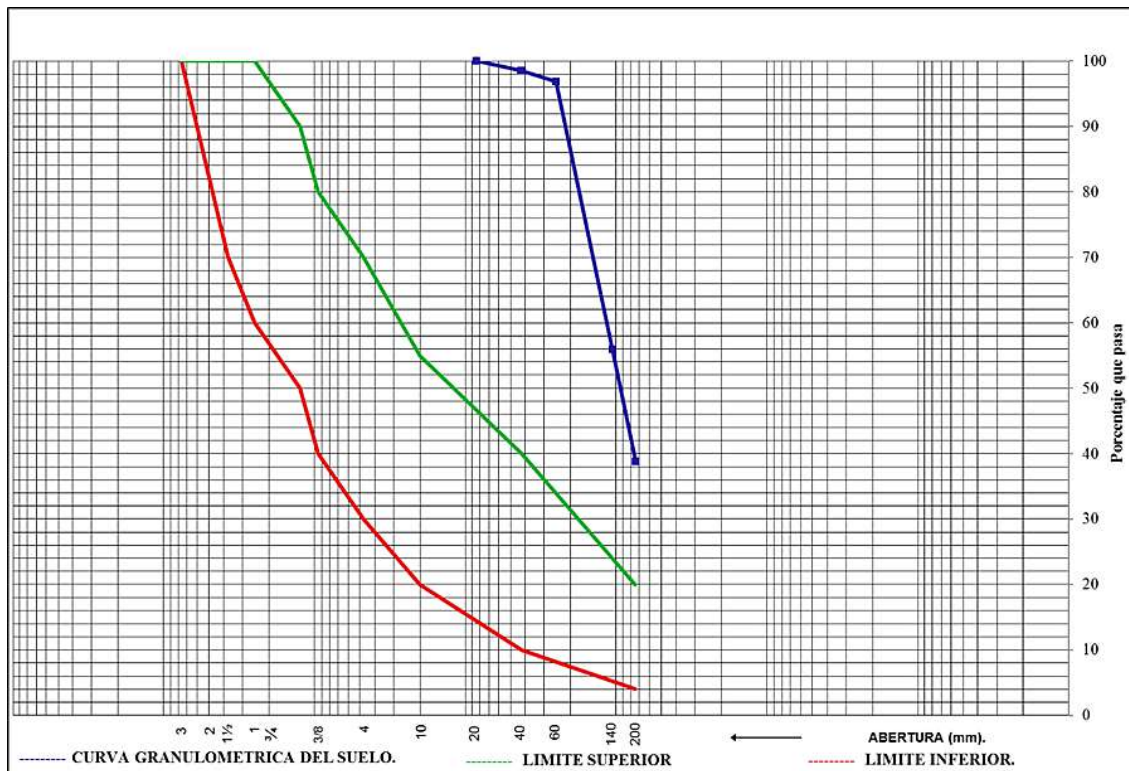


Figura 11. Curva granulométrica de la muestra de suelo.

Fuente: Elaboración propia

### 3.2. Ceniza de caña de azúcar

Se obtuvo de la empresa Caña Brava ubicada en la provincia de Sullana (Figura 12).



Figura 12. Ubicación de la empresa Caña Brava.

Fuente. Google Earth.

En la figura 13 se muestra el proceso de quemado de la caña. Los camiones con la caña llegan a la mesa de recepción de la fábrica donde descarga toda la caña de azúcar traída desde el campo, iniciando la molienda. Avanzando por una faja transportadora hasta el difusor, unas cuchillas y un molino de martillos desfibran los tallos de caña de azúcar. Ya en el difusor, a la caña se le extraen los azúcares a través de la dilución en agua caliente. De este proceso además se obtiene el bagazo de caña que sirve como materia prima para la cogeneración de energía eléctrica y la generación de vapor para los procesos de fábrica.

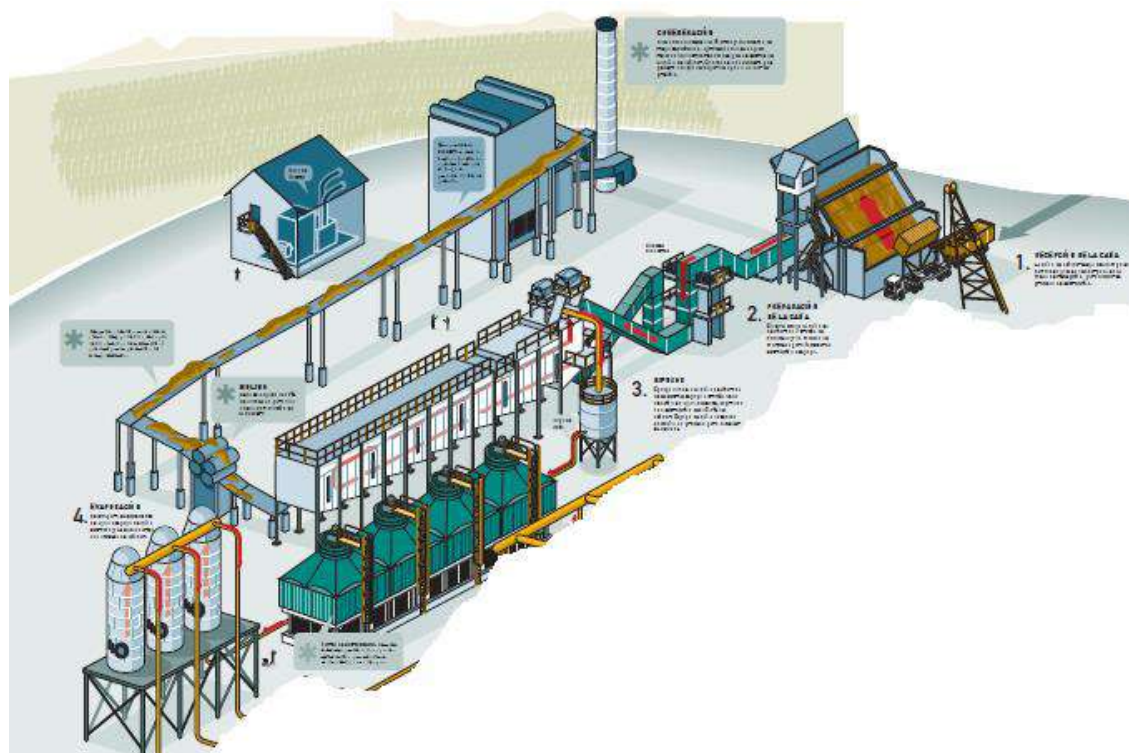


Figura 13. Proceso de calcinación de la caña.  
Fuente. Caña Brava

En la caldera, el bagazo es utilizado como combustible y gracias a ello, los generadores eléctricos producen 12 MW de potencia utilizados en la fábrica y en el sistema de riego tecnificado. Se cuenta además con un lavador de gases en la caldera para retener las cenizas de los gases de combustión, las mismas que son derivadas al mismo contenedor de las cenizas del proceso de quemado. La ceniza se carga en un camión y es vendida a algunas empresas que la usan como fertilizante y lo sobrante se vacía en unos espacios acondicionados para ello dentro de la fábrica (Figura 14).



Figura 14. Lugar de disposición final de la ceniza dentro de la empresa Caña Brava  
Fuente: Elaboración propia

Las cenizas usadas en la presente investigación corresponden aquellas del lugar de disposición final dentro de la empresa. Las cenizas fueron tamizadas por el Tamiz N° 10, tal como se muestra en la Figura 15. Antes se secaron al aire por 24 horas.



Figura 15. Tamizado de la ceniza por tamiz N°10.  
Fuente: Elaboración propia

Su composición química se muestra en la Tabla 7 y en el Anexo B. Las cenizas presentan un bajo contenido de  $\text{SiO}_2$  (22.07%), el 77.93% restante corresponde a diferentes tipos de óxidos, siendo el de mayor porcentaje el contenido de LOI (68.01%). Según Dean (1974) y Bengtsson y Enell (1986) si el contenido de LOI es alto ( $> 10\%$ ), es poco probable una reacción puzolánica. La elevada cantidad de materia orgánica expresada como LOI en la ceniza es consecuencia de la combustión incompleta que tiene la ceniza en el proceso, a pesar de que la temperatura que alcanza bordea los  $450\text{ }^\circ\text{C}$ . Dado que el propósito es generar la energía y no necesariamente calcinar la caña, los residuos no permanecen mucho tiempo en el fuego, saliendo muchas fibras casi completas, tal como se muestra en la Figura 16.

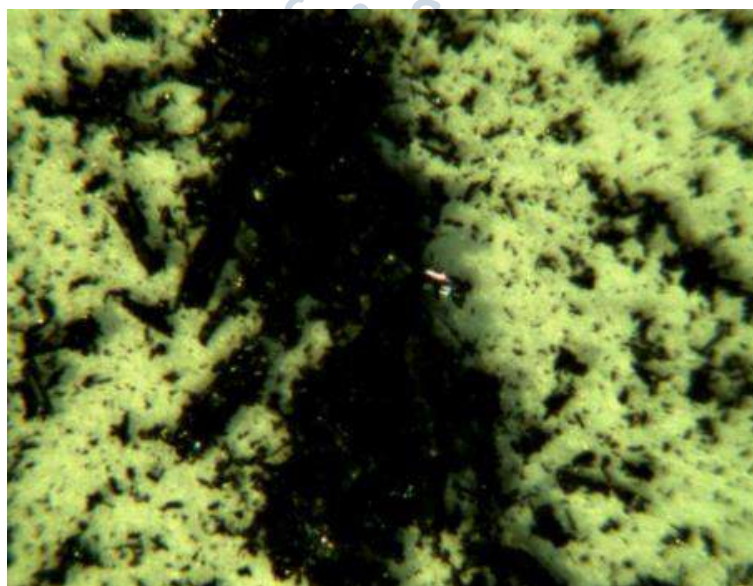


Figura 16. Visualización de la CCA a través de un estereoscopio. Se observan las partículas alargadas, que evidencian las fibras calcinadas.

Fuente: Elaboración propia

El contenido total de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  es menor del 50 %. Esto descarta la posibilidad de actividad puzolánica. Por lo tanto, actuará únicamente como finos no plásticos en la mezcla de suelo-cemento.

Tabla 7. Composición química de la ceniza de caña de azúcar por el método de Fluorescencia de Rayos X (XRF).

| Elemento | $\text{SiO}_2$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{CaO}$ | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{MgO}$ | $\text{P}_2\text{O}_5$ | $\text{Na}_2\text{O}$ | $\text{SO}_3$ | Otros | LOI   |
|----------|----------------|-------------------------|--------------|----------------------|-------------------------|--------------|------------------------|-----------------------|---------------|-------|-------|
| %        | 22.07          | 3.02                    | 2.79         | 1.13                 | 1.02                    | 0.61         | 0.50                   | 0.41                  | 0.36          | 0.27  | 68.01 |

Fuente: Elaboración propia

La curva granulométrica se muestra en la Figura 17 y Anexo A. Se puede observar que el  $D_{60}$  es 1.434 mm, el  $D_{50}$  es 1.324 mm, el  $D_{30}$  es 0.431 mm y el  $D_{10}$  es 0 mm.

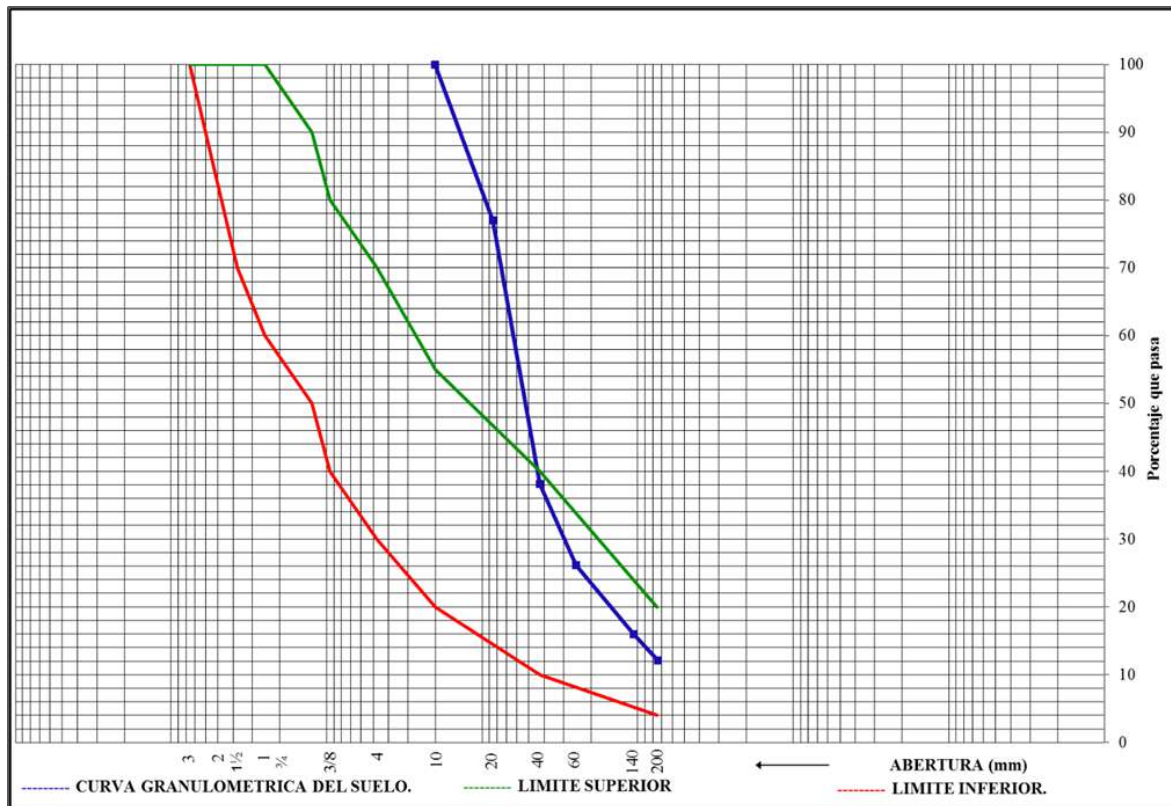


Figura 17. Curva granulométrica de la CCA.  
Fuente: Elaboración propia

## Capítulo 4

### Evaluación de los efectos de la ceniza de caña de azúcar en el suelo

#### 4.1. Granulometría de las mezclas de suelo con ceniza

Para cada muestra de reemplazo con ceniza de caña de azúcar en porcentajes de 5% (M1), 10% (M2) y 15% (M3), se evaluó el cambio en la granulometría del suelo por la adición de la ceniza (ver Anexo A y Figura 18). Se observa que la adición de ceniza no cambia significativamente la granulometría. Esto indica que su influencia no está tanto en la granulometría sino en la cantidad de las partículas finas. Así, la adición de ceniza aumenta el tamaño de las partículas en proporción al porcentaje de ceniza en cada mezcla. Esto confirma también la falta de actividad puzolánica de la ceniza, puesto que las partículas son demasiado grandes como para esperar que puedan reaccionar con el cemento e intervenir en la reacción de hidratación.

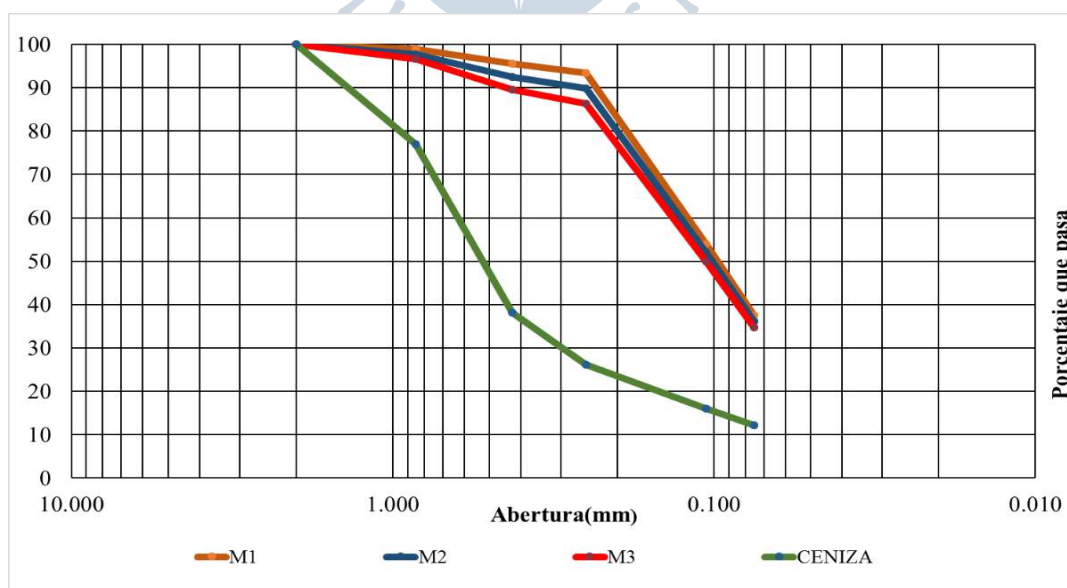


Figura 18. Curvas granulométricas de las mezclas de suelo areno-limoso y ceniza de caña de azúcar.  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.2. Relación humedad-densidad de las mezclas

En la Figura 19 se han dibujado las curvas de compactación tanto para el suelo natural como para las mezclas con 5% (M1), 10% (M2) y 15% (M3) de ceniza.

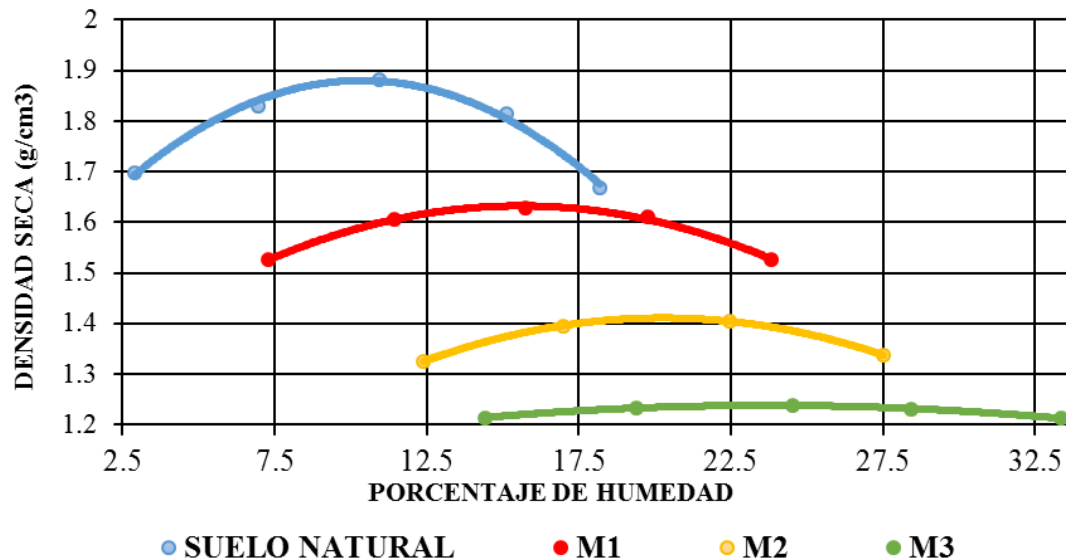


Figura 19. Curvas de compactación del suelo natural, el suelo-cemento y las mezclas con ceniza de caña de azúcar.

Fuente: Elaboración propia

Como se esperaba, la máxima densidad seca disminuye al aumentar la adición de las cenizas. Al realizarse la sustitución en peso del suelo por ceniza de caña de azúcar, habrá un aumento del volumen de la mezcla debido al menor peso unitario de la ceniza respecto al suelo natural. Esto disminuye significativamente el peso unitario, a pesar de que las cenizas son partículas pequeñas y pueden llenar espacios entre partículas. También se verifica que la curva es más achatada y es menos evidente la ubicación de un máximo, coincidiendo con el comportamiento de un material granular, poco cohesivo. Similares resultados obtuvieron Behak y Peres (2008) y Amanullah (2017) al trabajar con una arena SW-SM con adición de ceniza de cáscara de arroz.

Al evaluar el contenido de humedad, se observa que este valor se incrementa al incrementar el contenido de ceniza en la mezcla. Esto indica que el agua que reciben las mezclas se va haciendo insuficiente a medida que se incrementa el porcentaje de reemplazo de ceniza. Esto se debe a que, al adicionar ceniza, se produce una disminución de la máxima densidad seca, debido a su menor gravedad específica en relación con el suelo natural y por

ende a un mayor relleno de vacíos (Nasiri, 2016). Así mismo, Behak y Peres (2008) y Amanullah (2017) encontraron este incremento en el contenido de humedad óptima cuando utilizaron ceniza de cáscara de arroz para estabilizar un suelo SW-SM. Ellos lo atribuyen 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 presente en la mezcla, lo que resulta en una mayor adición de agua para realizar la compactación con una mayor eficiencia.

En la Tabla 8 se resumen los valores de densidad y contenido de humedad óptima para cada mezcla evaluada.

Tabla 8. Valores de máxima densidad seca y humedad óptima de las mezclas evaluadas

| Muestra       | Densidad seca máxima (g/cm <sup>3</sup> ) | Humedad óptima (%) |
|---------------|-------------------------------------------|--------------------|
| Suelo natural | 1.88                                      | 11.0               |
| M1            | 1.63                                      | 16.0               |
| M2            | 1.41                                      | 20.4               |
| M3            | 1.24                                      | 24.5               |

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos se puede concluir que la adición de ceniza al suelo areno-limoso evaluado disminuye la máxima densidad seca y aumenta el contenido de humedad óptima.

#### 4.3. CBR de las mezclas

En la Figura 20 se muestran los resultados del CBR para cada una de las muestras, referidos al 100% de la máxima densidad seca a una penetración de carga de 0.1", tanto para la condición sumergida como no sumergida.

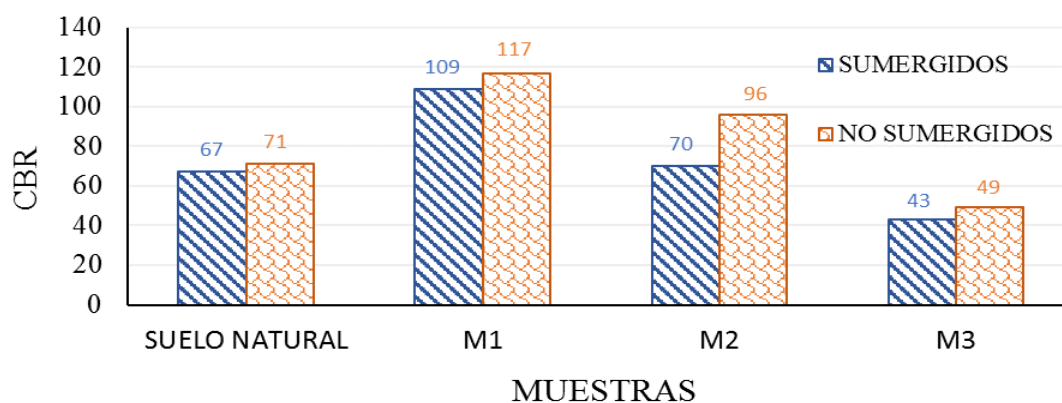


Figura 20. Variación de CBR a 0.1" de penetración de las muestras sumergidas y no sumergidas ensayadas

Fuente: Elaboración propia

Se puede notar que el suelo natural posee una alta capacidad de soporte a pesar de ser una arena limosa. Según el MTC (2013) los suelos por debajo del nivel superior de la subrasante, en una profundidad no menor de 0.60 m, deberán ser suelos estables con un valor de CBR mayor o igual a 6 %. El suelo natural supera ampliamente este requerimiento de una subrasante adecuada, pues posee un valor de CBR de 67%. Sin embargo, este suelo no posee cohesión, por lo que su aparente capacidad de soporte se pierde si no tiene confinamiento. Esto justifica claramente el uso del cemento para superar esta falta de cohesión.

Si se comparan los valores de CBR de las probetas con ceniza con el valor de CBR del suelo natural, se verifica que solo cuando se adiciona 15% de ceniza, el valor de CBR es menor que el del suelo natural, siendo en la condición saturada un 35.82% menos. Esta reducción se da, porque el valor de CBR depende de la máxima densidad seca. La adición de ceniza de caña de azúcar disminuye la densidad del suelo debido a la baja densidad de las partículas de ceniza y, al haber un mayor volumen de ceniza, se requerirá una mayor cantidad de cemento para cementar tanto las partículas de arena como las de ceniza. Al mantener constante la cantidad de cemento no se logró una buena cementación de las partículas finas, disminuyendo significativamente su capacidad de soporte. Además, la presencia de mayor cantidad de partículas finas que aporta la ceniza y que deben ser atrapadas o recubiertas por el cemento disminuye su efecto aglomerante (Nasiri, 2016). Al parecer, como se está usando un suelo arenoso, las partículas de cenizas de caña son claramente más pequeñas que las del suelo.

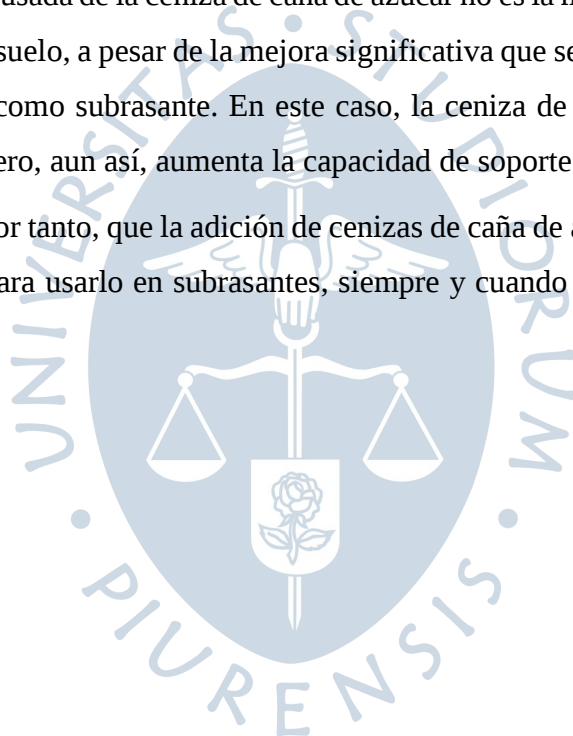
Con contenidos de ceniza por debajo del 15%, se observa que el CBR se hace máximo para un contenido de ceniza del 5%, mientras que, al aumentarlo, el CBR disminuye. Esto puede atribuirse al tamaño pequeño de las cenizas comparadas con el tamaño de las partículas de suelo. Al ser más pequeñas, en poca cantidad, lograr sellar los espacios vacíos, logrando una mezcla en cierto modo más compacta, aunque con baja densidad por el bajo peso de las partículas. Esto hace que el CBR aumente respecto al suelo original. Al aumentar el contenido de ceniza, la presencia de las partículas de pequeñas es tal que más bien dificultan el acomodo, manifestándose en una disminución del CBR.

Llama la atención que son las mezclas no sumergidas en agua las que tienen mayor valor de CBR que las sumergidas. Esto pone en evidencia que las muestras siguen siendo susceptible al efecto del agua a pesar de la presencia de cemento. Se hubiera esperado que en la condición sumergida las muestras se hidraten e incrementen su resistencia, pero ocurre

lo contrario. La susceptibilidad del suelo al agua a pesar de la estabilización se explica por la poca cantidad de cemento, que no alcanza a envolver todas las partículas como para generar una matriz que las recubra totalmente, manteniendo la susceptibilidad frente al agua. Al parecer, sólo se logra el contacto de algunas de ellas y la presencia de cenizas, que son partículas pequeñas, dificulta aún más esta función.

En general, los resultados ponen en evidencia que, al hacer las combinaciones con ceniza de caña de azúcar, las mezclas pueden seguir siendo usadas como subrasante. Este resultado es coherente con la naturaleza de partículas finas de las cenizas. Sin embargo, se observa que al suelo natural o al adicionado con cenizas, le faltan aún partículas gruesas y que la granulometría usada de la ceniza de caña de azúcar no es la más adecuada para mejorar la granulometría del suelo, a pesar de la mejora significativa que se observa en el desempeño mecánico del suelo como subrasante. En este caso, la ceniza de caña de azúcar no aporta partículas gruesas, pero, aun así, aumenta la capacidad de soporte del suelo.

Se concluye, por tanto, que la adición de cenizas de caña de azúcar procedente de caña brava es favorable para usarlo en subrasantes, siempre y cuando se use una dosis pequeña de cemento.





## Conclusiones

1. Las cenizas descartadas por Caña Brava no cuentan con suficiente contenido de sílice y tienen un contenido elevado de material orgánica, de modo que no pueden ser consideradas puzolánicas.
2. La adición de ceniza de caña de azúcar disminuye la máxima densidad seca de las mezclas, debido fundamentalmente a la menor densidad de sus partículas. La sustitución del suelo por ceniza produce un aumento del volumen de la mezcla debido a la diferencia de pesos unitarios de los dos materiales.
3. La adición de ceniza incrementa la necesidad de agua para la compactación, la cual se va haciendo insuficiente para la lubricación a medida que se incrementa el porcentaje de reemplazo de ceniza debido a la mayor área superficial de sus partículas. Esto compromete la calidad de la mezcla y su resistencia final, haciendo que el cemento ya no pueda mantener unidas las partículas.
4. La adición de la ceniza de caña a un suelo arenoso-limoso como el evaluado en la presente investigación, combinado con un 2% de cemento, puede aumentar el CBR si se añade hasta en un 10%, mientras que, para contenidos mayores, disminuye el CBR respecto al suelo natural.



## **Recomendaciones**

Los resultados de esta investigación son válidos para la ceniza proveniente de Caña Brava, con una determinada composición química y unas condiciones de calcinación. Es probable que esta ceniza calcinada en condiciones controladas y sometida a una adecuada molienda active su capacidad puzolánica, constituyéndose en un complemento de los aglomerantes hidráulicos.

Así como la ceniza de caña, hay más residuos industriales en la región Piura, que son desechados en grandes cantidades y cuyo uso como material para pavimentación puede ser estudiado. La gran ventaja de esta aplicación es que ayudaría a reducir costos y a reducir la contaminación del medio ambiente.

La exposición a las cenizas puede causar una silicosis, que es una fibrosis pulmonar de carácter progresivo e irreversible. Por ello, se debe usar implementos de protección como mascarillas especiales porque las cenizas son partículas muy finas que traspasan las mascarillas convencionales. También se recomienda el uso de camisas para evitar el contacto de la ceniza con la piel, ya que éstas pueden ser abrasivas.



## Referencias bibliográficas

- ACI 230.1R-09 (2009). Report on Soil Cement. American Concrete Institute.
- Amanullah (2017), "Rice Technology and Production". Chapter 3 "Soil Stabilization with Rice Husk Ash" by Leonardo Behak, published March 22nd 2017.
- Anupam, A.K., Kumar, P. y Ransinchung, R.N.G.D. (2013). Use of various agricultural and industrial waste materials in road construction. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 104. 264-273.
- Araujo, W. (2016). Ecuaciones de correlación del CBR con propiedades índice de suelos para la ciudad de Piura. Tesis de título. Universidad de Piura. Piura.
- Arce, M. (2011). Bases estabilizadas con cemento. *Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)*, 2(19). 1-7.
- ASTM C618-03. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. *ASTM Standards*, 04 (02). 1-3.
- ASTM D1241-00. Standard Specification for Materials for Soil-Aggregate Subbase, Base, and Surface Courses. *ASTM Standards*, 04 (02). 1-2
- Barasa, P.K., Too, Jonah, K. y Mulei, S. M. (2013). Stabilization of Expansive Clay Using Lime and Sugarcane Bagasse Ash. *International Journal of Science and Research*. 4(4). 2112-2117.
- Behak, L. y Peres, W. (2008), "Caracterización de un Material compuesto por Suelo Arenoso, Ceniza de Cascara de Arroz y Cal Potencialmente útil para su uso en Pavimentación". *Revista de Ingeniería de Construcción* 23(1), pp. 34-41, Santiago de Chile.

- Bengtsson, L. y Enell, M. (1986). Chemical analysis in Berglund B.E. (ed.), Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology. John Wiley & Sons Ltd., Chichester. 423-451.
- Caña Brava. (2014, octubre 6). Caña Brava, empresa productora de etanol en Piura [Archivo de video]. Recuperado de <http://www.youtube.com/watch?reload=98&v=0mRu0YC2MpY>
- Chavan, P. y Nagakumar, M.S. (2014). Studies on soil stabilization by using bagasse ash. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 1 (Especial).89-94.
- Chávez, C. (2017). Empleo de la ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBCA) como sustituto porcentual del agregado fino en la elaboración del concreto hidráulico. Tesis de título. Universidad Nacional de Cajamarca. Cajamarca.
- Chittaranjan, M., Vijay, M. y Keerthi, D. (2011). Agricultural wastes as soil stabilizers. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 04 (06). 50-51
- Chusilp, N., Jaturapitakkul, Ch. y Kiattikomol, K. (2009). Utilization of bagasse ash as a pozzolanic material in concrete. *Construction and Building Materials*. 23, 3352-3358.
- Cordeiro, G.C., Toledo Filho, R.D, Fairbairn, E.M.R. (2009). Effect of calcination temperature on the pozzolanic activity of sugar cane bagasse ash. *Construction and Building Materials*, 23. 3301-3303.
- Cordeiro, G.C., Toledo, R.D., Tavares, L.M., Fairbairn, E.M.R. (2008), Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. *Cement and Concrete Composites*, 30(5). 410-418.
- Dean, W.E. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *J. Sed. Petrol.*, 44. 242-248.
- De La Fuente Lavalle, E. (2013). Suelo – Cemento Sus usos, propiedades y aplicaciones. *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.* 1-86
- Delgado López, C.A. y Mendoza Meléndez, I.A. (2018). Influencia del porcentaje de ceniza de bagazo de caña de azúcar activada alcalinamente sobre la tensión efectiva en suelos susceptibles a licuación. Tesis de título. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo.

- Frías, M., Villar-Cociña, E., Valencia-Morales, E.(2006). Characterization of sugar cane straw waste as pozzolanic material for construction: Calcining temperature and kinetic parameters. *Waste Management*, 27 (4). 533–538.
- Gandhi, K.S. (2012). Expansive soil Stabilization Using Bagasse Ash. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 1 (5). 1-3.
- Otoko, G.R. y Esenwa Ifechukwude, C. (2013). Mechanical stabilization of deltaic clayey soil using crushed Waste periwinkle shells. *International Journal of Engineering and Technology Research*, 2 (5). 1-346.
- Hasan, H., Dang, L., Khabbaz, H., Fatahi, B., y Terzaghi, S. (2016). Remediation of Expansive Soils Using Agricultural Waste Bagasse Ash. *Procedia*, 143. 1368-1375.
- Henao Caicedo, S., Libreros Yusty, J. F., Maury Ramirez, A. (2016). Evaluación de la ceniza proveniente del bagazo de caña de azúcar como material cementante alternativo para la elaboración de morteros. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Cali, Colombia.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). *Manual de Carreteras. Especificaciones técnicas generales para construcción*. Lima.
- NTP 339.128:1999 – SUELOS. Método de ensayo para el análisis granulométrico.
- NTP 339.129:1999 – SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de los suelos.
- NTP 339.134:1999 – SUELOS. Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS).
- NTP 339.141:1999 – SUELOS. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.
- NTP 339.145:1999 – SUELOS. Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en laboratorio.
- Jiménez, G. (2016). Resistencia a la compresión del concreto  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  con la adición de diferentes porcentajes de ceniza de bagazo de caña de azúcar. Tesis de título. Universidad Privada del Norte.
- Kharade Amit, S., Suryavanshi Vishal, V., Gujar Bhikaji, S. y Deshmukh Rohankit, 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*. 03(03). 506-512.
- Kiran, R.G. y Kiran, L. (2013). Analysis of Strength Characteristics of Black Cotton Soil Using Bagasse Ash and Additives as Stabilizer. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 02 (07). 2240-2246.
- Londoño Gómez, E. (2011). 360 en concreto. Colombia: Argos. Recuperado de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/ataque-de-sulfato-en-el-concreto>
- Martirena Hernández, J.F., Betancourt Rodríguez, S., Middendorf, B., Rubio, A., Martínez Fernández, L., Machado López, I. y González López, R. (2000). Propiedades puzolánicas de desechos de la industria azucarera (primera parte). *Materiales de Construcción*. 50 (260). 71-78.
- Murari, A., Singh, I., Agarwal, N. y Kumar, A. (2015). Stabilization of Local Soil with Bagasse Ash. *SSRG International Journal of Civil Engineering*, 1 (3). 37-39.
- Nasiri, M., Lotfalian, M., Modarres, A., Wu, W. (2016), "Optimum Utilization of Rice Husk Ash for Stabilization of Sub-base Materials in Construction and Repair Projects of Forest Roads".
- Onyelowe, K.C. (2012). Cement Stabilized Akwute Lateritic Soil and the Use of Bagasse Ash as Admixture. *International Journal of Science and Engineering Investigations*, 01 (02). 16-20.
- Ospina, S., Nieves, C. y López, A. (2017). Análisis comparativo de mezclas suelo cemento modificadas con materiales no biodegradables. Metodología de la portland cement association. *Revista Infraestructura Vial/ LanammeUCR*. 19 (33). 5-14
- Sagüés, P. (2014). Propiedades de los suelos compactados. Tesis de grado. Universidad de Buenos Aires.
- Sánchez Leal, F.J. (2012). Blog de conceptos y aplicaciones de la tecnología Ramcones en suelos y mezclas asfálticas. Tres formas de diseñar un suelo compactado, ventajas y desventajas. Disponible en: <http://blogramcodes.blogspot.com/2012/04/tres-formas-de-disenar-un-suelo.html>
- Soares, M.M.N.S., Poggiali, F., Bezerra, A.C. S., Figueiredo Roberto B., P. Aguilar Maria Teresa y Cetlin Paulo Roberto (2014). The effect of calcination conditions on the

physical and chemical characteristics of sugar cane bagasse ash. *Escola de Minas*, 67(1). 33-39.

Toirac Corral, J. (2008). El suelo-cemento como material de construcción. *Ciencia y Sociedad*, XXXIII (4). 520-571.

Tórrez Rivas, B.J., Gaitán Arévalo, J.R., Espinoza Pérez, L.J. y Escalante García, J.I. (2014). Valorización de ceniza de bagazo de caña de la industria azucarera nicaragüense como sustituto parcial al cemento Portland. *Nexo*, 27 (2), 82-89.

Vidal, D. V., Torres, J. y González, L. O. (2014). Ceniza de bagazo de caña para elaboración de materiales de construcción: Estudio preliminar. *Revista de Física*, 48E. 14- 23.

Whitlow, R. (1989). Fundamentos de la mecánica de suelos. (2da. Ed.) CECSA. México.





## **Anexos**





## Anexo A. Curvas granulométricas



**UNIVERSIDAD DE PIURA**  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

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

Muestreo realizado por: El solicitante

Orden de Servicio N° : 21400

Informe N° : 191421

Fecha de ensayo : 17/05/2018

Realizó el ensayo : Téc. Francisco Castro C.

Solicitante : MERCEDES LUCÍA WEYRA LEÓN

Ciudad : Eneabizobán de suelos arena-finosas con cemento y ceniza de caña de azúcar

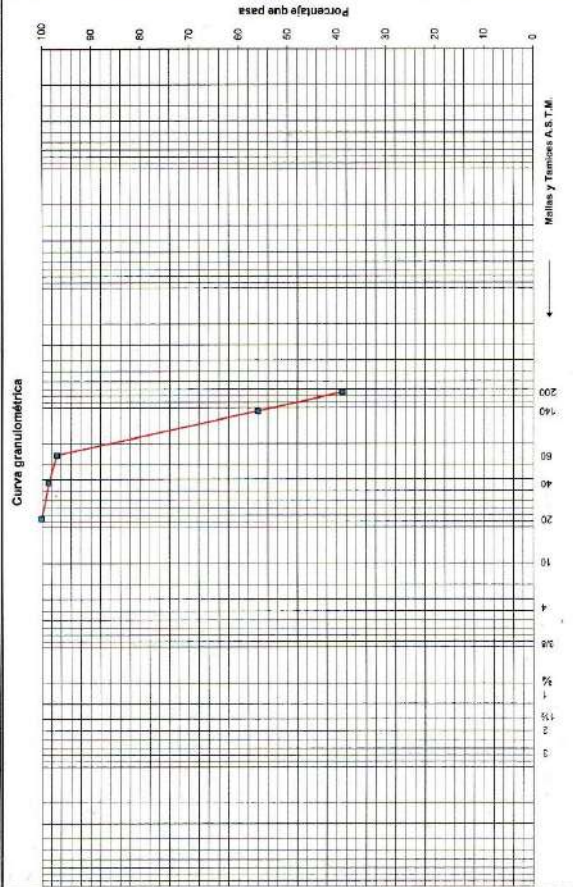
Procedencia : Universidad César Vallejo

Ubicación : Piura

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

| 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           | 0.00          | 0.00               | 0.00             | 100    |
| 0.425         | 40           | 5.80          | 1.43               | 1.43             | 99     |
| 0.25          | 60           | 6.90          | 1.71               | 3.14             | 97     |
| 0.106         | 140          | 165.40        | 40.91              | 44.05            | 56     |
| 0.074         | 200          | 69.20         | 17.12              | 61.17            | 39     |
|               | Fondo        | 156.70        |                    |                  |        |
|               | Total        | 404.00        |                    |                  |        |
|               | Peso inicial | 404.30        |                    |                  |        |
|               | Pérdida      | 0.30          |                    |                  |        |

**Curva granulométrica**



**Descripción de la muestra:** Arena limosa (SM)  
Presenta 81% de arena fina y 38% de fines limosos no plásticos.  
Muestra de color amarillo claro.

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este reporte de ensayo de acuerdo a los datos proporcionados por el cliente. Con la aceptación de los datos y resultados de este reporte, las partes deben constatar 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.

Supervisó el ensayo: Gaby Ruiz Patrón  
Ingeniero Civil  
CIP 48912

UNIVERSIDAD DE PIURA  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN



UNIVERSIDAD DE PIURA  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

## MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Norma: NTP 339.128 1999

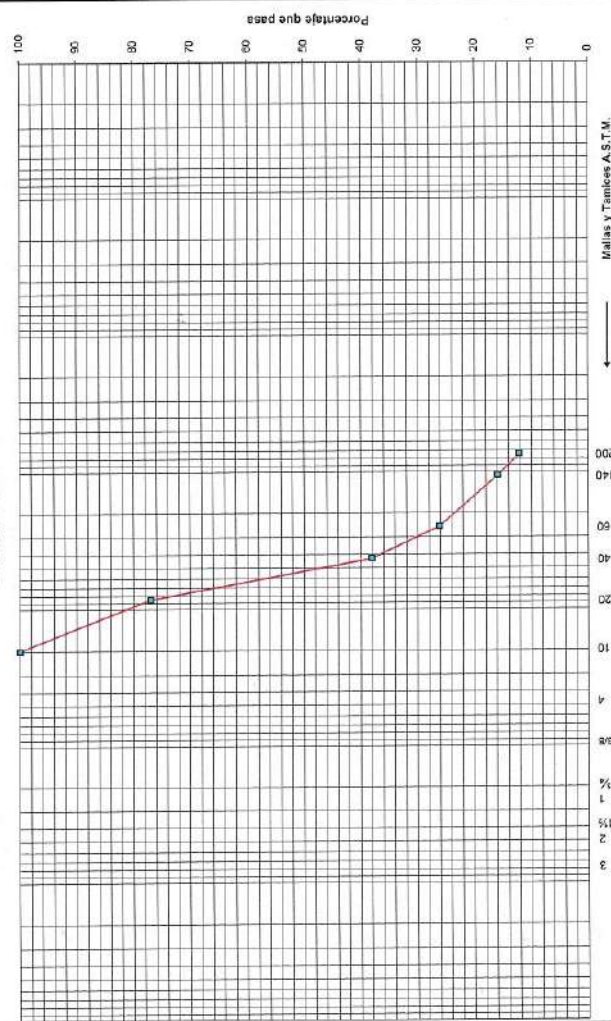
EL SOLICITANTE DECLARA COMO Cierta LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN  
Obra : Estabilización de suelos arenos-limosos con cemento y canchales de cancha de asfalto  
Procedencia : Planta Caña Brava  
Ubicación : Piura  
Muestra realizado por : El solicitante

Orden de servicio N° : 21400  
Informe N° : 191441  
Fecha de ensayo : 13/05/2018  
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           | 0.00          | 0.00               | 0.00             | 100    |
| 0.85          | 20           | 10.80         | 22.98              | 22.98            | 77     |
| 0.425         | 40           | 18.30         | 38.94              | 61.91            | 38     |
| 0.25          | 60           | 5.60          | 11.91              | 73.83            | 26     |
| 0.106         | 140          | 4.80          | 10.21              | 84.04            | 16     |
| 0.074         | 200          | 1.80          | 3.83               | 87.87            | 12     |
|               | Fondo        | 5.20          |                    |                  |        |
|               | Total        | 48.90         |                    |                  |        |
|               | Peso inicial | 47.00         |                    |                  |        |
|               | Pérdida      | 0.10          |                    |                  |        |

Curva granulométrica



Descripción de la muestra: Arena limosa (SM) / Granulometría de ceniza  
Presenta 88% de arena fina y 12% de finos limosos no plásticos.  
Muestra de color negro.

Clasificación AASTHO: A-1b (0)

Supervisó el ensayo: Gaby Ruiz Perillo  
Ingeniero Civil  
CIP 46912

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este informe 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 informe 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

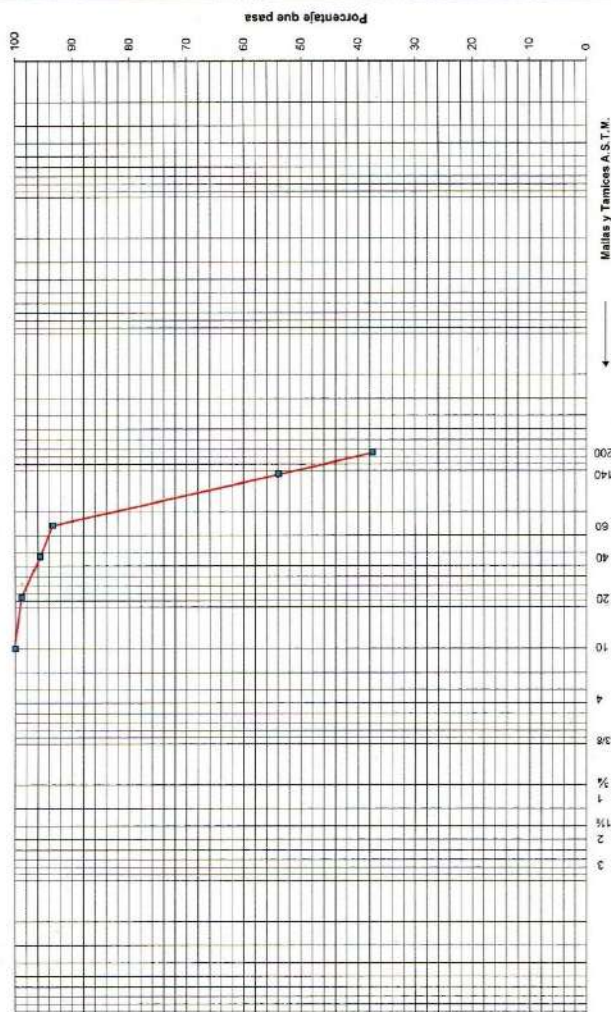
EL SOLICITANTE DECLARA COMO Cierta la siguiente información:

Solicitante : MERCEDES LUCIA NEYRA LEÓN  
Ubicación : Piura  
Muestreo realizado por : El solicitante  
Otra : Estabilización de suelos arenos-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar  
Procedencia : 95% de arena limosa+5% de ceniza

Orden de servicio N° : 21400  
Informe N° : 191422  
Fecha de ensayo : 15/06/2018  
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           | 5.70          | 1.15               | 1.15             | 99     |
| 0.425         | 40           | 16.20         | 3.26               | 4.41             | 96     |
| 0.25          | 60           | 11.00         | 2.22               | 6.63             | 93     |
| 0.106         | 140          | 196.00        | 39.47              | 46.09            | 54     |
| 0.074         | 200          | 81.60         | 16.43              | 62.53            | 37     |
|               | Fondo        | 196.00        |                    |                  |        |
|               | Total        | 496.50        |                    |                  |        |
|               | Peso inicial | 496.60        |                    |                  |        |
|               | Pérdida      | 0.10          |                    |                  |        |

Curva granulométrica



Descripción de la muestra: Arena limosa (SM) / granulometría de mezcla.  
Presenta 62% de arena fina y 37% de finos limosos no plásticos.

Superviso el ensayo: Gaby Ruiz Petrozzi  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
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.

Clasificación AASHTO: A-4 (0)



**UNIVERSIDAD DE PIURA**  
**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

**MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

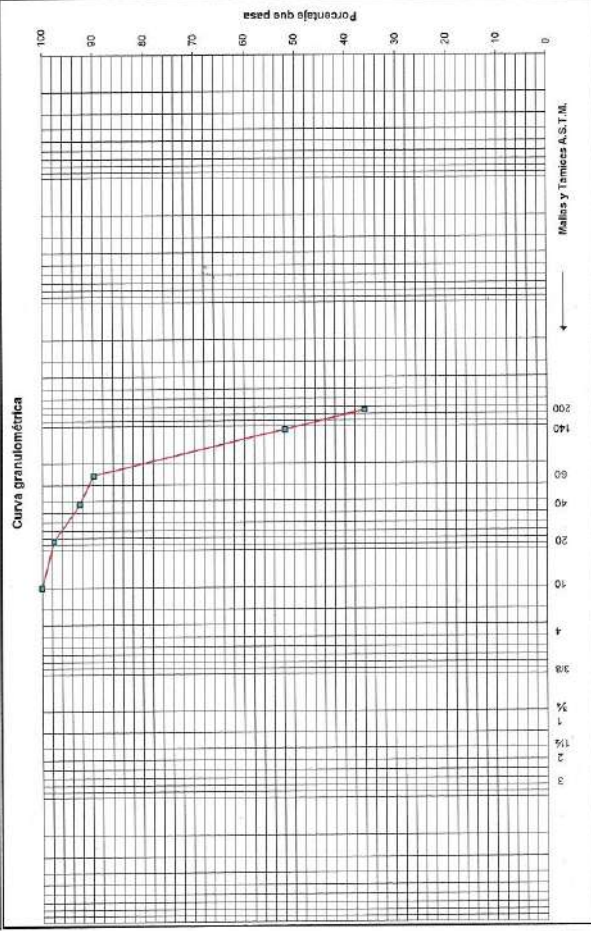
Norma: NIP 339.128 - 1999

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

|                                                                                    |                   |                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|
| Solicitante : MERCEDES LUCIA NEYRA LEON                                            | Ubicación : Piura | Muestreo realizado por : El solicitante |
| Obra : Estabilización de subso arena-limosa con cemento y ceniza de caña de azúcar |                   |                                         |
| Presidencia : 90% de arena limosa-10% de ceniza                                    |                   |                                         |

Orden de servicio N° : 21400  
Informe N° : 191423  
Fecha de ensayo : 15/06/2018  
Realizó el ensayo : Tlc. Francisco Castro C.

| Abertura (mm) | Temiz 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 "        |               |                    |                  |        |
| 4.75          | 4            |               |                    |                  |        |
| 2             | 10           | 0.00          | 0.00               | 0.00             | 100    |
| 0.85          | 20           | 11.20         | 2.30               | 2.30             | 98     |
| 0.425         | 40           | 25.00         | 5.14               | 7.45             | 93     |
| 0.25          | 60           | 13.20         | 2.71               | 10.16            | 90     |
| 0.106         | 140          | 184.40        | 37.93              | 48.09            | 52     |
| 0.074         | 200          | 76.70         | 15.78              | 63.86            | 36     |
|               | Fondo        | 175.50        |                    |                  |        |
|               | Total        | 486.00        |                    |                  |        |
|               | Peso inicial | 486.20        |                    |                  |        |
|               | Pérdida      | 0.20          |                    |                  |        |



Descripción de la muestra: Arena limosa (SM) / granulometría de mezcla.  
Presenta 64% de arena fina y 36% de finos limosa no plásticos.

Clasificación AASHTO: A-4 (0)

Supervisó el ensayo: Gaby Ruiz Patrón  
Ingeniero Civil (C) *Gaby Ruiz Patrón*  
CIP 45912

El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este informe de ensayo. 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 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  
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 : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN Ubicación : Piura  
Obra : Estabilización de suelos arenos-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar  
Procedencia : 85% de arena limosa+15% de ceniza

Orden de servicio N° : 21400  
Informe N° : 191424  
Fecha de ensayo : 15/05/2018  
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           | 0.00          | 0.00               | 0.00             | 100    |
| 0.85          | 20           | 15.00         | 3.44               | 3.44             | 97     |
| 0.425         | 40           | 30.60         | 7.02               | 10.46            | 90     |
| 0.25          | 60           | 14.10         | 3.23               | 13.69            | 86     |
| 0.106         | 140          | 158.70        | 36.39              | 50.08            | 50     |
| 0.074         | 200          | 65.90         | 15.11              | 65.19            | 35     |
|               | Fondo        | 151.60        |                    |                  |        |
|               | Total        | 435.90        |                    |                  |        |
|               | Peso inicial | 436.10        |                    |                  |        |
|               | Pérdida      | 0.20          |                    |                  |        |

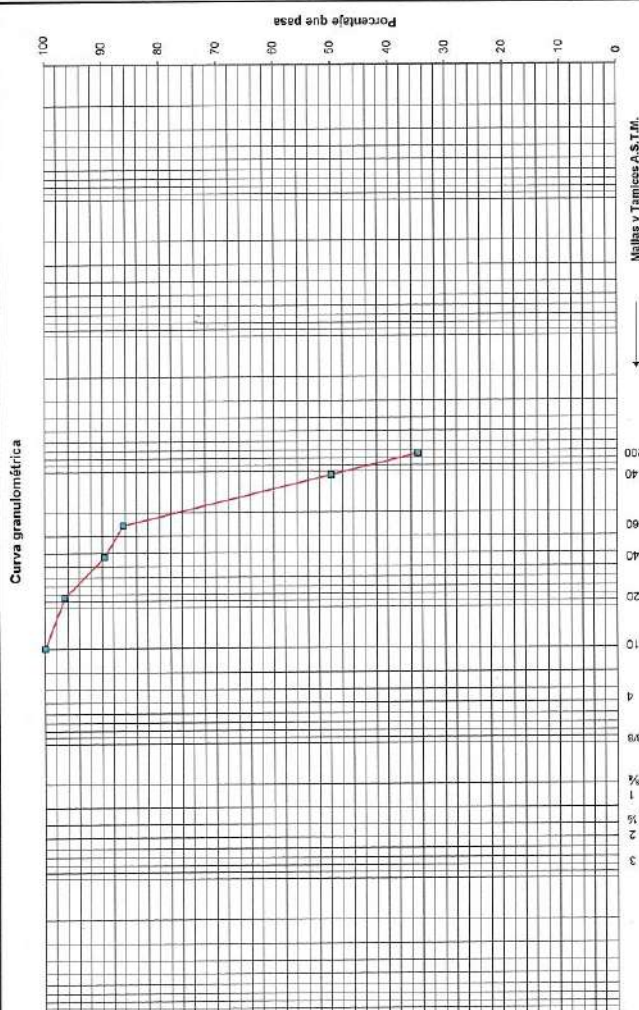
Supervisó el ensayo: Gaby Ruiz Petrozzi  
Ingeniero Civil  
CIP 48912



El LEMC de la Universidad de Piura ha emitido este informe de ensayo de acuerdo a 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 de 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.

Descripción de la muestra: Arena limosa (SM) / granulometría de mezcla.  
Presenta 65% de arena fina y 35% de finos limosos no plásticos.

Clasificación AASHTO: A-4 (0)



## Anexo B. Ensayo de Fluorescencia de rayos X de la ceniza



### Informe de ensayo XRF

DES\_ID-MR-523\_190418\_ID - PF1-C

23/04/2018 8:14:57 a.m.

Fecha de análisis: 20/04/18 5:58 p.m.

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

Diámetro medido = 29.00 mm  
Área medida = 660.52 mm<sup>2</sup>  
Masa medida = 5794.32 mg  
Altura muestra = 3.00 mm  
Dilución = 18.817 Li2O/Li2B4O7/LiBr

### Resultados

| Compuesto                      | WW % muestra |
|--------------------------------|--------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 22.07        |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3.02         |
| CaO                            | 2.79         |
| K <sub>2</sub> O               | 1.13         |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.02         |
| MgO                            | 0.61         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.50         |
| Na <sub>2</sub> O              | 0.41         |
| SO <sub>3</sub>                | 0.36         |
| TiO <sub>2</sub>               | 0.09         |
| ZrO <sub>2</sub>               | 0.05         |
| SrO                            | 0.05         |
| BaO                            | 0.05         |
| MnO                            | 0.02         |
| Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 0.01         |
| ZnO                            | 0.00         |
| LOI                            | 68.01        |

  
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. (+511) 202-6363  
Av. Universitaria Norte N°5140 (+511) 202-6364  
Urb. Industrial Infantas - Los Olivos  
Lima - Perú

[www.comacsa.com.pe](http://www.comacsa.com.pe)

## Anexo C. Ensayo Proctor modificado



UNIVERSIDAD DE PIURA  
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

### PRUEBA DE COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO Norma: NTP 339.141 1999

Orden de servicio : 21400  
Informe N° : 191426  
Clasificación AASHTO : A-4 (0)

Fecha de recepción : 17/04/2018  
Fecha de ensayo : 15/05/2018  
Fecha de emisión : 16/05/2018

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

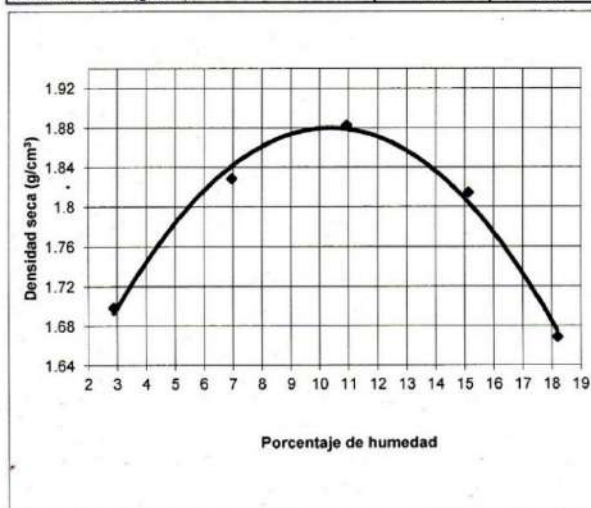
Solicitante : MERCEDES LUCIA NEYRA LEÓN  
Tesis : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar  
Ubicación : Piura  
Muestreo realizado por : El solicitante  
Procedencia : Suelo natural (Universidad César Vallejo)

#### CONDICIONES DEL ENSAYO:

Procedimiento utilizado: A  
Molde N°: A1  
Peso del molde (g): 4461  
N° de capas: 5  
Peso del martillo (lb): 10

Método de preparación: Húmedo  
Volumen del molde (cm³): 942.6  
Altura de caída (pulg.): 18  
N° de golpes por capa: 25

| Punto N°                           | I      | II    | III   | IV    | V     |
|------------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|
| Peso de molde + suelo húmedo (g)   | 6108   | 6304  | 6429  | 6430  | 6320  |
| Cápsula para humedad N°            | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     |
| Peso de cápsula (g)                | 188.5  | 170.9 | 163.7 | 169.9 | 183.6 |
| Peso de cápsula + suelo húmedo (g) | 1007.3 | 833   | 850.3 | 811.6 | 808.6 |
| Peso de cápsula + suelo seco (g)   | 984.4  | 790   | 782.7 | 727.3 | 712.4 |
| Porcentaje de humedad              | 2.88   | 6.95  | 10.92 | 15.12 | 18.19 |
| Densidad seca (g/cm³)              | 1.70   | 1.83  | 1.88  | 1.81  | 1.67  |



Máxima densidad seca (g/cm³) : 1.88  
Humedad óptima ( % ) : 11.0

*Gaby Ruiz Petrozzi*  
Gaby Ruiz Petrozzi  
Ingeniero Civil  
CIP 4691  
Responsable

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 : 21400  
Informe N° : 191428  
Clasificación AASHTO : A-4 (0)

Fecha de recepción : 17/04/2018  
Fecha de ensayo : 23/05/2018  
Fecha de emisión : 24/05/2018

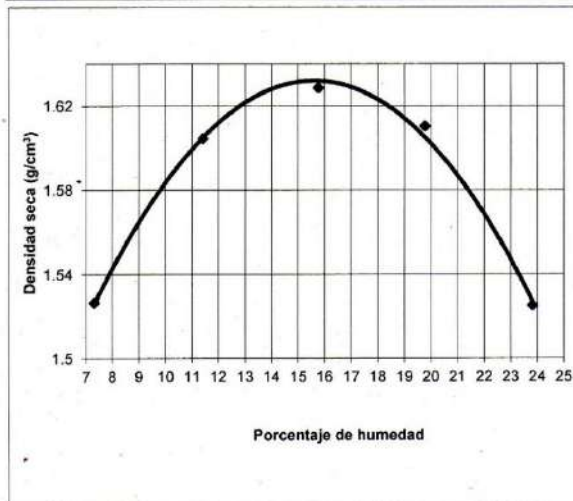
**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

Solicitante : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN  
Tesis : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar  
Ubicación : Piura  
Muestreo realizado por : El solicitante  
Procedencia : 93% de suelo limoso+2% de cemento tipo V+5% de ceniza

**CONDICIONES DEL ENSAYO:**

|                          |      |                          |        |
|--------------------------|------|--------------------------|--------|
| Procedimiento utilizado: | A    | Método de preparación:   | Húmedo |
| Molde N°:                | A1   | Volumen del molde (cm³): | 942.6  |
| Peso del molde (g):      | 4461 | Altura de caída (pulg.): | 18     |
| N° de capas:             | 5    | N° de golpes por capa:   | 25     |
| Peso del martillo (lb):  | 10   |                          |        |

| Punto N°                           | I     | II    | III   | IV    | V     |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso de molde + suelo húmedo (g)   | 6005  | 6146  | 6238  | 6279  | 6241  |
| Cápsula para humedad N°            | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |
| Peso de cápsula (g)                | 167.3 | 166.1 | 130.8 | 169.5 | 127.6 |
| Peso de cápsula + suelo húmedo (g) | 672.7 | 674.8 | 677.3 | 808.5 | 727.9 |
| Peso de cápsula + suelo seco (g)   | 638.3 | 622.7 | 602.9 | 703   | 612.4 |
| Porcentaje de humedad              | 7.30  | 11.41 | 15.76 | 19.78 | 23.82 |
| Densidad seca (g/cm³)              | 1.53  | 1.60  | 1.63  | 1.61  | 1.53  |



Máxima densidad seca (g/cm³) : 1.63  
Humedad óptima ( % ) : 16.0

*Gaby Ruiz Retros*  
Gaby Ruiz Retros  
Ingeniero Civil  
CIP 469 274-1  
Responsable

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 : 21400 Fecha de recepción : 17/04/2018  
Informe N° : 191429 Fecha de ensayo : 23/05/2018  
Clasificación AASHTO : A-4 (0) Fecha de emisión : 24/05/2018

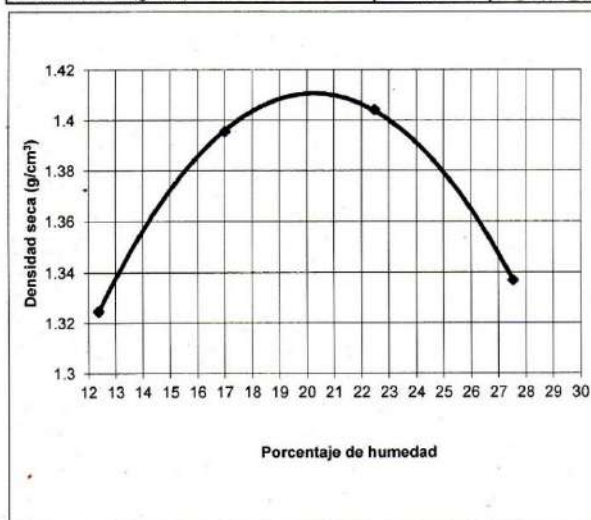
**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

Solicitante : MERCEDES LUCIA NEYRA LEÓN  
Tesis : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar  
Ubicación : Piura  
Muestreo realizado por : El solicitante  
Procedencia : 88% de arena limosa+2% de cemento tipo V+10% de ceniza

**CONDICIONES DEL ENSAYO:**

Procedimiento utilizado: A Método de preparación: Húmedo  
Molde N°: A1 Volumen del molde (cm³): 942.6  
Peso del molde (g): 4461 Altura de caída (pulg.): 18  
N° de capas: 5 N° de golpes por capa: 25  
Peso del martillo (lb): 10

| Punto N°                           | I     | II    | III   | IV    | V |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|---|
| Peso de molde + suelo húmedo (g)   | 5864  | 6000  | 6082  | 6068  |   |
| Cápsula para humedad N°            | 1     | 2     | 3     | 4     |   |
| Peso de cápsula (g)                | 178.5 | 176.8 | 177.8 | 126.8 |   |
| Peso de cápsula + suelo húmedo (g) | 575.5 | 606.4 | 632.9 | 634.1 |   |
| Peso de cápsula + suelo seco (g)   | 531.8 | 544   | 549.4 | 524.6 |   |
| Porcentaje de humedad              | 12.37 | 16.99 | 22.47 | 27.53 |   |
| Densidad seca (g/cm³)              | 1.32  | 1.40  | 1.40  | 1.34  |   |



Máxima densidad seca (g/cm³) : 1.41  
Humedad óptima ( % ) : 20.4

*Gaby Ruiz Petron*  
Gaby Ruiz Petron  
Ingeniero Civil  
CIP 45842  
Responsable de MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

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    | : 21400   | Fecha de recepción | : 17/04/2018 |
| Informe N°           | : 191430  | Fecha de ensayo    | : 25/05/2018 |
| Clasificación AASHTO | : A-4 (0) | Fecha de emisión   | : 26/05/2018 |

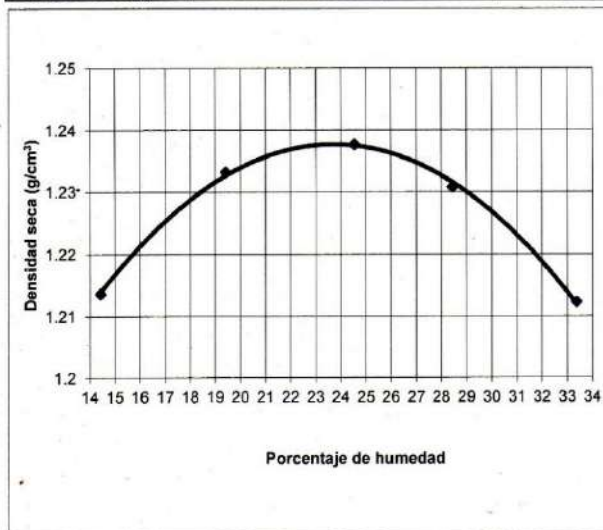
**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

|                        |                                                                                 |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Solicitante            | : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN                                                     |
| Tesis                  | : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar |
| Ubicación              | : Piura                                                                         |
| Muestreo realizado por | : El solicitante                                                                |
| Procedencia            | : 83% de suelo limoso+2% de cemento tipo V+15% de ceniza                        |

**CONDICIONES DEL ENSAYO:**

|                          |      |                                       |        |
|--------------------------|------|---------------------------------------|--------|
| Procedimiento utilizado: | A    | Método de preparación:                | Húmedo |
| Molde N°:                | A1   | Volumen del molde (cm <sup>3</sup> ): | 942.6  |
| Peso del molde (g):      | 4461 | Altura de caída (pulg.):              | 18     |
| N° de capas:             | 5    | N° de golpes por capa:                | 25     |
| Peso del martillo (lb):  | 10   |                                       |        |

| Punto N°                           | I     | II    | III   | IV    | V     |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Peso de molde + suelo húmedo (g)   | 5770  | 5849  | 5914  | 5951  | 5985  |
| Cápsula para humedad N°            | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     |
| Peso de cápsula (g)                | 126.7 | 167.1 | 176.2 | 161.8 | 170.5 |
| Peso de cápsula + suelo húmedo (g) | 568.5 | 565.2 | 550.2 | 595.4 | 548.2 |
| Peso de cápsula + suelo seco (g)   | 512.8 | 500.5 | 476.5 | 499.4 | 453.7 |
| Porcentaje de humedad              | 14.43 | 19.41 | 24.54 | 28.44 | 33.37 |
| Densidad seca (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.21  | 1.23  | 1.24  | 1.23  | 1.21  |



|                                           |      |
|-------------------------------------------|------|
| Máxima densidad seca (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.24 |
| Humedad óptima ( % )                      | 24.5 |

Gaby Ruiz Pérez  
 Ingeniero Civil  
 CIP 46912  
 Responsable

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 D. Ensayos de relación de soporte de California (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 N° : 21400  
Informe N° : 191431

Clasificación AASTHO : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 21/05/2018  
Fecha de emisión : 21/05/2018

Hoja 1 de 2

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

|                        |                                                                                 |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Solicitante            | : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN                                                     |
| Tesis                  | : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar |
| Ubicación              | : Piura                                                                         |
| Muestreo realizado por | : El solicitante                                                                |
| Procedencia            | : Suelo natural (Universidad Cesar Vallejo)                                     |

**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               | 11.0             | 11.0 | 11.0 |
| Densidad seca antes de sumergirlos en agua | 1.75             | 1.81 | 1.91 |
| 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          | 16    | 28    | 67    |
| C.B.R. corregido a 0.2" de penetración          | 16    | 31    | 75    |
| Cantidad de sobrecarga                          | 10 lb | 10 lb | 10 lb |

**Observaciones:**

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

  
**Gaby Ruiz Petros**  
 Ingeniero Civil  
 CIP 46340  
 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° : 21400  
Informe N° : 191431

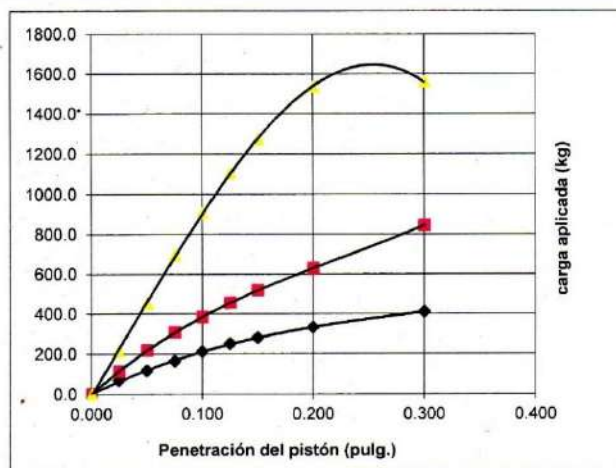
Hoja 2 de 2

Clasificación visual : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 21/05/2018  
Fecha de emisión : 21/05/2018

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

Solicitante : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN  
Obra : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar  
Ubicación : Piura  
Muestreo realizado por : El solicitante  
Procedencia : Suelo natural (Universidad Cesar Vallejo)

|             | Especimen # 1 |       |           |        | Especimen # 2 |       |           |        | Especimen # 3 |        |           |        |
|-------------|---------------|-------|-----------|--------|---------------|-------|-----------|--------|---------------|--------|-----------|--------|
|             | 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       | 0.0260        | 69.7  |           |        | 0.0460        | 112.8 |           |        | 0.0920        | 211.9  |           |        |
| 0.050       | 0.0480        | 117.1 |           |        | 0.0940        | 216.2 |           |        | 0.2020        | 448.8  |           |        |
| 0.075       | 0.0700        | 164.5 |           |        | 0.1360        | 306.6 |           |        | 0.3160        | 694.3  |           |        |
| 0.100       | 0.0920        | 211.9 | 211.9     | 16     | 0.1720        | 384.2 | 384.2     | 28     | 0.4140        | 905.4  | 905.4     | 67     |
| 0.125       | 0.1100        | 250.6 |           |        | 0.2040        | 453.1 |           |        | 0.5060        | 1103.6 |           |        |
| 0.150       | 0.1240        | 280.8 |           |        | 0.2340        | 517.7 |           |        | 0.5840        | 1271.6 |           |        |
| 0.200       | 0.1480        | 332.5 | 332.5     | 16     | 0.2860        | 629.7 | 629.7     | 31     | 0.7060        | 1534.4 | 1534.4    | 75     |
| 0.300       | 0.1840        | 410.0 |           |        | 0.3860        | 845.1 |           |        | 0.7180        | 1560.2 |           |        |



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.

*Gaby Ruiz Retros*  
Gaby Ruiz Retros  
Ingeniero Civil  
CIP 4691  
Responsable



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° : 21400  
Informe N° : 191432

Hoja 1 de 2

Clasificación AASTHO : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 08/06/2018  
Fecha de emisión : 08/06/2018

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

|                        |                                                                                 |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Solicitante            | : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN                                                     |
| Tesis                  | : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar |
| Ubicación              | : Piura                                                                         |
| Muestreo realizado por | : El solicitante                                                                |
| Procedencia            | : Suelo natural                                                                 |

**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               | 11.0 | 11.0        | 11.0 |
| Densidad seca antes de sumergirlos en agua | 1.77 | 1.84        | 1.92 |
| 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          | 25    | 41    | 71    |
| C.B.R. corregido a 0.2" de penetración          | 31    | 50    | 80    |
| 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

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

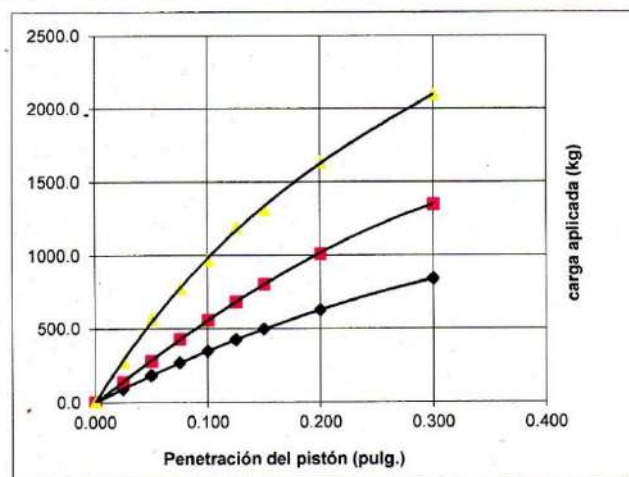
Orden de servicio N° : 21400  
Informe N° : 191432  
Clasificación visual : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 08/06/2018  
Fecha de emisión : 08/06/2018

Hoja 2 de 2

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

Solicitante : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN  
Obra : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar  
Ubicación : Piura  
Muestreo realizado por : El solicitante  
Procedencia : Suelo natural

| Penetración | Especimen # 1     |       |                   |        | Especimen # 2     |        |                   |        | Especimen # 3     |        |                   |        |
|-------------|-------------------|-------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|
|             | Molde #X1-10golp. |       | Molde #X2-25golp. |        | Molde #X3-56golp. |        | Molde #X3-56golp. |        | Molde #X3-56golp. |        | Molde #X3-56golp. |        |
|             | lect. dial        | carga | lect. dial        | carga  | lect. dial        | carga  | lect. dial        | carga  | lect. dial        | carga  | lect. dial        | carga  |
| pulgadas    | mm.               | kg    | mm.               | kg     | mm.               | kg     | mm.               | kg     | mm.               | kg     | mm.               | kg     |
| 0.000       | 0.0000            | 0.0   | 0.0000            | 0.0    | 0.0000            | 0.0    | 0.0000            | 0.0    | 0.0000            | 0.0    | 0.0000            | 0.0    |
| 0.025       | 0.0360            | 91.3  | 0.0560            | 134.3  | 0.1200            | 272.2  | 0.1200            | 272.2  | 0.1200            | 272.2  | 0.1200            | 272.2  |
| 0.050       | 0.0780            | 181.7 | 0.1220            | 276.5  | 0.2540            | 560.8  | 0.2540            | 560.8  | 0.2540            | 560.8  | 0.2540            | 560.8  |
| 0.075       | 0.1180            | 267.9 | 0.1920            | 427.3  | 0.3520            | 771.9  | 0.3520            | 771.9  | 0.3520            | 771.9  | 0.3520            | 771.9  |
| 0.100       | 0.1540            | 345.4 | 0.2520            | 556.5  | 0.4420            | 965.7  | 0.4420            | 965.7  | 0.4420            | 965.7  | 0.4420            | 965.7  |
| 0.125       | 0.1900            | 422.9 | 0.3100            | 681.4  | 0.5440            | 1185.4 | 0.5440            | 1185.4 | 0.5440            | 1185.4 | 0.5440            | 1185.4 |
| 0.150       | 0.2240            | 496.2 | 0.3660            | 802.0  | 0.6020            | 1310.3 | 0.6020            | 1310.3 | 0.6020            | 1310.3 | 0.6020            | 1310.3 |
| 0.200       | 0.2840            | 625.4 | 0.4640            | 1013.1 | 0.7520            | 1633.4 | 0.7520            | 1633.4 | 0.7520            | 1633.4 | 0.7520            | 1633.4 |
| 0.300       | 0.3840            | 840.8 | 0.6200            | 1349.1 | 0.9660            | 2094.4 | 0.9660            | 2094.4 | 0.9660            | 2094.4 | 0.9660            | 2094.4 |



*Gaby Ruiz Petrozzi*  
Gaby Ruiz Petrozzi  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable

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° : 21400  
Informe N° : 191435

Hoja 1 de 2

Clasificación AASTHO : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 28/05/2018  
Fecha de emisión : 29/05/2018

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

|                               |                                                                                 |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Solicitante</b>            | : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN                                                     |
| <b>Tesis</b>                  | : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar |
| <b>Ubicación</b>              | : Piura                                                                         |
| <b>Muestreo realizado por</b> | : El solicitante                                                                |
| <b>Procedencia</b>            | : 93% de suelo natural + 2% de cemento + 5% de 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               | 15.7 | 15.7        | 15.7 |
| Densidad seca antes de sumergirlos en agua | 1.40 | 1.53        | 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          | 45    | 85    | 117   |
| C.B.R. corregido a 0.2" de penetración          | 40    | 73    | 113   |
| Cantidad de sobrecarga                          | 10 lb | 10 lb | 10 lb |

**Observaciones:**

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

*Gaby Ruiz Petrosi*  
Gaby Ruiz Petrosi  
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

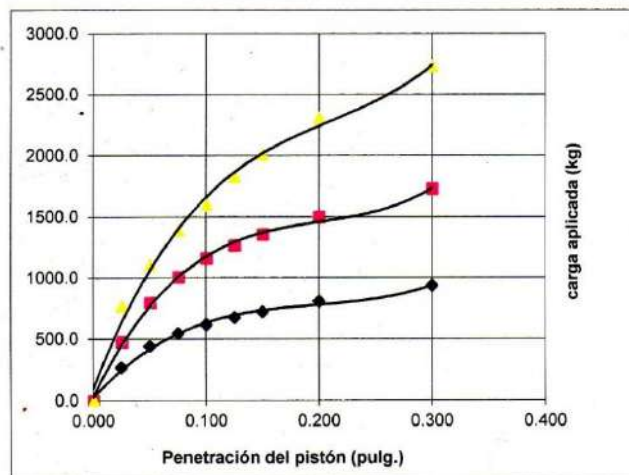
Orden de servicio N° : 21400  
Informe N° : 191435  
Clasificación visual : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 28/05/2018  
Fecha de emisión : 29/05/2018

Hoja 2 de 2

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

|                        |                                                                       |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Solicitante            | : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN                                           |
| Obra                   | : Estabilización de suelos areno-limosos con ceniza de caña de azúcar |
| Ubicación              | : Piura                                                               |
| Muestreo realizado por | : El solicitante                                                      |
| Procedencia            | : 93% de suelo natural + 2% de cemento + 5% de ceniza                 |

|             | Especimen # 1     |       |                   |        | Especimen # 2     |        |                   |        | Especimen # 3     |        |                   |        |
|-------------|-------------------|-------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|-------------------|--------|
|             | Molde #X1-10golp. |       | Molde #X2-25golp. |        | Molde #X3-56golp. |        | Molde #X3-56golp. |        | Molde #X3-56golp. |        | 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       | 0.1180            | 267.9 |                   |        | 0.2140            | 474.6  |                   |        | 0.3480            | 763.3  |                   |        |
| 0.050       | 0.1980            | 440.2 |                   |        | 0.3620            | 793.4  |                   |        | 0.5040            | 1099.3 |                   |        |
| 0.075       | 0.2480            | 543.6 |                   |        | 0.4600            | 1004.5 |                   |        | 0.6360            | 1383.6 |                   |        |
| 0.100       | 0.2800            | 616.8 | 616.8             | 45     | 0.5320            | 1159.6 | 1159.6            | 85     | 0.7340            | 1594.7 | 1594.7            | 117    |
| 0.125       | 0.3080            | 672.8 |                   |        | 0.5800            | 1263.0 |                   |        | 0.8400            | 1823.0 |                   |        |
| 0.150       | 0.3280            | 720.2 |                   |        | 0.6220            | 1353.4 |                   |        | 0.9240            | 2003.9 |                   |        |
| 0.200       | 0.3680            | 806.3 | 806.3             | 40     | 0.6880            | 1495.6 | 1495.6            | 73     | 1.0640            | 2305.4 | 2305.4            | 113    |
| 0.300       | 0.4280            | 935.6 |                   |        | 0.7960            | 1728.2 |                   |        | 1.2620            | 2731.9 |                   |        |



*Gaby Ruiz Palomares*  
Gaby Ruiz Palomares  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable

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° : 21400  
Informe N° : 191436  
Clasificación AASTHO : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 11/06/2018  
Fecha de emisión : 11/06/2018

Hoja 1 de 2

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

|                        |                                                                                 |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Solicitante            | : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN                                                     |
| Tesis                  | : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar |
| Ubicación              | : Piura                                                                         |
| Muestreo realizado por | : El solicitante                                                                |
| Procedencia            | : 93% de suelo natural + 2% de cemento + 5% de 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               | 16.0 | 16.0             | 16.0 |
| Densidad seca antes de sumergirlos en agua | 1.41 | 1.53             | 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          | 37    | 80    | 109   |
| C.B.R. corregido a 0.2" de penetración          | 34    | 73    | 105   |
| Cantidad de sobrecarga                          | 10 lb | 10 lb | 10 lb |

**Observaciones:**

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

*Gaby Ruiz Patro*  
Gaby Ruiz Patro  
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

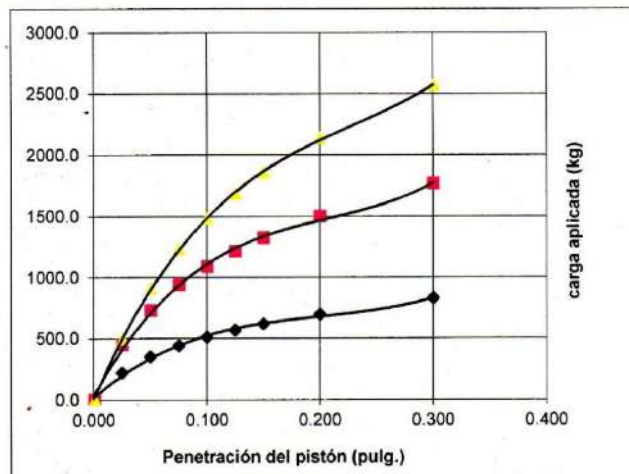
Orden de servicio N° : 21400  
Informe N° : 191436  
Clasificación visual : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 11/06/2018  
Fecha de emisión : 11/06/2018

Hoja 2 de 2

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : MERCEDES LUCIA NEYRA LEÓN  
Obra : Estabilización de suelos areno-limosos con ceniza de caña de azúcar  
Ubicación : Piura  
Muestreo realizado por : El solicitante  
Procedencia : 93% de suelo natural + 2% de cemento + 5% de ceniza

| Penetración | Especimen # 1     |           |                   |           | Especimen # 2     |           |                   |           | Especimen # 3     |           |                   |           |
|-------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|
|             | Molde #X1-10golp. |           | Molde #X2-25golp. |           | Molde #X3-56golp. |           | Molde #X3-56golp. |           | Molde #X3-56golp. |           | Molde #X3-56golp. |           |
|             | sin corregir      | corregido | sin corregir      | corregido | sin corregir      | corregido | sin corregir      | corregido | sin corregir      | corregido | sin corregir      | corregido |
|             | lect. dial        | carga     | lect. dial        | carga     | lect. dial        | carga     | lect. dial        | carga     | lect. dial        | carga     | lect. dial        | carga     |
| pulgadas    | mm.               | kg        | mm.               | kg        | mm.               | kg        | mm.               | kg        | mm.               | kg        | mm.               | kg        |
| 0.000       | 0.0000            | 0.0       | 0.0000            | 0.0       | 0.0000            | 0.0       | 0.0000            | 0.0       | 0.0000            | 0.0       | 0.0000            | 0.0       |
| 0.025       | 0.0960            | 220.5     | 0.0202            | 448.8     | 0.0224            | 496.2     | 0.0224            | 496.2     | 0.0224            | 496.2     | 0.0224            | 496.2     |
| 0.050       | 0.1560            | 349.7     | 0.0320            | 728.8     | 0.0414            | 905.4     | 0.0414            | 905.4     | 0.0414            | 905.4     | 0.0414            | 905.4     |
| 0.075       | 0.1980            | 440.2     | 0.0428            | 935.6     | 0.0564            | 1228.5    | 0.0564            | 1228.5    | 0.0564            | 1228.5    | 0.0564            | 1228.5    |
| 0.100       | 0.2300            | 509.1     | 0.0498            | 1086.3    | 0.0682            | 1482.7    | 0.0682            | 1482.7    | 0.0682            | 1482.7    | 0.0682            | 1482.7    |
| 0.125       | 0.2560            | 565.1     | 0.0556            | 1211.3    | 0.0774            | 1680.8    | 0.0774            | 1680.8    | 0.0774            | 1680.8    | 0.0774            | 1680.8    |
| 0.150       | 0.2800            | 616.8     | 0.0608            | 1323.3    | 0.0854            | 1853.1    | 0.0854            | 1853.1    | 0.0854            | 1853.1    | 0.0854            | 1853.1    |
| 0.200       | 0.3160            | 694.3     | 0.0690            | 1499.9    | 0.0986            | 2137.4    | 0.0986            | 2137.4    | 0.0986            | 2137.4    | 0.0986            | 2137.4    |
| 0.300       | 0.3780            | 827.9     | 0.0814            | 1767.0    | 0.1860            | 2568.2    | 0.1860            | 2568.2    | 0.1860            | 2568.2    | 0.1860            | 2568.2    |



*Gaby Ruiz Petrozzi*  
Gaby Ruiz Petrozzi  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable

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° : 21400  
Informe N° : 191437

Hoja 1 de 2

Clasificación AASTHO : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 28/05/2018  
Fecha de emisión : 29/05/2018

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

|                        |                                                                                 |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Solicitante            | : MERCEDES LUCIA NEYRA LEÓN                                                     |
| Tesis                  | : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar |
| Ubicación              | : Piura                                                                         |
| Muestreo realizado por | : El solicitante                                                                |
| Procedencia            | : 88% de suelo natural + 2% de cemento + 10% de 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               | 20.0        | 20.0 | 20.0 |
| Densidad seca antes de sumergirlos en agua | 1.15        | 1.27 | 1.41 |
| 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          | 24    | 51    | 96    |
| C.B.R. corregido a 0.2" de penetración          | 23    | 42    | 84    |
| Cantidad de sobrecarga                          | 10 lb | 10 lb | 10 lb |

**Observaciones:**

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

*Gaby Ruiz Petrozzi*  
Gaby Ruiz Petrozzi  
Ingeniero Civil  
CIP 469423  
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

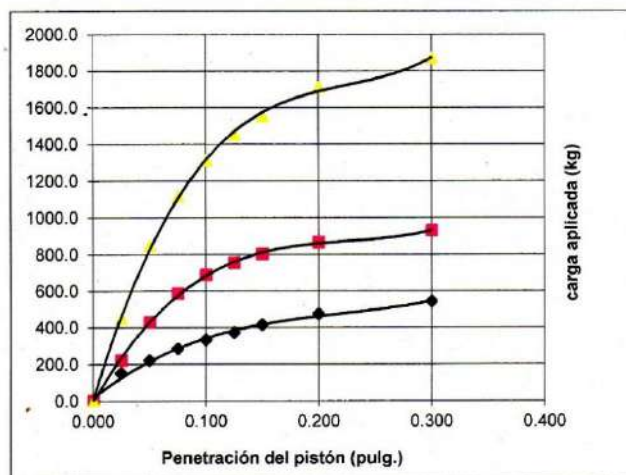
Orden de servicio N° : 21400  
Informe N° : 191437  
Clasificación visual : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 28/05/2018  
Fecha de emisión : 29/05/2018

Hoja 2 de 2

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN  
Obra : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar  
Ubicación : Piura  
Muestreo realizado por : El solicitante  
Procedencia : 88% de suelo natural + 2% de cemento + 10% de ceniza

|             | Especimen # 1     |           |                   |           | Especimen # 2     |           |              |           | Especimen # 3 |           |              |           |
|-------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|-------------------|-----------|--------------|-----------|---------------|-----------|--------------|-----------|
|             | Molde #X1-10golp. |           | Molde #X2-25golp. |           | Molde #X3-56golp. |           |              |           |               |           |              |           |
|             | sin corregir      | corregido | sin corregir      | corregido | sin corregir      | corregido | 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       | 0.0640            | 151.6     |                   |           | 0.0960            | 220.5     |              |           | 0.2020        | 448.8     |              |           |
| 0.050       | 0.0960            | 220.5     |                   |           | 0.1920            | 427.3     |              |           | 0.3860        | 845.1     |              |           |
| 0.075       | 0.1260            | 285.1     |                   |           | 0.2660            | 586.6     |              |           | 0.5120        | 1116.5    |              |           |
| 0.100       | 0.1480            | 332.5     | 332.5             | 24        | 0.3140            | 690.0     | 690          | 51        | 0.6020        | 1310.3    | 1310.3       | 96        |
| 0.125       | 0.1660            | 371.3     |                   |           | 0.3440            | 754.6     |              |           | 0.6680        | 1452.5    |              |           |
| 0.150       | 0.1860            | 414.3     |                   |           | 0.3660            | 802.0     |              |           | 0.7140        | 1551.6    |              |           |
| 0.200       | 0.2140            | 474.6     | 474.6             | 23        | 0.3960            | 866.6     | 866.6        | 42        | 0.7880        | 1711.0    | 1711         | 84        |
| 0.300       | 0.2460            | 543.6     |                   |           | 0.4260            | 931.3     |              |           | 0.8620        | 1870.4    |              |           |



*Gaby Ruiz Petro*  
Gaby Ruiz Petro  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable

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° : 21400  
Informe N° : 191438

Hoja 1 de 2

Clasificación AASTHO : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 28/05/2018  
Fecha de emisión : 29/05/2018

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

|                        |                                                                                 |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Solicitante            | : MERCEDES LUCIA NEYRA LEÓN                                                     |
| Tesis                  | : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar |
| Ubicación              | : Piura                                                                         |
| Muestreo realizado por | : El solicitante                                                                |
| Procedencia            | : 88% de suelo natural + 2% de cemento + 10% de ceniza                          |

**Condiciones iniciales del ensayo:**

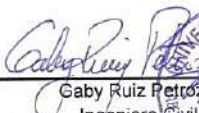
| Especimen                                  | # 1              | # 2  | # 3  |
|--------------------------------------------|------------------|------|------|
| Método de preparación y compactación       | Húmedo           |      |      |
| Condición al momento de ensayarlos         | Remojados 4 días |      |      |
| % de humedad de compactación               | 20.7             | 20.7 | 20.7 |
| Densidad seca antes de sumergirlos en agua | 1.17             | 1.28 | 1.42 |
| 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          | 24    | 45    | 70    |
| C.B.R. corregido a 0.2" de penetración          | 23    | 43    | 66    |
| Cantidad de sobrecarga                          | 10 lb | 10 lb | 10 lb |

**Observaciones:**

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

  
Gaby Ruiz Petrozzi E.M.C.  
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° : 21400  
Informe N° : 191438

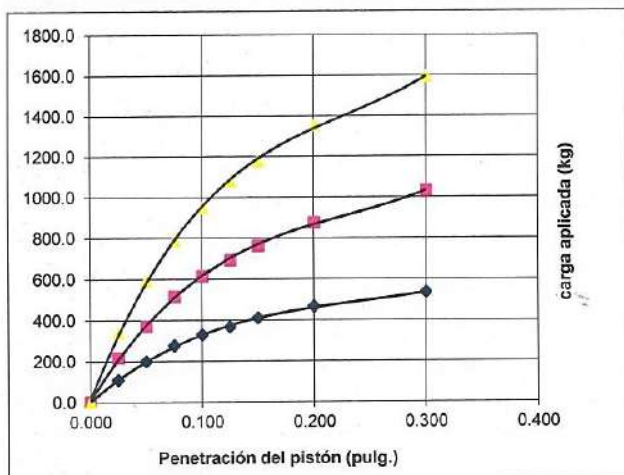
Hoja 2 de 2

Clasificación visual : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 28/05/2018  
Fecha de emisión : 29/05/2018

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN  
Obra : Estabilización de suelos areno-limosos con ceniza de caña de azúcar  
Ubicación : Piura  
Muestreo realizado por : El solicitante  
Procedencia : 88% de suelo natural + 2% de cemento + 10% de ceniza

|             | Especimen # 1 |       |           |        | Especimen # 2 |        |           |        | Especimen # 3 |        |           |        |
|-------------|---------------|-------|-----------|--------|---------------|--------|-----------|--------|---------------|--------|-----------|--------|
|             | 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       | 0.0440        | 108.5 |           |        | 0.0940        | 216.2  |           |        | 0.1500        | 336.8  |           |        |
| 0.050       | 0.0860        | 198.9 |           |        | 0.1660        | 371.3  |           |        | 0.2680        | 591.0  |           |        |
| 0.075       | 0.1220        | 276.5 |           |        | 0.2340        | 517.7  |           |        | 0.3600        | 789.1  |           |        |
| 0.100       | 0.1460        | 328.2 | 328.2     | 24     | 0.2800        | 616.8  | 616.8     | 45     | 0.4340        | 948.5  | 948.5     | 70     |
| 0.125       | 0.1640        | 366.9 |           |        | 0.3160        | 694.3  |           |        | 0.4940        | 1077.7 |           |        |
| 0.150       | 0.1840        | 410.0 |           |        | 0.3480        | 763.3  |           |        | 0.5400        | 1176.8 |           |        |
| 0.200       | 0.2100        | 466.0 | 466       | 23     | 0.4000        | 875.3  | 875.3     | 43     | 0.6220        | 1353.4 | 1353.4    | 66     |
| 0.300       | 0.2420        | 535.0 |           |        | 0.4720        | 1030.3 |           |        | 0.7340        | 1594.7 |           |        |



*Gaby Ruiz Petrozzi*  
Gaby Ruiz Petrozzi  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable

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° : 21400  
Informe N° : 191439  
Clasificación AASTHO : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 04/06/2018  
Fecha de emisión : 05/06/2018

Hoja 1 de 2

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

|                        |                                                                                 |
|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| Solicitante            | : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN                                                     |
| Tesis                  | : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar |
| Ubicación              | : Piura                                                                         |
| Muestreo realizado por | : El solicitante                                                                |
| Procedencia            | : 83% de suelo natural + 2% de cemento + 15% de 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               | 24.9             | 24.9 | 24.9 |
| Densidad seca antes de sumergirlos en agua | 0.97             | 1.10 | 1.22 |
| 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          | 13    | 21    | 43    |
| C.B.R. corregido a 0.2" de penetración          | 13    | 24    | 44    |
| Cantidad de sobrecarga                          | 10 lb | 10 lb | 10 lb |

**Observaciones:**

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

*Gaby Ruiz Petrozzi*  
Gaby Ruiz Petrozzi, M.C.  
Ingeniera 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

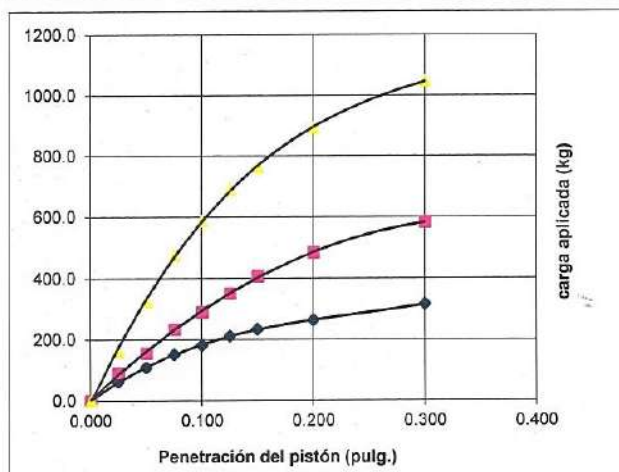
Orden de servicio N° : 21400  
Informe N° : 191439  
Clasificación visual : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 04/06/2018  
Fecha de emisión : 05/06/2018

Hoja 2 de 2

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN  
Obra : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar  
Ubicación : Piura  
Muestreo realizado por : El solicitante  
Procedencia : 83% de suelo natural + 2% de cemento + 15% de ceniza

|             | Especimen # 1 |       |           |        | Especimen # 2 |       |           |        | Especimen # 3 |        |           |        |
|-------------|---------------|-------|-----------|--------|---------------|-------|-----------|--------|---------------|--------|-----------|--------|
|             | 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       | 0.0220        | 61.1  |           |        | 0.0360        | 91.3  |           |        | 0.0680        | 160.2  |           |        |
| 0.050       | 0.0440        | 108.5 |           |        | 0.0660        | 155.9 |           |        | 0.1440        | 323.9  |           |        |
| 0.075       | 0.0640        | 151.6 |           |        | 0.1020        | 233.4 |           |        | 0.2140        | 474.6  |           |        |
| 0.100       | 0.0780        | 181.7 | 181.7     | 13     | 0.1280        | 289.4 | 289.4     | 21     | 0.2660        | 586.6  | 586.6     | 43     |
| 0.125       | 0.0920        | 211.9 |           |        | 0.1560        | 349.7 |           |        | 0.3140        | 690.0  |           |        |
| 0.150       | 0.1020        | 233.4 |           |        | 0.1820        | 405.7 |           |        | 0.3480        | 763.3  |           |        |
| 0.200       | 0.1160        | 263.6 | 263.6     | 13     | 0.2180        | 483.3 | 483.3     | 24     | 0.4080        | 892.5  | 892.5     | 44     |
| 0.300       | 0.1400        | 315.3 |           |        | 0.2640        | 582.3 |           |        | 0.4800        | 1047.6 |           |        |



*Gaby Ruiz Petrozzi*  
Gaby Ruiz Petrozzi  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable

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° : 191440

Hoja 1 de 2

Clasificación AASTHO : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 13/06/2018  
Fecha de emisión : 13/06/2018

**EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:**

|                               |                                                                                 |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Solicitante</b>            | : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN                                                     |
| <b>Tesis</b>                  | : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar |
| <b>Ubicación</b>              | : Piura                                                                         |
| <b>Muestreo realizado por</b> | : El solicitante                                                                |
| <b>Procedencia</b>            | : 83% de suelo natural + 2% de cemento + 15% de 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               | 24.9        | 24.9 | 24.9 |
| Densidad seca antes de sumergirlos en agua | 1.00        | 1.13 | 1.23 |
| 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          | 19    | 30    | 49    |
| C.B.R. corregido a 0.2" de penetración          | 19    | 31    | 50    |
| Cantidad de sobrecarga                          | 10 lb | 10 lb | 10 lb |

**Observaciones:**

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

*Gaby Ruiz Pétroz*  
Gaby Ruiz Pétroz M.C.  
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

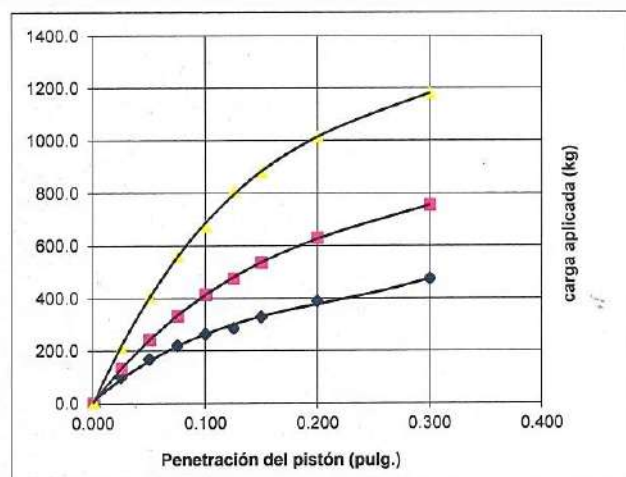
Orden de servicio N° : 21401  
Informe N° : 191440  
Clasificación visual : A-4 (0)  
Fecha de ensayo : 13/06/2018  
Fecha de emisión : 13/06/2018

Hoja 2 de 2

EL SOLICITANTE DECLARA COMO CIERTA LA SIGUIENTE INFORMACIÓN:

Solicitante : MERCEDES LUCÍA NEYRA LEÓN  
Obra : Estabilización de suelos areno-limosos con cemento y ceniza de caña de azúcar  
Ubicación : Piura  
Muestreo realizado por : El solicitante  
Procedencia : 83% de suelo natural + 2% de cemento + 15% de ceniza

| Penetración | Especimen # 1 |       |                             |        | Especimen # 2 |       |                             |        | Especimen # 3 |        |                             |        |
|-------------|---------------|-------|-----------------------------|--------|---------------|-------|-----------------------------|--------|---------------|--------|-----------------------------|--------|
|             | sin corregir  |       | Moide #X1-10golp. corregido |        | sin corregir  |       | Moide #X2-25golp. corregido |        | sin corregir  |        | Moide #X3-56golp. corregido |        |
|             | 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       | 0.0400        | 99.9  |                             |        | 0.0560        | 134.3 |                             |        | 0.0920        | 211.9  |                             |        |
| 0.050       | 0.0720        | 168.8 |                             |        | 0.1060        | 242.0 |                             |        | 0.1820        | 405.7  |                             |        |
| 0.075       | 0.0960        | 220.5 |                             |        | 0.1480        | 332.5 |                             |        | 0.2540        | 560.8  |                             |        |
| 0.100       | 0.1160        | 263.6 | 263.6                       | 19     | 0.1860        | 414.3 | 414.3                       | 30     | 0.3060        | 672.8  | 672.8                       | 49     |
| 0.125       | 0.1260        | 285.1 |                             |        | 0.2140        | 474.6 |                             |        | 0.3680        | 806.3  |                             |        |
| 0.150       | 0.1460        | 328.2 |                             |        | 0.2420        | 535.0 |                             |        | 0.4020        | 879.6  |                             |        |
| 0.200       | 0.1740        | 388.5 | 388.5                       | 19     | 0.2860        | 629.7 | 629.7                       | 31     | 0.4640        | 1013.1 | 1013.1                      | 50     |
| 0.300       | 0.2140        | 474.6 |                             |        | 0.3440        | 754.6 |                             |        | 0.5420        | 1181.1 |                             |        |



*Gaby Ruiz Petrozzi*  
Gaby Ruiz Petrozzi  
Ingeniero Civil  
CIP 46912  
Responsable

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.