



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**“Mejoramiento de la Subrasante Adicionando Ceniza de Cebada  
para el Acceso al Vertedero de la Provincia de Andahuaylas  
Apurímac – 2021”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**AUTORES:**

Alegría Acuña Eddison Ronald (**ORCID:** [0000-0002-8461-8427](https://orcid.org/0000-0002-8461-8427))

Lago Gonzales Kenedy Jefferson (**ORCID:** [0000-0001-6901-8725](https://orcid.org/0000-0001-6901-8725))

**ASESOR:**

Mg. Sigüenza Abanto, Robert Wilfredo (**ORCID:** [0000-0001-8850-8463](https://orcid.org/0000-0001-8850-8463))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

**LIMA – PERÚ**

**2021**

## **Dedicatoria**

Agradezco a dios por darme un día más de vida, por la bendición de mi familia y mis seres queridos, y sobre todo por mantenerme bien de salud, más aún en estos tiempos de pandemia. En especial, a mi hija Briana, por ser mi motivo y fuerza de cada día para lograr mis objetivos.

*Lago Gonzales Kenedy Jefferson*

Agradezco a dios, nuestro creador, por darme la vida y guiarme en todo el recorrido a alcanzar mis metas. Y a mi familia, en especial a mis padres, por estar presentes siempre con su apoyo incondicional.

*Alegría Acuña Eddison Ronald*

## **Agradecimiento**

A nuestro asesor Mg. Sigüenza Abanto, Robert Wilfredo, por brindarnos el apoyo y las pautas durante todo el proceso de la elaboración del presente trabajo. A nuestros padres y amigos, por apoyarnos con sus consejos y alentarnos para culminar este proyecto. A la Universidad César Vallejo, por brindarnos la oportunidad y el apoyo para concluir nuestra carrera profesional.

*Lago Gonzales Kenedy Jefferson*

Al Mg. Sigüenza Abanto, Robert Wilfredo, por orientarnos en todo el transcurso de este proyecto y darnos las herramientas necesarias para llevarlo a cabo. A mi familia y amigos por motivarnos con su apoyo en las buenas y en las malas, y a todos lo que colaboraron en el presente estudio. Así mismo, a la Universidad César Vallejo, por darnos la oportunidad de alcanzar nuestro tan anhelado título.

*Alegría Acuña Eddison Ronald.*

## INDICE

I. DEDICATORIA .....	II
AGRADECIMIENTO .....	III
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT.....	VIII
I. INTRODUCCIÓN .....	9
II. MARCO TEÓRICO .....	14
III. METODOLOGÍA.....	32
3.1 Tipo y Diseño de Investigación .....	32
3.2 Variables y operacional .....	33
3.3 Población Muestra y Muestreo.....	33
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	34
3.5 Procedimientos.....	36
3.6 Método de análisis de datos.....	37
3.7 Aspectos éticos .....	37
IV. RESULTADOS .....	39
V. DISCUSIÓN .....	63
VI. CONCLUSIONES .....	64
VII. RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS.....	66
ANEXOS .....	9

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Dimensiones e instrumentos.</i> .....	35
Tabla 2. <i>Ubicación de calicatas.</i> .....	41
Tabla 3. <i>Resultados de humedad c-1.</i> .....	42
Tabla 4. <i>Resultados de humedad c-2.</i> .....	43
Tabla 5. <i>Tamizado c-01.</i> .....	45
Tabla 6. <i>Tamizado c-02.</i> .....	46
Tabla 7. <i>Clasificación sucs – asstho c-1.</i> .....	47
Tabla 8. <i>Clasificación sucs – asstho c-2.</i> .....	48
Tabla 9. <i>Límites líquido – límite plástico c-01.</i> .....	50
Tabla 10. <i>Límites líquido – límite plástico c-02.</i> .....	51
Tabla 11. <i>Proctor modificado c-01.</i> .....	54
Tabla 12. <i>Proctor modificado c-02.</i> .....	55
Tabla 13. <i>Penetración c-01.</i> .....	57
Tabla 14. <i>Penetración c-02.</i> .....	58
Tabla 15. <i>Resultados de clasificación de suelo con 8% de ceniza de cebada c-01</i> 59	
Tabla 16. <i>Resultados de clasificación de suelo con 8% de ceniza de cebada c-02.</i> 60	
Tabla 17. <i>Comparación de proctor modificado 8% con ceniza de cebada.</i> .....	60
Tabla 18. <i>Resultado de cbr al 95%.</i> .....	61
Tabla 19. <i>Resultado de cbr al 100%.</i> .....	61

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Ubicación de la región de apurímac y el Perú.....	39
<i>Figura 2.</i> Departamento de apurímac y provincias. ....	39
<i>Figura 3.</i> Mapa de la provincia de andahuaylas.....	40
<i>Figura 4.</i> Ubicación geográfica del provincia de andahuaylas.....	41
<i>Figura 5.</i> Humedad c-01.....	43
<i>Figura 6.</i> Humedad c-02.....	44
<i>Figura 7.</i> Humedad c-02.....	46
<i>Figura 8.</i> Humedad c-02.....	47
<i>Figura 9.</i> Clasificación sucs – asstho c-1. ....	48
<i>Figura 10.</i> Clasificación sucs – asstho c-2. ....	49
<i>Figura 11.</i> Límites líquido – límite plástico c-01. ....	51
<i>Figura 12.</i> Límites líquido – límite plástico c-01. ....	52
<i>Figura 13.</i> Curva de densidad c-01. ....	55
<i>Figura 14.</i> Curva de densidad c-02. ....	56
<i>Figura 15.</i> Cbr c-01.....	58
<i>Figura 16.</i> Esfuerzo a la penetración.....	58
<i>Figura 17.</i> Cbr c-02.....	59
<i>Figura 18.</i> Esfuerzo a la penetración.....	59
<i>Figura 19.</i> Humedad-densidad con 8% ceniza de cebada c-01. ....	60
<i>Figura 20.</i> Humedad-densidad con 8% ceniza de cebada c-02. ....	61

## Resumen

La presente investigación lleva como título “Mejoramiento de la subrasante adicionando ceniza de cebada para el acceso al vertedero de la provincia de Andahuaylas Apurímac 2021”, donde se buscó el mejoramiento de la subrasante mediante la aplicación de la ceniza de cebada, donde se trabajó con diferentes porcentajes de esta para realizar el cálculo. La investigación es de tipo aplicada, el nivel es explicativo, el diseño es experimental y el enfoque es cuantitativo. El objeto de estudio fue el Acceso al Vertedero de la Provincia de Andahuaylas, Apurímac, y el muestreo es no probabilístico.

En la vía de acceso a dicho vertedero se realizaron 2 calicatas, en las que se obtuvo 2 tipos de suelo: el suelo Arena limoso y el suelo limoso inorgánico, que está ubicada de C-1 00+050, donde se pudo encontrar la muestra de suelo Arena limoso en una profundidad de 1.50m y se pudo encontrar una muestra de suelo limo inorgánico con una profundidad de 2m. Dicha vía se usa a diario por el ingreso y salida de vehículos que llevan desechos de basura y productos reciclables.

Para alcanzar resultados confiables, se utilizaron ensayos que están normados y estandarizados de acuerdo con la norma MTC, los cuales son: análisis granulométrico por tamizado, límite líquido, contenido de humedad, ensayo Proctor modificado y el ensayo CBR. En base a los resultados, se concluyó que el porcentaje óptimo de la ceniza de cebada al aplicar los porcentajes para estabilizar la subrasante es de 8% respecto al suelo limoso inorgánico. Se determina que cuando se le agrega el 8% de ceniza de cebada al suelo limoso, esta mejora sus características físico-mecánicas.

**Palabras clave:** Subrasante, ceniza de cebada, estabilización.

## **Abstract**

The title of this research is "Improvement of the subgrade by adding barley ash for access to the landfill in the province of Andahuaylas Apurímac 2021", where the improvement of the subgrade was sought by applying barley ash, where it was worked with different percentages of this to perform the calculation. The research is of an applicative type, the level is explanatory, the design is experimental and the approach is quantitative. The object of study was the Access to the Landfill of the Province of Andahuaylas, Apurímac, and the sampling is non-probabilistic.

In the access road to said landfill, 2 pits were made, in which 2 types of soil were obtained: sandy soil and inorganic silty soil, which is located at C-1 00 + 050, where the sample of sandy soil at a depth of 1.50m and a sample of inorganic silty soil with a depth of 2m was found. This road is used daily by the entry and exit of vehicles that carry garbage waste and recyclable products.

To achieve reliable results, tests that are normed and standardized according to the MTC standard were used, which are: sieve granulometric analysis, liquid limit, moisture content, modified Proctor test and the CBR test. Based on the results, it was concluded that the optimal percentage of barley ash when applying the percentages to stabilize the subgrade is 8% with respect to the inorganic silty soil. It is determined that when 8% barley ash is added to the silty soil, it improves its physical-mechanical characteristics.

**Keywords:** Subgrade, barley ash, stabilization.



## I. INTRODUCCIÓN

El Vertedero de la Provincia Andahuaylas, departamento de Apurímac, presta un importante servicio a las comunidades aledañas permitiendo el depósito y procesado de desechos sólidos para que funcione el vital servicio de Aseo Urbano. El acceso a ese lugar tiene una vía de acceso no pavimentada por la que entran y salen diariamente más de 20 camiones pesados, con una frecuencia mínima de 4 veces cada uno, lo que implica un nivel de uso de la vía relativamente alto. La flexibilidad del suelo, el peso y los diferentes líquidos que diariamente se vierten sobre la vía afectan la superficie y aumentan las actividades de mantenimiento.

Se debe garantizar una infraestructura vial óptima para esta vía y eso "El objetivo de este trabajo de investigación es evaluar el uso de los residuos de granos en la tierra mientras se dirige al relleno sanitario de la región de Apurímac para lograr una condición predominante de CBR, la economía y el bienestar. El objetivo de este trabajo de investigación es evaluar el uso de los residuos de granos en la tierra mientras se dirige al vertedero de la zona de Apurímac para lograr una condición predominante de CBR, la economía y el bienestar".

La presente investigación se justifica en la medida en que el acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Departamento Apurímac, es una vía no pavimentada, debe ser tratada para mejorar sus caracterices.

Se justifica técnicamente por ser ésta, una vía de acceso a un vertedero y que garantiza un camino que cuente con condiciones mínimas de transitividad diaria para que funcione el servicio de aseo urbano. Económicamente se justifica por reducir los costos de mantenimiento ya que una estabilización con la ceniza de cebada reduce la periodicidad del mantenimiento. Ambientalmente se justifica ya que la estabilización supone una mayor disponibilidad de la vía para garantizar el funcionamiento del servicio de aseo urbano y permitir el ingreso y salida de maquinaria para el tratamiento de los desechos sólidos. Esto último permitirá un mejor procesamiento de los desechos sólidos para conseguir una menor afectación de ambiente y de las personas en los alrededores.

Los Objetivos establecidos en la exploración adjunta son los siguientes:

Determinar las cantidades de la ceniza de cebada que se deben aplicar para estabilizar la subrasante de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021.

Asimismo, determinar de qué manera la aplicación de la ceniza de cebada mejoran la flexibilidad de la subrasante de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac 2021.

Establecer de qué manera la aplicación de la ceniza de cebada mejoran la compactación de la subrasante de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021 e identificar de qué manera la aplicación de la ceniza de cebada mejoran la resistencia del suelo de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021.

La presente investigación desarrolla las siguientes hipótesis: La aplicación de la ceniza de cebada mejoran la estabilidad de la subrasante de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac 2021, asimismo, que la aplicación de la ceniza de cebada mejoran la flexibilidad de la subrasante de la vía de acceso al vertedero, la aplicación de la ceniza de cebada mejoran la compactación de la subrasante de la vía de acceso al vertedero y la aplicación de la ceniza de cebada mejoran la resistencia del suelo de la vía de acceso al vertedero.

## **Formulación del problema**

### **Problema general**

¿Qué cantidad de ceniza de cebada se debe aplicar para estabilizar la subrasante de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021?

### **Problemas Específicos**

¿De qué forma se utilizará la ceniza de cebada mejorar la plasticidad de la subrasante de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021?

¿De qué forma se utilizará la ceniza de cebada mejorar la compactación de la subrasante de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021?

¿De qué forma se utilizará la ceniza de cebada mejorar la resistencia del suelo de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021?

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Determinar la cantidad de ceniza de cebada que se debe aplicar para estabilizar de la subrasante de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021.

### **Objetivos específicos**

Determinar de qué manera la aplicación de ceniza de cebada mejora la plasticidad de la subrasante de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021.

Determinar de qué manera la aplicación de ceniza de cebada mejora la compactación de la subrasante de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021.

Determinar de qué manera la aplicación de ceniza de cebada mejora la resistencia del suelo de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021.

## **Hipótesis**

### **Hipótesis General**

La aplicación de ceniza de cebada perfeccionar la estabilidad de la de la subrasante de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021.

### **Hipótesis específicas**

La aplicación de ceniza de cebada mejora la plasticidad de la subrasante de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021.

La aplicación de ceniza de cebada mejora la compactación de la subrasante de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021.

La aplicación de ceniza de cebada mejora la resistencia del suelo de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021.

## **Justificación**

Una vía no pavimentada, que tiene un suelo con alta flexibilidad, es una dificultad debe ser tratado para mejorar sus propiedades.

### **Justificación técnica**

Al ser esta una vía de acceso a un vertedero, se justifica garantizar un camino que cuente con condiciones mínimas de transitabilidad diaria para que funcione el servicio de aseo urbano.

### **Justificación económica**

Se justifica este trabajo para reducir los costos de mantenimiento ya que una estabilización con ceniza de cebada mejora y reduce la periodicidad del

mantenimiento y el gasto que implica usar otros materiales como la cal y el aceite sulfatado y otros.

### **Justificación ambiental**

Por una parte, la estabilización supone una mayor disponibilidad de la vía para garantizar el funcionamiento del servicio de aseo urbano y permitir el ingreso y salida de maquinaria para el tratamiento de los desechos sólidos. Esto último permitirá un mejor procesamiento de los desechos sólidos para conseguir una menor afectación de ambiente y de las personas en los alrededores.

Por otro lado, el uso de la ceniza de cebada implica aprovechar un material que actualmente se desecha o considera basura.

## II. MARCO TEÓRICO

### Antecedentes

#### Antecedentes Internacionales

Ospina y otros (2021) realizaron un trabajo de investigación titulado: “Mejoramiento de subrasantes de tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero”, donde tuvieron como objetivo evaluar el comportamiento de mezclas de suelo arcilloso mediante la adición de escoria de acero, comparando con los criterios de calidad para ser una subrasante vial. La presente investigación es de tipo experimental cuantitativo y se desarrolló en tres fases: caracterización de materiales, plan de dosificación, y ensayos de laboratorio y análisis de resultados. Los resultados indican que la escoria de acería funciona en materiales cohesivos, reduciendo la plasticidad hasta un 0%, y aumentando el valor del California Bearing Ratio, CBR, en un 378.92%. Concluyendo que la escoria de acero, es un excelente complemento para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante de arcilla caolinita. En una primera aproximación, la dosificación más recomendada es de un 25%, debido a que la disminución en la resistencia a la compresión e índice de plasticidad no fue tan alta como en las otras dosificaciones, pero sí aumenta el índice CBR y la densidad.

Caamaño (2016), en su investigación titulada: “Mejoramiento de un suelo blando de subrasante mediante la adición de cascarilla de arroz y su efecto en el módulo resiliente”, tuvo por objetivo mejorar las propiedades físicas y geomecánicas de un suelo blando de subrasante con ceniza de cascarilla de arroz, traducido en la optimización de su comportamiento mecánico. Siendo de tipo experimental, y la muestra establecida para el análisis corresponde a un suelo de subrasante blando, el cual fue modificado porcentajes de ceniza de cascarilla de arroz variables entre el 0% y el 6%, con el fin de analizar su efecto en el comportamiento físico y geomecánico del material. Obteniendo como resultados que el residuo agroindustrial genera un gran aporte en la resistencia inconfiada del material, aumentando esta variable en más de un 100% para el 4% de adición de ceniza de cascarilla de arroz en comparación con el obtenido en condiciones iniciales. Esto indica que la CCA provoca un efecto cementante en el suelo de subrasante debido

sus propiedades puzolánicas, lo que induce a un incremento de la resistencia del material. El efecto de la ceniza de cascarilla de arroz en el módulo resiliente del material, refleja que este parámetro incrementa con la adición del residuo agroindustrial hasta un 4% para ciertas condiciones que reflejan el estado de esfuerzo de la subrasante bajo la estructura de pavimento (36,8kPa de esfuerzo vertical y 13,8kPa de confinamiento lateral); por arriba de 4% de CCA, el módulo resiliente del material decrece. De los resultados obtenidos, se determina que el porcentaje de adición óptimo de CCA para la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del suelo de subrasante analizado, corresponde al 4% valor en el cual se obtuvo el mayor aporte a las propiedades del suelo. Y llegando a la conclusión de que la ceniza de cascarilla de arroz contribuye a la reducción de la plasticidad, reflejado en la mejora de consistencia y comportamiento físico del material de subrasante, y no se vio una variación en el pH del suelo, lo cual demuestra que la ceniza de cascarilla de arroz no genera un aporte en esta propiedad del suelo. El uso de la CCA para la estabilización y mejoramiento de suelos de blandos de subrasante puede resultar una alternativa económica, sustentable y de impacto positivo para el medio ambiente, de la cual se puede obtener resultados que muestran un beneficio en las condiciones físicas y geomecánicas del suelo.

Lozano y otros (2015), en su trabajo de grado titulado: "Análisis del mejoramiento de un suelo de subrasante con un aditivo orgánico" tuvieron como objetivo establecer las mejoras en resistencia y disminución de la plasticidad que se presentan al aplicar un aditivo orgánico a un suelo de subrasante. Obteniendo como resultados que el análisis inalterado de CBR a dos penetraciones antes de la inmersión fue en promedio de 2.2 y después de la inmersión fue un promedio de CBR de 2.0; cuando se estabilizó el suelo se obtuvo un CBR de 8.8 lo cual mejoró sustancialmente la resistencia del suelo. Se lograron los objetivos con un porcentaje de aditivo del 7,0%. La resistencia en la compresión inconfiada el suelo es estado natural tiene una consistencia blanda, Con el proceso de estabilización su consistencia pasó a ser fuerte, lo que nos indica que el suelo cumple con las condiciones de suelos. Con respecto al peso unitario que sube sigue siendo un peso pobre, en capacidad de la resistencia subió un 12.8% con respecto a la

compresión inconfiada del suelo en condiciones de humedad natural 22%. Así concluyendo que el material aglutinante utilizado para la estabilización cumplió satisfactoriamente con lo exigido, que la densidad aumentó y se obtuvo una humedad óptima. Con aditivo orgánico se puede eliminar o minimizar el uso de costosos triturados, puesto que permite mejorar la calidad de los suelos locales conservando los números estructurales de la AASHTO necesarios para garantizar el desempeño de la carretera durante la vida útil. Se reducen los costos de mantenimiento de las vías al aumentar la capacidad portante de la base y subbase, el aditivo orgánico aumenta las densidades de compactación, reduce la permeabilidad del agua y disminuye la erosión y la pérdida de finos, cataliza un aumento de la resistencia y estabilidad de la base y una reducción en la permeabilidad al agua lo que permite aumentar significativamente la utilización y vida de la costosa capa de rodadura.

### **Antecedentes nacionales**

Vásquez y Marín (2020) en su trabajo de investigación denominado: "Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en Selva Baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto", tuvieron como objetivo evaluar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la modificación de una subrasante de suelo arcilloso, como efecto de la adición en diferentes proporciones de cal como material estabilizante de la mencionada carretera. Donde se trabajó aplicando la norma ASTM 6276 y el Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, y el Manual de Pruebas de Materiales E 118 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, se aplicaron tasas de 0%, 2%, 4%, 6% y 8% de cal, en peso del ensayo de suelo arcilloso separado de la capa de subrasante. Los resultados obtenidos en esta investigación arrojaron variaciones en el índice de plasticidad; en la muestra C-1, se obtuvo un valor inicial de 39.12, dicho valor bajó hasta 22.93 con la adición de cal al 8%; en la muestra C-2 se tuvo un valor inicial de 26.11, el cual bajó hasta 17.17 con la adición de cal al 8%. También se obtuvo una variación considerable en el CBR; en la muestra C-1 se logró alcanzar un valor de 9.35%, al adicionarle cal al 8%, siendo el CBR con cal al 0% de 1.70; en la muestra C-2 se logró alcanzar



un valor de 11.20%, al adicionarle cal al 8%, siendo el CBR con cal al 0% de 3.65. Evaluando los resultados, con los diferentes porcentajes de cal, para el tipo de suelo A-7-6 para ambas muestras C-1 y C-2, se tiene mejores resultados con la adición de 8% de cal con la cual se obtiene el máximo CBR al 95% de máxima densidad seca, que es de 9.35% y 11.20% respectivamente. Y concluyeron que se confirma la hipótesis, ya que con la adición de cal (2%, 4%, 6%, y 8%) se mejoran las propiedades físicas, mecánicas y químicas (límites de Atterberg, la densidad seca máxima y el valor relativo de soporte, pH) entre un 25% a 40%. Los suelos estudiados, son arcillas expansivas, de alta plasticidad, con una capacidad de soporte (CBR) muy pobre, con un contenido de materia orgánica por encima del 3%. El efecto de la cal como estabilizante, demuestra que el índice de plasticidad disminuye conforme se aumenta el porcentaje de cal, mejorando su trabajabilidad.

Silva (2019), realizó un trabajo de investigación titulado: "influencia de la adición de la mezcla ceniza volante de cascarilla de cebada con cal en las propiedades físicas y mecánicas en el suelo de buenos aires Provincia de Victor Larco Herrera - Trujillo -La Libertad-2018", teniendo como objetivo mejorar las propiedades físicas y mecánicas usando como tratamiento la adición de la mezcla de ceniza de cascarilla de cebada con cal, obtenido de la quema industrial; variando el porcentaje de adición. Siendo un estudio de tipo experimental y de diseño experimento puro, para lo que fueron elaboradas 112 muestras con distintos porcentajes desde 0 adición, y en cuanto a la técnica e instrumentos se usó la Guía de observación y el método de análisis de datos Anova. Obteniendo como resultado que el valor-p asociado al ANOVA para los ensayos de las propiedades mecánicas: Corte Directo y Proctor Modificado, con un nivel de confianza de 95%, resultó ser de 0.04, por otro lado en los resultados del ANOVA de todos los ensayos correspondientes a las propiedades físicas, se observa que el valor-p asociado al ANOVA para la granulometría, densidad, absorción, límite líquido y límite plástico con un nivel de confianza de 95%, resultó de 0.04, y para para los ensayos de Corte Directo y Proctor Modificado, lo valores de densidad óptima y CBR aumentan cuando el porcentaje de ceniza volante aumenta hasta el 4%. Concluyendo que la influencia de la adición de la mezcla de la ceniza con cal, mejoró las propiedades Físicas y Mecánicas del suelo, y en específico que el porcentaje óptimo añadido es de 18% de cal con el 4% de

ceniza de cascarilla de cebada en la resistencia al corte directo con 0.76 Kg/cm<sup>2</sup>, que el porcentaje óptimo añadido es de 18% de cal con el 6% de ceniza de cascarilla de cebada en su densidad con 9%, que el porcentaje óptimo añadida es de 18% de cal con el 6% de ceniza de cascarilla de cebada en su capacidad de absorción con 5.10%, que el porcentaje óptimo añadida es de 18% de cal con el 6% de ceniza de cascarilla de cebada en el límite líquido con 15.5% y que el porcentaje óptimo añadida es de 18% de cal con el 6% de ceniza de cascarilla de cebada en el límite plástico con 12.7%.

Gongora (2019) en su tesis titulada: "Influencia de la cal y el cemento portland tipo I en la subrasante de la trocha del Provincia de Chillia, provincia de Pataz – 2019", tuvo como objetivo determinar la influencia de la cal y el cemento portland tipo I en la subrasante de la trocha de dicho Provincia, para lo cual usó un diseño de tipo experimental bifactorial, el muestreo fue no probabilístico, la técnica de recolección de datos fue la observación, el instrumento fue la ficha de observación, el análisis y proceso de datos se ejecutó mediante inferencia estadística. En cuanto a los resultados obtenidos, el trabajo analizó 4 calicatas logradas de los 4km de trocha, a todos estos especímenes se les clasificó por el prototipo de suelo que presentaron y a la calicata 3 se le realizó la prueba CBR empleando 30 especímenes, de los cuales se alcanzaron 2% de cal Vs 2% cemento portland tipo I y los especímenes con 4% de cal Vs 4% de cemento portland tipo I aplicando las Normas Técnicas Peruanas. En conclusión, se estableció que el suelo de esta trocha era Arena limoso limoso bien graduado con limos de baja flexibilidad según AASHTO y SUCS, así también se alcanzó determinar que con el 4% de cemento portland tipo I se aumentó el CBR natural de 2.77% a 57.33% cambiando la subrasante de inadecuada a excelente, lo mismo sucedió con el 2% de cemento; pero lo contrario le sucedió al suelo cuando se le adicionó el 2% y 4% de cal, que solo logró incrementar hasta 3.73% alterando la subrasante de inadecuada a pobre.

## **Teorías de la investigación**

### **Paja de cebada**

El término “paja”, se refiere al tallo seco que tienen algunas gramíneas, sobre todo el tipo de cereal que es denominado generalmente de “caña”, es decir, el trigo, la avena, el arroz, entre otros; después de haber sido tanto cortado como desechado luego de separar la semilla o el grano a través de la trilla. (Diccionario de la Real Academia Española citado en UNAM Global, 2019)

Por otro lado, si hablamos de la paja de cebada, es entendida como un subproducto compuesto por fibra que es abundante, pese a ello, su escaso valor nutricional hace que su uso en la alimentación de los animales no sea de forma masiva. La manera en la que se encuentre compuesta la paja está sujeta a la proporción que exista de hojas y tallos, cuál es el diámetro del tallo y cuánto de altura tiene la planta, es así que logran generarse una serie de variantes respecto a la especie, el ecotipo y a las condiciones climatológicas. (Larosa, 2015)

### **Utilización de las Cenizas procedentes de la Incineración de las Biomásas (Paja de cebada).**

**Biomasa:** EL término biomasa hace referencia a la materia orgánica animal o vegetal que proviene de algún cambio o transformación de dicha materia, teniendo en cuenta aquellas que son generadas tanto natural como artificialmente. (Hidalgo, 2012 citado en Centro de Estudios de Experimentación de Públicas - CEDEX, 2014, p. 1)

En una serie de investigaciones realizadas se analizó y evaluó el uso de las cenizas de fondo en la elaboración de morteros, mayormente como reemplazo de cantidades mínimas de cemento. Casi todas las investigaciones restringen la cantidad de cenizas de hogar en reemplazo del entre 5-10%, posterior a la trituración hasta que se pueda obtener un cierto tamaño de grano. (Carrasco, Cruz y otros, citado en Centro de Estudios de Experimentación de Públicas - CEDEX, 2014, p. 8)

Revisando otras investigaciones podemos apreciar el uso de las cenizas de fondo en reemplazo parcial de la arena para la elaboración de morteros que tengan poca resistencia (10 N/mm<sup>2</sup>) con sustituciones de incluso hasta un 100% respecto al peso de cenizas (con un 90% del material dentro de la fracción 0.5-1.0 mm), los aspectos mecánicos que reflejan son muy parecidos a los morteros de control, sin embargo, tienen un incremento de consistencia importante y tiempos de fraguado menores.

Diversas investigaciones analizaron la posible opción de producir hormigones con cenizas de fondo de biomasa en reemplazo de los áridos naturales. (Modoloa y otros, citado en Centro de Estudios de Experimentación de Públicas - CEDEX, 2014, p. 9)

### **Ceniza de cebada**

Las puzolanas, son materiales silíceos o aluminio - silíceos que tienen un escaso valor cementante. Pese a ello, al separarse de manera fina y tener contacto con el agua tienen una reacción química con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para de esta manera formar compuestos con propiedades cementantes. (Código ASTM, 1997 citado en Vargas y otros, 2005, p. 2)

En base al concepto establecido anteriormente, se pueden definir dos tipos de puzolanas:

### **Puzolanas naturales:**

Rocas volcánicas, que tienen como constituyente amorfo al vidrio generado cuando la lava se enfría bruscamente. Un claro ejemplo de este tipo de puzolana son las cenizas volcánicas las pómez, las tobas, la escoria y obsidiana.

Rocas o suelos que tienen ópalo en el constituyente silíceo, esto puede ser ocasionado debido a la precipitación de la sílice de una solución o de los residuos de organismo. Un claro ejemplo de este tipo de puzolana son las tierras de diatomeas, las arcillas que han sido calcinadas por la vía natural ya sea a partir de calor o de un flujo de lava. (Martínez, 2021)

### **Puzolanas artificiales:**

- **Cenizas volantes:** Son generadas debido a la combustión de carbón mineral (lignito), sobre todo en las plantas térmicas que producen electricidad.
- **Arcillas activadas o calcinadas artificialmente:** Pueden ser residuos de ladrillos de arcilla quemados y demás tipos de arcilla que hayan estado en temperaturas que exceden los 800°C.
- **Escorias de fundición:** Se generan en su mayoría al fundir las aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias tienen que enfriarse de manera brusca para poder obtener una estructura amorfa.
- **Las cenizas de residuos agrícolas:** Las diferentes cenizas como son la de cascarilla de arroz, paja de cebada, de trigo, entre otras; poseen un residuo mineral que es rico en sílice y alúmina al ser quemados de forma correcta, de la cual su estructura será determinada en base a la temperatura de combustión. (Martínez, 2021)

### **Suelos**

Se define el suelo, como una matriz de alta complejidad que se encuentra especialmente contaminada, la cual, requiere de todo un análisis. La matriz real del suelo tiene una gran variedad, desde arena a piedra caliza, arcilla, o una mezcla de muchos minerales de gran complejidad. La contaminación puede ir desde materiales de construcción que son poco peligrosos hasta los que son realmente tóxicos como por ejemplo el mercurio, entre otros. Varios métodos de análisis de suelos tienen que ser válidos en su totalidad y ser sometidos a pruebas para que logren ser funcionales en una variedad de matrices, son controlados lote por lote utilizando muestras de control de calidad analítica. (Hazel, 2009)

La humedad del suelo condicionará la conductividad térmica del mismo. La profundidad que puede formar la capa hidrófoba se ve afectada por este aspecto y por la textura del suelo. La capacidad de calor de los suelos que son húmedos es superior a la de los suelos secos y necesita de la misma temperatura para que se

introduzca en el suelo húmedo. El agua se tiene que evaporar o penetrar de manera más profunda en el suelo para que la temperatura sea mayor a los 100°C. (Wohlgemuth y otros, 2006 citado en Showman, 2012)

### **Aspectos físicos químicos**

El comportamiento de la arcilla al cizallamiento se complica más en base al tamaño de partícula de la misma. Si sus partículas son inferiores a 0.002 mm, es considerada como arcilla, esto producirá que la consolidación aumente la resistencia al cizallamiento debido a que las partículas se encuentran próximas entre sí bajo la acción de la carga. Si es retirada la carga, la fuerza superficial impedirá que estos vuelvan y de esta manera se logrará producir una cohesión. (Juarez, y otros, 2005, p. 41)

### **Índice de plasticidad**

Hace referencia al nivel de humedad sobre la que el suelo conserva una conducta plástica, dicho con otras palabras, es la variación existente entre el límite líquido y plástico. Lo que hace esta prueba es lograr un entendimiento cualitativo de la forma de comportamiento del suelo en base a humedad del mismo, gracias a ello el suelo puede ser tratable para que sea resistente a fuerzas de tracción sin que se destruya o deforme.

Se puede lograr un valor de plasticidad en no más de 25 en 16 días cuando el índice de plasticidad de la pasta de arcilla se incrementa de manera lineal con el tiempo, en su etapa de maduración.

De igual forma, se obtienen dos ecuaciones lineales y el índice de plasticidad de la mezcla puede ser estimado en base a los días de madurez de la misma para la pasta elaborada con arenas arroyo. En 1911, Atterberg conceptualizó el límite de líquido como aquel contenido de humedad del suelo en el momento que cambia de un estado plástico a un estado líquido.

Atterberg afirmó que este contenido de humedad guarda coincidencia con el de la muestra de suelo puesta en una cápsula de porcelana con un diámetro de 10 o 12

cm. Esto se genera en el momento que la cápsula de porcelana es golpeada 25 veces con la palma de la mano y se cierra el espacio.

Es conocido el límite de Atterberg como un tipo de prueba de calificación junto con el análisis del tamaño de partículas. Sin embargo, en caso de que el análisis granulométrico dé a conocer cuál es el tamaño de las partículas finas, el valor límite de Atterberg mostrará su calidad, añadiendo de esta manera el conocimiento del suelo. (Altintas, 2013)

Entre todas las propiedades físicas de la arcilla, la que es considerada de mayor importancia es su plasticidad. Esta ha sido usada para lograr diferenciar la arcilla del no plástico.

Los límites e indicadores son sacados de los datos de prueba de muestras que hayan tenido modificación y, que, en el mejor de los escenarios, únicamente pueden mostrar cuál es el comportamiento de la agregación natural del suelo que no está perturbado.

En el ámbito de la ingeniería, muchos planes y proyectos como por ejemplo la construcción de carreteras demandan la remodelación del suelo, en estas situaciones, el valor que tiene la plasticidad es más relevante. En otros casos, los factores del plástico no son los únicos a considerar para que se logren los estándares de diseño adecuados.

Las verdaderas características de tensión-deformación requeridas para el diseño son determinadas por la estructura del suelo y el historial de tensiones. Pese a ello, los límites e índices de plasticidad son muy importantes para poder predecir cuál será su comportamiento en el futuro. (Leferve, 1966, pp. 17-18)

### **Límite líquido**

Este término es definido como el contenido de humedad del suelo que cambia de líquido a plástico. Por ende, en el límite del suelo, la solidez del suelo plástico al esfuerzo tajante es realmente baja, debe ser 25g/cm<sup>2</sup>. (MTC, 2014 citado en Hurtado, y otros, 2020, p. 25)

Se puede dar a conocer igualmente en este punto al contenido de humedad, de tal manera que el suelo pasa de ser líquido a ser plástico (Whitlow, 2000 citado en Hurtado, y otros, 2020, p. 25). LL determina a través del método cuchara Casa Grande según NTP 339. 129. De esta manera se suelta una taza de metal a cierta altura encima de un terreno duro con propiedades específicas. (Hurtado, y otros, 2020, p. 25).

### **Límite plástico**

Es el contenido de humedad, que se encuentra reflejado en proporciones que son relativas a la carga seco del espécimen seco, en el que la sujeción viscosa pasa de una condición semisólida a una plástica.

La materia restante establece el límite de plástico en el límite líquido, y el agua se evapora mezclando de manera que se logre formar la mezcla plástica. Para hacer una bola pequeña, se tiene que arrodillar en el acto y poner la presión necesaria para que forme un filamento. (MTC, 2014 citado en Hurtado, y otros, 2020, p. 25)

El contenido de humedad viene a ser semiplástico dejando de ser plástico. (Whitlow, 2000 citado en Hurtado, y otros, 2020 pág. 26). A través del método manifestado y detallado por la NTP 339. 129. Ya que los dos se consideran contenidos de humedad, es muy probable que mientras mayor sea, menor será el CBR debido a que una circunstancia plástica o líquida no figura resistencia. (Hurtado, y otros, 2020, p. 26)

### **Humedad óptima**

Es definida la compactación como cualquier desarrollo que incremente el peso volumétrico del terreno de manera que se logre obtener la mayor densidad seca. En su mayoría, es conveniente que el suelo se comprima con el propósito de incrementar su dureza al esfuerzo tajante, reducir su compresión y hacerlo más impermeable. (Juarez, y otros, 2005)



## **Subrasante – Suelo**

El suelo es una acumulación o depósito de material terrestre, que ha sido derivado de forma natural de la desintegración de rocas o la descomposición de la vegetación, que puede excavar con facilidad si se cuenta con equipos eléctricos en el campo o que puede desintegrarse por medios mecánicos suaves en el laboratorio. Al suelo de apoyo debajo del pavimento y sus hiladas especiales se le denomina subrasante. Asimismo, el suelo no perturbado debajo del pavimento se llama subrasante natural. Por otro lado, la subrasante compactada es el suelo compactado mediante el movimiento controlado de compactadores pesados. (Mathew, 2009)

La resistencia con la que cuenta el suelo de la subrasante es un factor de suma importancia en el diseño, la construcción y el rendimiento de los pavimentos de carreteras. Una determinación precisa de los materiales de sub-grado característicos es esencial para un análisis exitoso destinado a respaldar el diseño estructural. (Elsedig, 2010)

Una subrasante tiene que ser lo suficientemente gruesa para soportar las cargas que actúan sobre ella. Mientras más pesadas sean las cargas, más gruesa tiene que ser la subrasante, ya que podría tener subrasantes de hasta 12 pulgadas y más gruesas, normalmente para carreteras. No obstante, el material de la subrasante es comunmente más barato que el material de la superficie y podría evitar que el agua salga a la superficie. (Rodríguez, 2019)

Son necesarias una serie de metodologías de mejora para el comportamiento ideal de un suelo en base a las características mencionadas anteriormente, las cuales son la compresión, la mezcla con componentes de modelo granular, la incorporación de agregados químicos, para que de esta manera el suelo logre una solidez superior al corte y se reduzca la deformabilidad. (Greeshma, y otros, 2017, p. 29)

## **Métodos de estabilización de suelos**

La estabilidad de MTC es la capacidad de carga con la que cuenta la base de la carretera y el material determinado, que se determina en base a un valor inferior.

Por lo que, si el material que será utilizado en la carretera no cumple con las características generales mencionadas, el suelo se estabilizará en consecuencia.

La estabilización del suelo es un procedimiento que potencia su solidez, su durabilidad, su insensibilidad al agua, y etc. Es así que se puede usar suelo con características de borde como capa inferior de la calzada o capa de la banda de rodadura, y a la par se puede utilizar suelo granular con buenas características para poder determinar la estabilidad de la capa (CBR es menor que el mínimo requerido).

La estabilización puede ser tanto granular como mecánica, que consiste en una mezcla de dos o más suelos que tienen diferentes propiedades, a manera de obtener suelos con mejor tamaño de partícula, plasticidad, permeabilidad o impermeabilidad, etc. La estabilización puede lograrse también gracias a agregados que proceden de forma física o química sobre las características que el suelo posee. Y de igual manera son usados el cloruro de sodio, el cloruro de magnesio, el asfalto líquido, la escoria y los artículos químicos. El uso de este último cumplirá con la regla técnica de estabilizador químico MTC 1109-2004. El grado de estabilidad depende de factores como el tipo de suelo, los aditivos utilizados, la cantidad de adición, y en especial la cantidad de fertilizante. La tecnología para la estabilización de los suelos será implementada usando materiales granulares del lugar y también materiales estabilizadores, siendo más económica que otras opciones. (Hurtado, y otros, 2020, pp. 27-28)

La estabilización del suelo se ha posicionado como una de las soluciones más útiles a la hora de tratar los suelos débiles y así obtener las características y especificaciones de ingeniería que la estructura requiere para que pueda ser colocada de forma segura. Los suelos tratados poseen mayor resistencia y menor compresibilidad conductividad hidráulica a comparación del suelo natural. Elegir correctamente el método para la estabilización de suelos depende de condiciones como el tipo de suelo y sus capas alternativas. (Kazemian, y otros, 2010 p. 1)

El método involucra la mejoría del suelo en el espacio por medio de la adaptación de un agente consolidador sin la eliminación del suelo a granel. Esto ofrece el beneficio de aumentar los suelos para cimentaciones, las cimentaciones superficiales y los sitios contaminados. La preparación del mix de diseño consiste

en seleccionar y evaluar las características de ingeniería del suelo estabilizado y suelo mejorado.

El propósito es resolver las dimensiones del terreno moderado basados en adecuados análisis de estabilidad y asentamiento para reparar los requisitos de la estructura soportada.

La tecnología puede ser obtenida inyectando en el suelo un material de ceniza de cebada en seco o formas húmedas. Usar métodos de mezcla profunda, ya sea en seco o húmedos, depende de factores como las condiciones del suelo in situ, el contenido de humedad in situ, la eficacia de los aglutinantes a usar y la naturaleza de la construcción a fundar.

La estabilización in situ puede ser considerada como método de mezcla profunda o masa estabilización, pero dependiendo de la profundidad de tratamiento (Makusa, 2012). La estabilización mecánica se obtiene con la adición de materiales al suelo, lo que cambia sus propiedades físicas. Todo esto con el fin de obtener una distribución de tamaño de partícula suficiente para mejorar el contacto entre las partículas, y haya en el suelo menos vacíos.

Asimismo, las sustancias de suelo pueden compactarse para estabilizarlo aún más presionando sus partículas. El desarrollo de estabilización se ve alterado por varias circunstancias, las cuales son físicas, químicas y ambientales a lo largo de la planificación y curado de las muestras. (Soderlund, 2018)

### **Estabilización Mecánica**

En cuanto MTC, la estabilización del tamaño de partícula se basa en mezclar dos o más suelos para adquirir materiales con propiedades permisibles para su uso como calzadas o materiales definidos. Por lo general son usados materiales del lugar, para lograr la mejora del coste de instalación y también de traslado. Comúnmente, un tipo de suelo es uno de los cauces naturales y el otro es una contribución para incrementar sus características. Particularmente, se agrega a un suelo granular sin polvo fino, y se agrega a suelo granular con granos finos de cristal

y cierto grado de plasticidad para alcanzar mayor cohesión, compactación más fácil y menos permeabilidad, en definitiva, una mezcla estable.

Las características del suelo estabilizado por tamaño de partículas pueden ser controladas, por lo general, gracias a pruebas de laboratorio sencillas, como la determinación de reparto del volumen de partículas (tamizado) del valor límite líquido y el valor límite plástico. Para los suelos granulares y para los suelos ligeros, se empleará la prueba AASHTO T27 (ASTM C136) y la prueba AASHTO T11 será realizada en el material fino obtenido al lavar en la malla 200 (ASTM C 117), y si la mezcla sigue conteniendo una parte considerable si el material del suelo pasa de malla 200, la prueba AASHTO T88 (ASTM D 422) se puede usar. (MTC, 2008 citado en Hurtado, y otros, 2020, p. 29)

### **Resistencia**

Existen diferentes procedimientos de estabilización para lograr incrementar la resistencia de varios suelos. Y en efecto, la compactación es una manera de estabilizar mecánicamente, empleada para intensificar la solidez del suelo. No obstante, el hecho de usar una fuerza de compactación más alta no dará siempre como resultado un valor de resistencia más alto, en especial cuando se pone en consideración la necesidad de mantener este parámetro a un valor razonable en un tiempo prolongado.

Estos son algunos modos de estabilización más utilizados para incrementar la resistencia.

### **Tasa de relajación de California (CBR)**

Hace referencia a la relación de fuerza que existe por unidad de área requerida para penetrar una masa de suelo con un pistón circular estándar a una velocidad de 1,25 mm / min, que es requerido para la correspondiente penetración de un material estándar. Para poder evaluar la capacidad de carga del suelo de la subrasante para el diseño de pavimento flexible. (Haseeb, 2017)

Esta tasa fue desarrollada por la Oficina de Carreteras del Estado de California para realizar la evaluación de la solidez de las subclases de carreteras. Es muy usada

en el diseño de pavimentos flexibles de aeropuertos y carreteras y, en algunas circunstancias, en la especificación del uso de materiales terrestres para diversos propósitos de construcción. Siempre que la prueba se realice acorde a las condiciones prescritas, se pueden alcanzar resultados fiables. Cuanto mayor sea el valor CBR, mejor será el material, pero otros parámetros necesarios (como el valor límite líquido y el índice de plasticidad) deben cumplir con las regulaciones correspondientes. (Ekeocha, y otros, 2014).

### **Permeabilidad**

La permeabilidad necesita de elementos como la densidad del fluido, la porosidad, la exactitud de las fracciones de minerales y la saturación del suelo. La densidad de iones y el grosor de la capa de líquido adherida a las partes de la arcilla son los otros elementos principales que afectan la permeabilidad de la misma. (Braja, 2001)

Básicamente no es difícil cambiar la permeabilidad del cambio del suelo mediante la compactación, la inyección y otros métodos.

En materiales que son arcillosos, el uso de equivalentes de eliminación de hierro (como polifosfato) también reducirá de manera significativa la permeabilidad; el empleo de floculantes (por lo general hidróxido de calcio o yeso) incrementará la estimación de permeabilidad en consecuencia. En la actualidad, hay algunas sustancias que se introducen en el suelo como emulsiones que disminuyen significativamente su permeabilidad, aunque el uso de estas debe ser analizado con detenimiento, ya que no es infrecuente que afecten de manera negativa la resistencia a la presión. (Rico, y otros, 1974)

### **Durabilidad**

La durabilidad por lo general se encuentra involucrada en esta idea, estos elementos mencionan a la dureza de la intemperie, la erosión o la resistencia al desgaste del tráfico, por lo que la durabilidad del terreno suele estar relacionada estrechamente con el suelo más o menos cercano al ámbito de conducción.

Y en efecto, estas dificultades afectarán tanto al suelo natural como al estabilizado, aunque en estos últimos el peor comportamiento con frecuencia es consecuencia

de un diseño insuficiente, como una selección no adecuada de estabilizadores o graves errores de uso, como cuando la arcilla es sensible al sulfato. (Rico, y otros, 1974)

### **Afirmado**

En el curso de la afirmación de la ruta de transporte, son usadas una o varias capas de materiales de cantera seleccionados de manera adecuada para lograr alcanzar la mejor superficie para el tránsito específico. Una estructura de elementos como arena, rocas y materia fina, como arcilla.

En la cimentación de subrasantes afirmadas y subrasantes granulares, materiales añadidos que se pueden clasificar adecuadamente como naturales, también pueden ser a causa del aplastamiento de rocas o grava, y puede estar compuesto por una mezcla de productos naturales. (Péterfalvi, 2015 p. 36). En el establecimiento de los estándares básicos para la construcción de bases y subbases, se requiere la utilización de agregados con un cierto porcentaje de productos del proceso de trituración. Para lo cual las partículas deben ser resistentes, y así evitar el excedente de partículas blandas en la transformación de desintegración, y tampoco deben abarcar materia extraña u orgánica que dañe la estructura del suelo. Por lo general, la grava de la cantera constituye naturalmente materiales de alta calidad. Además, no todas las tallas son iguales, por ende, la elección de materiales de alta calidad debe ser realizada en un laboratorio, y probar la proporción adecuada según sea necesario para realizar obras viales. (Hurtado, y otros, 2020, pp. 34-35)

### **Pavimento**

El pavimento es una variedad de diversos recubrimientos de elementos que fueron escogidos y edificados de la superficie terminada de la carretera de la vía a ser habitada, e incluye aspectos que mejoran las condiciones de confort y de seguridad del tránsito causado por los vehículos. Consta de una capa base, una sub base y una capa de roca.

Es un beneficio el hecho de que al adherir sobre el asfalto ayuda a depurar el aire en ambientes urbanos, al tener un compuesto químico nombrado dióxido de titanio ( $\text{TiO}_2$ ) en su formación, que con el apoyo de los rayos ultravioletas del sol elabora una respuesta de Figuracatálisis, la cual modifica el óxido de nitrógeno en otras partículas que quedan fijas sobre el asfalto. Las características de la base / subbase y la subrasante de la carretera son muy importantes para la integridad estructural y el desempeño del pavimento.

En una superficie de carretera flexible, la capa base y la capa subbase son componentes estructurales que deben otorgar la resistencia suficiente, a la par de que reducen la tensión a un nivel que la plataforma pueda soportar. En pavimentos rígidos, el revestimiento se usa para nivelar y fortalecer estructuralmente los lechos de carreteras que son débiles. Y una capa de cimentación / sub cimentación construida correctamente puede llegar a proporcionar drenaje interno y al mismo tiempo evitar la entrada de agua en la calzada. El rendimiento del lecho de la carretera y la imprimación pueden ser mejorados por medio de la compactación o estabilización química, en condiciones de humedad controlada. (Manual de Carreteras Sección Suelos y Pavimentos MTC, 2013 citado en Wiley, y otros, 2008)

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo y Diseño de Investigación**

##### **Tipo de Investigación**

La presente investigación es de tipo APLICADA, porque tiene como objetivo adquirir nuevos conocimientos y verificar los cambios del proceso antes y después del uso de la ceniza de cebada. Es decir, producir nuevos conocimientos y ponerlos a prueba con problemas reales es lo que se plantea (Valderrama, 2016).

##### **Nivel de investigación**

El nivel del estudio es explicativo, ya que describe el problema y responde las causas de la situación. Especifica el fenómeno y explica el comportamiento de las variables de investigación. De esta forma, se deben visualizar los efectos de la estabilización mediante diferentes la de ceniza de cebada para optimizar las características físicas y mecánicas del suelo (Marroquín, 2012).

##### **Diseño de investigación**

Es una investigación experimental porque el investigador manipula una o varias variables. Asimismo, se intenta buscar relaciones o elementos causales del fenómeno (Kerlinger y Howard, 2002). Se obtendrán muestras de los suelos de la zona del estudio, lo cual después de haberse aplicado con la de ceniza de cebada, se han realizado ensayos de CBR.

##### **Enfoque de investigación**

El enfoque del estudio es cuantitativo, en vista de que se utilizará cálculos estadísticos, partiendo del cálculo de muestras representativas, con el fin de mostrar lo que ocurre cuantificar la información de fuentes primarias, para realizar relaciones numéricas a partir de una base de datos, mediante el cálculo de promedios, y bajo criterios de segmentación se obtiene información porcentual y en unidades promedio, permitiendo formular conclusiones y recomendaciones finales. (Hernández, y otros, 2014)



### **3.2 Variables y operacional**

#### **Variable independiente:**

La variable independiente se define como una variable a nivel experimental. “El investigador opera sobre ella para probar la hipótesis. El proceso más lógico para hacerlo es transitar de la variable a sus dimensiones o componentes”, luego a los indicadores y finalmente a los ítems o reactivos y sus categorías entonces la interacción de teorías de cada variable es lo que determinara su operacionalización Para el presente estudio la variable independiente es:

X<sub>1</sub>: Cantidad de ceniza de cebada

#### **Variable dependiente:**

La variable dependiente se caracteriza porque su comportamiento está en función de los valores de la variable independiente.

Para el presente estudio la variable dependiente es:

Y: Estabilidad de subrasante

### **3.3 Población Muestra y Muestreo**

#### **Población**

Es la agrupación de todos los componentes (unidades de análisis) que competen al ámbito espacial donde sucede la investigación (Carrasco, 2008). La población objeto de estudio es la vía de acceso al vertedero de la provincia de Andahuaylas Apurímac.

#### **Muestra**

Para delimitar la población se necesita una muestra de un análisis que delimita la misma. La muestra es un subgrupo del universo o población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de ésta. (Hernández, y otros, 2014)

Para no sufrir deficiencias se describirá y analizará una cantidad adecuada de veces todas las características posibles de la población ya que solo así se verá bien

representada. Como se analizará un mejoramiento de suelos, la población vendrá a ser la cantidad de ensayos para suelos que se podrían hacer. En el actual plan de investigación, realizaremos tomas de muestra del suelo. Se realizaron 1 calicatas en la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas, a un nivel de profundidad entre 0 -1,5m.

## **Muestreo**

El muestreo es no probabilístico (por conveniencia). Asimismo, el muestreo será de tipo no probabilístico, es decir, dicha muestra será accesible y próximo para el investigador (Hernández, y otros, 2014). Se escogió el lugar más crítico en la vía de acceso al vertedero de la Provincia Andahuaylas.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **Técnicas de recolección de datos**

La exploración directa permitirá determinar las condiciones idóneas para el estudio. A su vez, en el proceso de experimentación se registrarán los datos mediante:

- Exploración de campo: Se lleva a cabo el escarbado de campo (calicatas) en la vía de acceso al vertedero de la Provincia Andahuaylas.  
Los datos conseguidos en campo colaborarán a la elaboración de los estudios primordiales para realizar la categoría del suelo por la norma AASTHO, entre otras pruebas indispensables como Análisis granulométrico, Granulometría, Relación densidad-humedad, Límites de Atterberg, Índice plástico, Densidad máxima seca y Capacidad de soporte del suelo estabilizado.
- Observación directa: Se hará uso de instrumentos complementarios como una cámara Figuragráfica para registrar un panel Figuragráfico de los procedimientos que se guardarán en una memoria USB y respaldados en equipos como laptops y/o computadores.

## Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos constan de materiales utilizados por los investigadores para recopilar datos de las pruebas o ensayos y Fichas técnicas.

Para seleccionar el instrumento a utilizar, se tiene que tener en cuenta que los instrumentos son de acuerdo a las dimensiones. Por ello, en la siguiente tabla se observa y se especifica la relación de Dimensión - Instrumentos:

**Tabla 1**  
*Dimensiones e instrumentos.*

Dimensiones	Instrumentos
Características de la ceniza de cebada	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ficha técnica</li><li>• Ensayo laboratorio</li></ul>
Dosificación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ficha técnica</li><li>• Ensayo de laboratorio</li><li>• Balanza de precisión</li></ul>
Plasticidad	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ficha técnica</li><li>• Límites de Atterberg</li><li>• Tamiz</li><li>• Proctor modificado</li></ul>
Compactación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ficha técnica</li><li>• Ensayo de contenido de Humedad</li><li>• Balanza</li><li>• Horno</li><li>• Proctor modificado</li><li>• Prensa de carga</li></ul>
Resistencia del suelo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ensayo CBR</li><li>• Proctor modificado</li><li>• Manual de Carreteras sección de suelos y pavimentos MTC (2014)</li></ul>

Fuente: Elaboración propia.

## **Validez**

La validez es una cualidad que consta en que una prueba pueda medir lo que dice medir. Además, la prueba debe medir las características específicas de la variable para la que está diseñada (Mejía, p. 23).

Se refiere a la experiencia adquirida para medirla. El ensayo medirá las características específicas de la variable (Hernández, p. 200).

La validez del instrumento de medición confrontar con algún principio externo. Este principio es un modelo con el que se considerará la validez del instrumento, cuanto más se vinculan los resultados del instrumento de medición con el principio, la validez será superior (Valderrama, p. 211).

## **Confiabilidad**

La confiabilidad es determinar la confiabilidad, consistencia o estabilidad del instrumento. Por lo tanto, cuando un investigador menciona a una persona que es digna de confianza, dice que le inspira confianza y tiene confianza en él. Por otro lado, cuando menciona a otra persona, se puede decir que no es digna de confianza y duda del comportamiento futuro de uno. (Mejía, 2015, p. 27)

“Un instrumento es confiable si rinde resultados estables cuando se utiliza diversos casos (estabilidad). La confiabilidad del instrumento de medición se ejecuta con la información extraído por medio de pruebas piloto” (Valderrama, 2016, p.212).

## **3.5 Procedimientos**

Para un diseño de tipo experimental ocurre cuando el investigador asigna aleatoriamente los sujetos o unidades a los grupos experimentales. Para el fenómeno estudiado, se elaborarán probetas divididas en dos grupos equivalentes (A y B) que recibirán el mismo tratamiento para su proceso y acabado final. Sin embargo, al grupo A se le aplicará el aditivo de ceniza de cebada mientras que, el grupo B, no será aplicado. Cabe destacar que, todo cambio que ocurra en los resultados estará determinado por la intervención del investigador. No obstante, la desventaja de un experimento de laboratorio es que no se puede generalizar los resultados a una situación natural, ya que el nivel de control de las variables

extrañas o intervinientes en un fenómeno se disminuye o se eliminan en un espacio de laboratorio.

Para el siguiente proyecto los procedimientos serán:

- Desarrollar un plan de trabajo de laboratorio
- Petición a las autoridades correspondientes de la zona de la investigación para extraer muestras del suelo.
- Reconocimiento de las calicatas del área del estudio de campo.
- Preparación de equipos e instrumentos para llevar a cabo pruebas físicas de lo extraído del suelo.
- Preparación de equipos e instrumentos para efectuar pruebas de Proctor modificado.
- Preparación de equipos y herramientas para efectuar pruebas de CBR.
- Ensayos CBR con el uso de la ceniza de cebada en porcentaje de 8%.

### **3.6 Método de análisis de datos**

Se dio efecto a la evaluación de la información de campo y fueron registrados en cuadros representativos elaborados en Excel. Las fichas se generarán una base de datos, tablas y cuadros, que ayudarán a comprender el fenómeno de estudio.

### **3.7 Aspectos éticos**

Para la presente investigación se optó por tomar información de investigaciones ya realizadas y de información de manuales, libros, revistas y sitios web. Es por ello que podemos resaltar valores como el respeto y la honestidad. Se respetará la autoría de las referencias consultadas, así como de las imágenes, las tablas y figuras mediante la normativa ISO 690, la cual pide citar lo expuesto respetando los valores éticos y los derechos de autores. Por otro lado, se respeta las fases que la investigación involucra, así como a los residentes de la zona, a la veracidad en los resultados, y a la confiabilidad de los datos. De la misma forma, los investigadores aseguran la autenticidad de los resultados obtenidos a través de la recolección de datos para dicho estudio planteado, ya que los resultados y los cálculos no fueron

manipulados y reflejan estrictamente los datos que arrojaron los ensayos realizados.

#### IV. Resultados

##### Zona de estudio

Mejoramiento de la Subrasante Adicionando Ceniza de Cebada para el Acceso al Vertedero de la Provincia de Andahuaylas Apurímac - 2021”

La zona de estudio en el departamento de Apurímac, Provincia de Andahuaylas, Provincia de San Jerónimo, está ubicada a 7.1 km de Provincia de Andahuaylas



Figura 1. Ubicación de la región de Apurímac y el Perú.

Fuente:

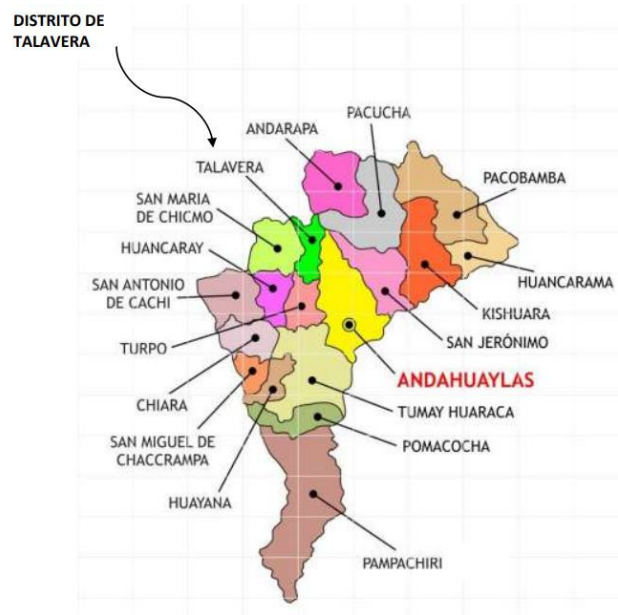
**Norte:** Ayacucho  
**Sur:** Arequipa  
**Este:** Cusco  
**Oeste:** Ayacucho



Figura 2. Departamento de Apurímac y provincias.

Fuente:

**Norte** : Talavera  
**Sur** : Aymaraes  
**Este** : San Jerónimo  
**Oeste** : Tumay Huaraca



*Figura 3.* Mapa de la provincia de Andahuaylas.

Fuente:

Esta zona de investigación y de estudio se eligió debido a gran problema que es el suelo de muy baja capacidad portante según manual del MTC. Siendo el pavimento un gran aporte a la sociedad, vecinos y turismo, por ello se consideró el suelo como estudio para esta tesis y desarrollar el problema.

**Ubicación geográfica:** Las coordenadas de nuestra zona de estudio del Provincia de San Jerónimo es "X" 676922.05 "Y" 8488492.71. Presentando una altitud de 2972 m s. n. m.



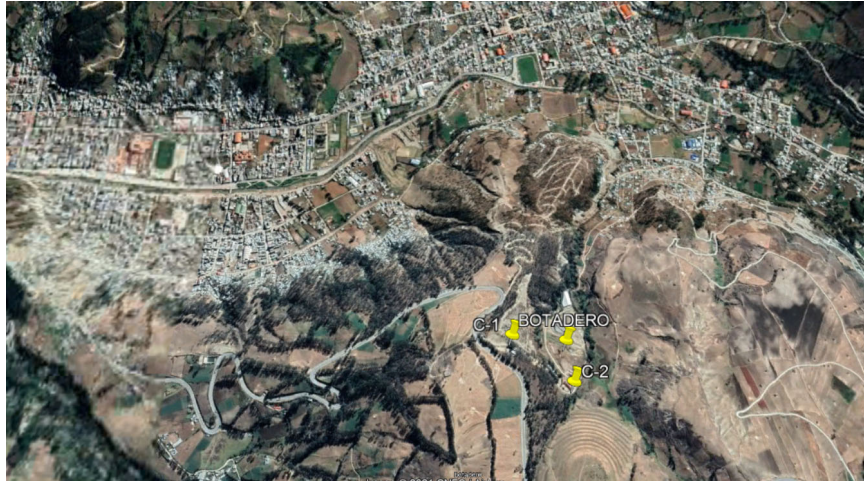


Figura 4. Ubicación geográfica de la Provincia de Andahuaylas.

Fuente:

Los resultados obtenidos de las calicatas:

**Tabla 2**

*Ubicación de calicatas.*

UBICACIÓN DE CALICATAS				
ITEM	COORDENADAS UTM (WGS-84)		PROGRESIVAS	PROFUNDIDAD
	X	Y		
C – 01	676922.05	8488492.71	00 + 050	0.0 – 1.50
C – 02	676941.06	8488452.00	00+310	0.0 - 2.00

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de contenido de humedad se completó en las fosas de prueba C-01 para tener un estándar de la suciedad para la que se hizo la técnica de acompañamiento:

- Primero: descargar los ejemplos para su manipulación. Colocar el ejemplo de prueba de humedad en el compartimento.
- Establecer la pesadez del compartimento y la materia húmeda utilizando un equilibrio según la pesadez del ejemplo. Anote este valor (información o datos).
- Coloque el compartimento con la materia húmeda en la estufa. Luego, en ese momento secar el material hasta obtener una masa estable.

- Mantener el secado en la estufa a 110 ±5°C. El tiempo para almacenar el peso repetido será diferente según el tipo de material, el volumen, la estufa, etc. incluidos. El tiempo de secado de un ejemplo de prueba es de 12 a 16 horas.
- Una vez que el material esté seco hasta alcanzar un peso estable, elimine el compartimento del horno y colóquelo en la estufa.
- Establezca el peso del compartimento y del material secado en la estufa utilizando un equilibrio similar al utilizado recientemente. Registrar el valor

El contenido de humedad del ejemplo se determina a partir de la receta adjunta:

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

$$w = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde:

W: Contenido de humedad (%).

$M_{cws}$  : Peso del compartimento además del suelo húmedo en gramos.  $M_{cs}$  :  
Peso del compartimento además de la tierra seca de la cocina en gr.

$M_c$  : Peso del contenedor.

$M_w$  : Peso del agua.

$M_s$  : Peso de las partículas sólidas.

**Tabla 3**  
*Resultados de humedad c-1.*

RESULTADOS DE HUMEDAD			
Nº DE MUESTRA	1	2	PROMEDIO
Peso de capsula gr.	23.70	23.88	
Peso de capsula + Suelo Húmedo gr.	69.92	68.46	
Peso de capsula + Suelo Seco gr.	64.04	63.26	
Peso del Agua gr.	5.88	5.20	
Peso de Suelo Seco gr.	40.34	39.38	
Porcentaje de Humedad %	14.58	13.20	13.89
<b>Promedio de Humedad</b>	<b>=</b>	<b>13.86</b>	

Fuente: Elaboración propia.

PROMEDIO DE HUMEDAD % = 13,89

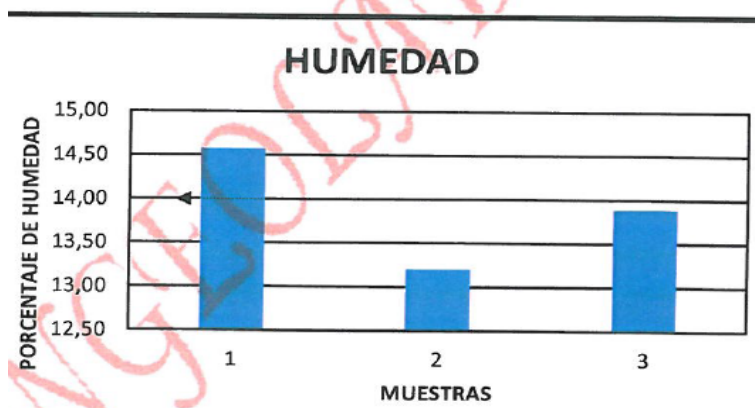


Figura 5. Humedad C-01.

Fuente:

**Tabla 4**  
Resultados de humedad C-2.

RESULTADOS DE HUMEDAD			
N° DE MUESTRA	1	2	PROMEDIO
Peso de capsula gr.	23.58	23.56	
Peso de capsula + Suelo Húmedo gr.	56.54	71.48	
Peso de capsula + Suelo Seco gr.	48.94	61.06	
Peso del Agua gr.	7.60	10.78	
Peso de Suelo Seco gr.	25.36	37.50	
Porcentaje de Humedad %	29.97	28.75	29.36
<b>Promedio de Humedad</b>	<b>=</b>	<b>29.36</b>	

Fuente: Elaboración propia

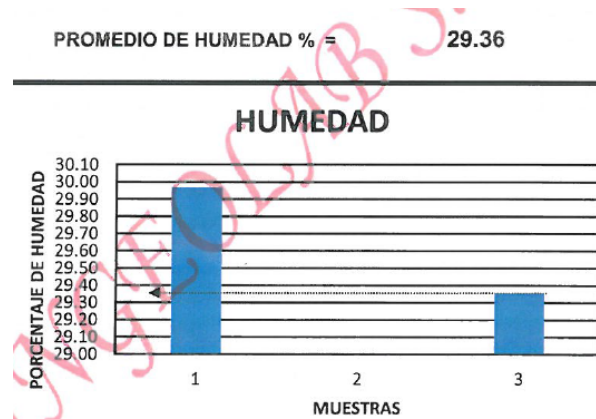


Figura 6. Humedad C-02.

Fuente:

La prueba granulométrica se hizo para detallar los montones de los ejemplares a diseminar en los coladores de rejilla cuadrada.

Se realizó la metodología resultante:

- La muestra depende de las particularidades de los materiales finos, la prueba se ejecuta con todo el ejemplar o con un trozo de este tras separar los finos por lavado.
- La suciedad se pesa después de secarla en el exterior.
- Para la parte de la vitrina, se eligen los cernidores N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200.
- Los ejemplos se añaden a los cernidores y se continúan por todos los lados con el objetivo de que las muestras queden disponibles para su uso en la sección transversal. La actividad se termina si el 1% de la pieza del ejemplo no pasa por el tamiz en un momento.
- En un equilibrio, se establece la pesadez de cada pieza según la asociación obtenida. Se registra el valor.

En las tablas adjuntas, se observan las consecuencias de la evaluación granulométrica de las calicatas C-01: La prueba granulométrica se realizó para detallar los montones de los ejemplares que se encuentran dispersos en los coladores de sección cuadrada.

Se completó la estrategia adjunta:

- La exposición depende de las particularidades de los materiales finos, la prueba se ejecuta con todo el ejemplar o con un trozo del mismo después de separar los finos por lavado.
- La suciedad se pesa tras el secado al aire libre.
- Para la parte de visualización, se eligen los coladores N° cuatro, N°8, N°16, N°30, N°50, N° ciento y N° doscientos.
- Los ejemplos se añaden a los coladores y se continúan por todos los lados para que el ejemplo quede disponible para su uso en el entramado. La actividad se cierra si el 1% del ejemplo no pasa por el tamiz en un momento.
- En un equilibrio, se establece la pesadez de cada pieza según lo indicado por la asociación que la obtuvo. Se registra el valor.

Las tablas adjuntas muestran las consecuencias del examen granulométrico de los pozos de prueba C-01Y C-02:

**Tabla 5**  
*Tamizado C-01.*

TAMAÑO DE TAMIZES		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% QUE PASA
(Pulg.)	(mm.)	(gr)	(%)	(%)
4"	101.60	0.00	0.00	100
2"	50.80	0.00	0.00	100
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	100
1"	25.40	0.00	0.00	100
3/4"	19.10	0.00	0.00	100
1/2"	12.70	68.00	4.06	95.94
3/8"	9.52	41.00	2.45	85.13
N° 4	4.76	140.00	8.36	85.13
N° 10	2.00	218.00	13.01	72.12
N° 40	0.43	455.00	27.16	44.96
N° 100	0.14	275.00	16.42	28.54
N° 200	0.07	72.00	4.30	24.24
CAZUELA		406	24.24	0.00
<b>TOTAL:</b>		<b>1675.00</b>	<b>100</b>	

Fuente: Elaboración propia.

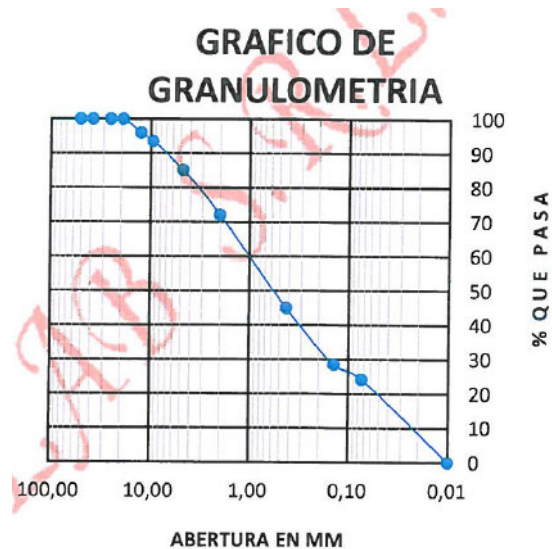


Figura 7. Humedad C-02.

Fuente:

**Tabla 6**  
Tamizado C-02.

TAMAÑO DE TAMIZES		PESO RETENIDO	% RETENIDO	% QUE PASA
(Pulg.)	(mm.)	(gr)	(%)	(%)
4"	101.60	0.00	0.00	100
2"	50.80	0.00	0.00	100
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	100
1"	25.40	0.00	0.00	100
3/4"	19.10	0.00	0.00	100
1/2"	12.70	0.00	0.00	100
3/8"	9.52	0.00	0.00	100
N° 4	4.76	5.00	0.41	99.59
N° 10	2.00	15.00	1.23	98.36
N° 40	0.43	63.00	5.16	93.20
N° 100	0.14	154.00	12.61	80.59
N° 200	0.07	12.00	0.98	79.61
CAZUELA		972	79.61	0.00
<b>TOTAL:</b>		<b>1,221.00</b>	<b>100</b>	

Fuente: Elaboración propia.

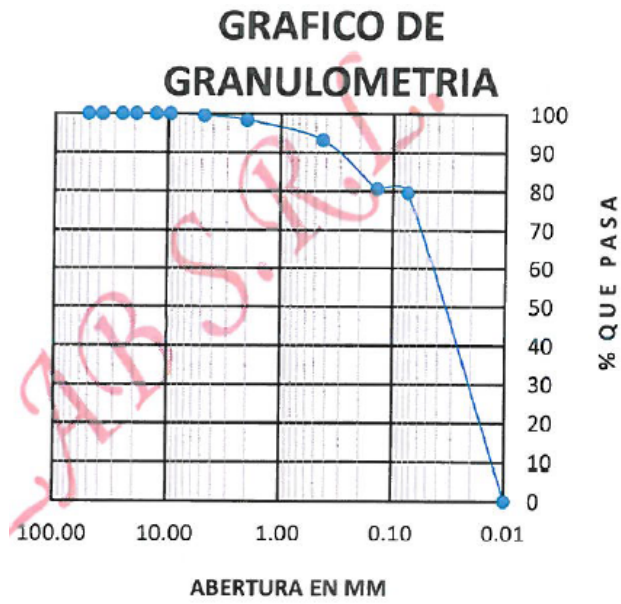


Figura 8. Humedad C-02.

Fuente:

**Tabla 7**  
Clasificación SUCS – ASSTHO C-1.

Datos para clasificacion	
PASA N°4	85.15
PASA N°10	72.12
PASA N°40	44.96
PASA N°200	24.24
RETIENE N°4	14.87
D10	0.031
D30	0.17
D60	1.30
Cu	42.51
Cc	0.691
LL	25.2%
LP	19.3%
IP	5.9%
<b>CLASIFICACION</b>	
ASSTHO	A-1-b
SUCS	SM-SC (Arena limosa – Arena arcillosa)

Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E 107- 2000			DATOS PARA CLASIFICACION		
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS			PASA N° 4	85,13	
SUELO DE GRANO GRUESO: MAS DEL 50% RETENIDO EN LA MALLA N° 200	GRAVA Y SUELO GRAVOSO, más del 50% retenido malla N° 4	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	PASA N°10	72,12
		GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos	PASA N°40	44,96
		GM	Gravas Limosas, mezclas de grava, arena y limo	PASA N°200	24,24
		GC	Gravas Arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	RETIENE N°4	14,87
SUELO DE GRANO FINO, 50% O MAS PASA LA MALLA N°200	ARENA Y SUELO ARENOSO, más del 50% pasa malla N° 4	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos	D10	0,031
		SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos	D30	0,17
		SM	Arenas Limosas, mezcla de arena y limo	D60	1,30
		SC	Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla	Cu	42,51
SUELO DE GRANO FINO, 50% O MAS PASA LA MALLA N°200	LIMOS Y ARCILLAS (LL-60)	ML	Limo Inorgánicos, polvo de roca, limo arenosos, o arcillosos ligeramente plásticos	Cc	0,691
		CL	Arcillas Inorgánicas de baja plasticidad, arcillas con grava, arcillas areno-limosas,	LL	25,2%
		OL	Limos Orgánicos y Arcillas Limosas Orgánicas de baja plasticidad	LP	19,3%
		MH	Limos Inorgánicos, Limos micáceos, o diatomizados, Limos elásticos	IP	5,9%
Altamente Orgánico	LIMOS Y ARCILLAS (LL-50)	CH	Arcillas Inorgánicas de alta plasticidad.	<b>CLASIFICACION</b>	
		OH	Arcillas Orgánicas de media a alta plasticidad, Limos orgánicos de media plasticidad	ASSTHO	A-1-b
Pt		Turba y otros suelos altamente orgánicos	SUCS	<b>SM-SC</b>	

Figura 9. Clasificación SUCS – ASSTHO C-1.

Fuente:

Tabla 8

Clasificación SUCS – ASSTHO C-2.

Datos para clasificación	
PASA N°4	99.59
PASA N°10	98.36
PASA N°40	93.20
PASA N°200	79.61
RETIENE N°4	0.41
D10	0.009
D30	0.03
D60	0.06
Cu	6.00
Cc	1.50
LL	31.4%
LP	19.6%
IP	11.9%
CLASIFICACION	
ASSTHO	A-6
SUCS	CL (Arcillas Inorganicas)

Fuente: Elaboración propia.



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E 107- 2000				DATOS PARA CLASIFICACION		
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS						
SUELO DE GRANO GRUESO, MAS DEL 50% RETENIDO EN LA MALLA N° 200	GRAJA Y SUELO GRAVA/OSO, más del 50% retiene en malla N°4	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos	PASA N° 4	99.59	
		GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de finos	PASA N°10	98.36	
		GM	Gravas Limosas, mezclas de grava, arena y limo	PASA N°40	93.20	
		GC	Gravas Arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	PASA N°200	79.61	
	ARENA Y SUELO ARENOSO, más del 50% pasa malla N° 4	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos	RETIENE N°4	0.41	
		SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de finos	D10	0.009	
		SM	Arenas Limosas, mezcla de arena y limo	D30	0.03	
		SC	Arenas Arcillosas, mezcla de arena y arcilla	D60	0.06	
				Cu	6.00	
		SUELO DE GRANO FINO, 50% O MAS PASA LA MALLA N°200	LIMOS Y ARCILLAS (LL<50)	ML	Limo inorgánicos, polvo de roca, limo arenosos, o arcillosos ligeramente plásticos	Cc
CL	Arcillas inorgánicas de baja plasticidad, arcillas con grava, arcillas areno-limosas,			LL	31.4%	
OL	Limos orgánicos y Arcillas Limosas Orgánicas de baja plasticidad			LP	19.6%	
LIMOS Y ARCILLAS (LL>50)	MH		Limos inorgánicos, Limos micáceos, o diatomizados, Limos elásticos	IP	11.9%	
				CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad.	<b>CLASIFICACION</b>
OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, Limos orgánicos de media plasticidad		ASSTHO		A-6	
			SUCS		CL	
Altamente Orgánico	Pt		Turba y otros suelos altamente orgánicos			

Figura 10. Clasificación SUCS – ASSTHO C-2.

Fuente:

En la medida de lo posible, se han realizado pruebas en los pozos de ensayo C-01 y c-02 para localizar el archivo de corte y versatilidad de fluidos y plásticos. Para cada una de ellas se han realizado.

#### Límite líquido

Se realizó lo siguiente:

Se tomó 4 muestras con sus respectivos pesos de capsulo en suelo húmedo y en suelo seco.

Se realizó el número de golpes que para la calicata 1 fueron de 45, 32, 21, 13 y para la calicata 2 fueron 48, 34, 20, 13 golpes respectivamente.

Se realizó el pesado de suelo seco para poder hallar peso de agua y así determinar el % de humedad.

#### Límite plasticidad

Se realiza la toma de 3 muestras con sus respectivos pesos de cápsula más suelo húmedo.

Se realizó el secado de las 4 muestras para poder tener el peso de suelo seco y a la vez tener peso de agua para lo cual obtenemos el % de humedad.

### Índice de plástico

Se expresa por el porcentaje del peso del suelo seco, indica el tamaño de intervalo de diferencia de contenido de humedad con el cual el suelo se mantiene plástico.

**Tabla 9**  
*Límites Líquido – Límite plástico C-01.*

<b>LIMITE LIQUIDO</b>				
Muestra N°	4	3	2	1
Peso de capsula	13.90	13.64	13.38	13.38
Peso de capsula + Suelo Humedo	28.54	28.00	28.10	28.72
Peso de capsula + Suelo Seco	25.76	25.20	25.08	25.50
Numero de Golpes	45	32	21	13
Peso de suelo seco	11.86	11.56	11.70	12.12
Peso de agua	2.78	2.80	3.02	3.22
% humedad	23.4	24.2	25.8	26.6
<b>LIMITE PLASTICO</b>				
Muestra N°	1	2	3	
Peso de capsula	13.52	13.46	13.49	
Peso de capsula + Suelo Humedo	27.70	27.44	27.57	
Peso de capsula + Suelo Seco	25.42	25.16	25.29	
Peso de suelo seco	11.90	11.70	11.80	
Peso de agua	2.28	2.28	2.28	
% humedad	19.2	19.5	19.3	
			<b>RESULTADO</b>	
<b>LIMITE LIQUIDO</b>				25.2
<b>LIMITE PLASTICO</b>				19.3
<b>INDICE PLASTICO</b>				5.9

Fuente: Elaboración propia.

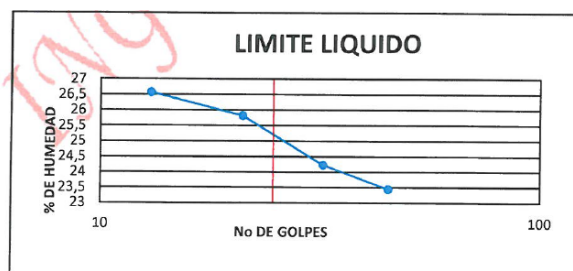


Figura 11. Límites Líquido – límite plástico C-01.

Fuente:

**Tabla 10**

*Límites Líquido – límite plástico C-02.*

<b>LIMITE LIQUIDO</b>				
Muestra N°	4	3	2	1
Peso de capsula	13.48	14.36	14.76	14.54
Peso de capsula + Suelo Humedo	28.92	29.88	29.86	31.62
Peso de capsula + Suelo Seco	25.40	26.22	26.22	27.46
Numero de Golpes	48	34	20	13
Peso de suelo seco	11.92	11.86	11.46	12.92
Peso de agua	3.52	3.66	3.64	4.16
% humedad	39.5	30.9	31.8	32.2
<b>LIMITE PLASTICO</b>				
Muestra N°	1	2	3	
Peso de capsula	13.74	13.46	13.96	
Peso de capsula + Suelo Humedo	23.38	25.60	23.62	
Peso de capsula + Suelo Seco	21.80	23.60	22.05	
Peso de suelo seco	8.06	10.14	8.09	
Peso de agua	1.58	2.00	1.57	
% humedad	19.6	19.7	19.4	
				<b>RESULTADO</b>
<b>LIMITE LIQUIDO</b>				31.4
<b>LIMITE PLASTICO</b>				19.6
<b>INDICE PLASTICO</b>				11.9

Fuente: Elaboración propia.

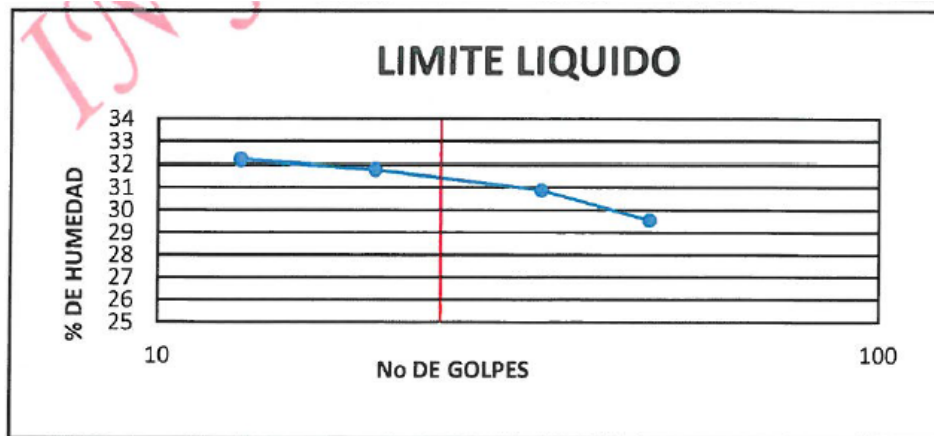


Figura 12. Límites líquido – límite plástico C-01.

Fuente:

A. Se realizó la prueba Proctor modificada en el suelo regular para pensar en el contenido de agua y el peso unitario de los suelos secos. A. La prueba Proctor ajustada se realizó en el suelo regular para pensar en el contenido de agua y el peso unitario de los suelos secos. Como indica I. A. MTC da tres opciones en contraste con I. A. La presión del suelo del centro de investigación utilizando una energía alterada.

Estrategia "A"

- La forma es de 100 y uno.6 mm (cuatro pulgadas) de distancia a través.
- Se utiliza el tejido que pasa por el colador N° four (cuatro,75 mm).
- La cantidad de capas es de 5.
- Hay 25 golpes para cada capa.
- Se utiliza cuando el 20% o menos de la pesadez de los materiales se detiene en el colador n° 4.

Técnica "B".

- La forma es de 100 y uno 6 mm (cuatro pulgadas).
- La tela se pasa por el colador de cuatro pulgadas.
- La cantidad de capas es de cinco.

- Hay 25 golpes para cada capa.
- Se utiliza cuando más del 20% de la pesadez del ejemplo se detiene en el colador nº 4 y el 20% o menos de la pesadez del tejido se detiene en el colador nº 4.

Estrategia "C".

- La forma es de 152,4 mm (6 pulgadas).
- La textura se tamiza a través del colador en pulgadas.
- La cantidad de capas es de cinco.
- Se realizan 56 golpes por capa.
- Se utiliza cuando más del 20% de la pesadez de la textura se detiene en el tamiz en pulgadas y menos del 30% del peso se detiene en el colador en pulgadas.

La estrategia C se utilizó para los ejemplos, ya que se comprueba que el % del peso recogido mantenido es más notable que el 20% en el tamiz del número cuatro. Aplicando la técnica C, se inició el Proctor modificado.

Se debe notar que, para lograr su mayor espesor y contenido de humedad ideal, se agregaron varias tasas a la prueba I. A. Se agregaron cinco tasas únicas de agua: cinco,36%, ocho,23%, 10,30%, 18,38% y 23,Cuarenta y dos%. La técnica se completó con la estrategia aplicada.

- Utilizar una cantidad normal de 2,3 kg del suelo tamizado para cada ejemplo a compactar en el momento de utilizar la estrategia C.
- Añadir las cantidades fundamentales de agua.

A raíz de la restauración, si es fundamental, cada ejemplo se empaquetará de la manera adjunta:

- Apuntar la masa de la forma y la placa de patrocinio.
- Asegurar la forma y el cuello a la placa base.
- Compactar el ejemplo en cinco capas. Después del empaquetado, debe tener un grosor similar para cada recubrimiento.
- Aplicar 56 golpes para cada recubrimiento.

- Después de I. A. Empaquetar el último revestimiento, eliminar el collar y la placa de soporte.
- Prueba de compactación de I. A.
- Se registra I. A. Masa del ejemplo y se registra la forma.
- Finalmente, se saca el ejemplo de la forma para adquirir el contenido de humedad.

**Tabla 11**  
*Proctor Modificado c-01.*

<b>Molde n°</b>	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>		<b>4</b>		<b>5</b>	
Peso del suelo húmedo +molde (gr)	7216.00		7537.00		7747.00		7664.00		7459.00	
Peso del molde (gr)	2846.00		2846.00		2846.00		2846.00		2846.00	
Peso del suelo húmedo sin molde (gr)	4370.00		4691.00		4901.00		4818.00		4613.00	
Volumen del molde (Cc)	2105		2105		2105		2105		2105	
Densidad humedad (tn/m3)	2.08		2.23		2.33		2.29		2.19	
<b>Capsula N°</b>	<b>1</b>		<b>2</b>		<b>3</b>		<b>4</b>		<b>5</b>	
Peso de capsula (gr)	23.56	23..28	23.76	23.46	23.18	23.54	23.64	24.50	11.38	23.36
Peso de capsula + suelo húmedo (gr)	88.58	84.94	80.84	76.20	74.68	77.86	73.34	70.34	63.02	81.04
Peso capsula + suelo seco (gr)	86.68	82.96	78.16	73.50	71.24	74.22	68.14	66.16	56.02	73.58
Peso suelo húmedo (gr)	1.90	1.98	2.68	2.70	3.44	3.64	5.20	4.18	7.00	7.46
Peso de suelo seco	63.12	59.68	54.40	50.04	48.06	50.68	44.50	41.66	44.64	50.22
Contenido de humedad (w)	3.01	3.32	4.93	5.40	7.16	7.18	11.69	10.03	15.68	14.85
Contenido de humedad real	3.16		5.16		7.17		10.86		15.27	
Densidad seca (tn/m3)	2.01		2.12		2.17		2.06		1.90	
<b>HUMEDAD ÓPTIMA (%)</b>			<b>7.17</b>							
<b>DENSIDAD SECA MAXIMA (Tn/m3)</b>			<b>2.17</b>							

Fuente: Elaboración propia.

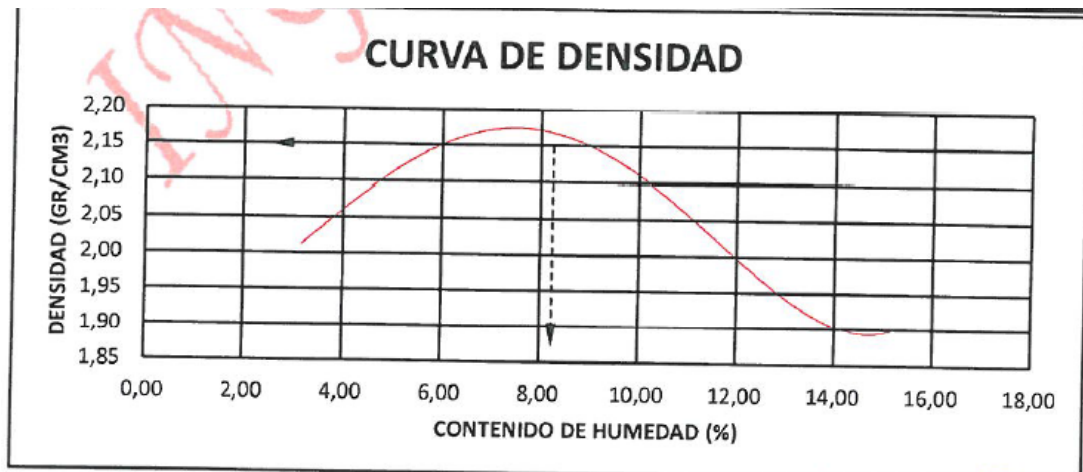


Figura 13. Curva de Densidad C-01.

Fuente:

**Tabla 12**  
Proctor Modificado c-02.

Molde n°	1		2		3		4		5	
Peso del suelo húmedo +molde (gr)	6756.00		6980.00		7312.00		7250.00		7148.00	
Peso del molde (gr)	2848.00		2848.00		2848.00		2848.00		2848.00	
Peso del suelo húmedo sin molde (gr)	3908.00		4132.00		4464.00		4402.00		4336.00	
Volumen del molde (Cc)	2105		2105		2105		2105		2105	
Densidad humedad (tn/m3)	1.86		1.96		2.12		2.09		2.06	
Capsula N°	1		2		3		4		5	
Peso de capsula (gr)	20.56	20.30	19.70	19.48	19.90	20.08	23.10	22.10	22.58	22.37
Peso de capsula + suelo húmedo (gr)	71.16	74.58	64.20	53.20	54.16	54.14	65.00	63.00	64.50	64.50
Peso capsula + suelo seco (gr)	66.76	69.86	59.42	49.40	49.10	49.10	58.00	56.05	56.50	56.48
Peso suelo húmedo (gr)	4.40	4.72	4.78	3.80	5.06	5.04	7.00	6.95	8.00	8.02
Peso de suelo seco	46.20	49.56	39.72	29.92	29.20	29.02	34.90	33.95	33.92	34.11
Contenido de humedad (w)	9.52	9.52	12.03	12.70	17.33	17.37	20.06	20.47	23.58	23.51
Contenido de humedad real	9.52		12.37		17.35		20.26		23.55	
Densidad seca (tn/m3)	1.70		1.75		1.81		1.74		1.67	
<b>HUMEDAD ÓPTIMA (%)</b>					<b>17.35</b>					
<b>DENSIDAD SECA MAXIMA (Tn/m3)</b>					<b>1.81</b>					

Fuente: Elaboración propia.

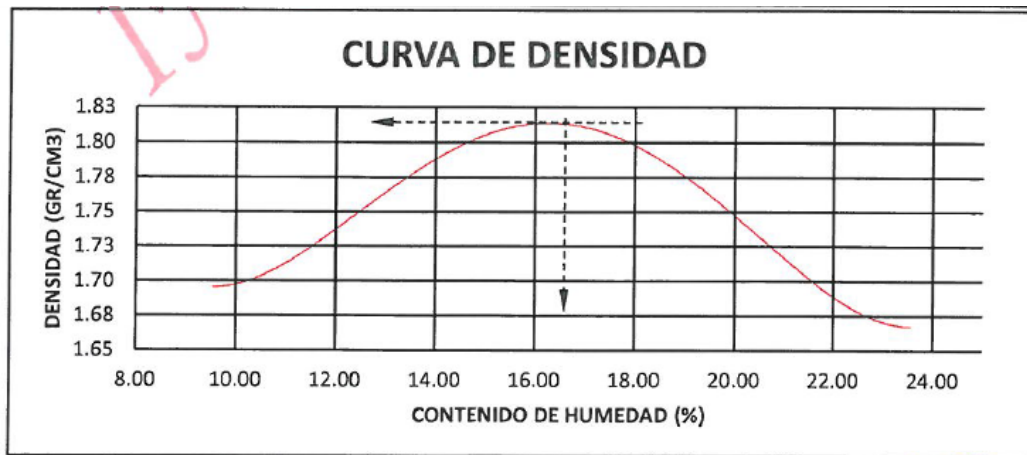


Figura 14. Curva de Densidad C-02.

Fuente:

Se realiza la prueba CBR, para llegar a l. A. Límite de carga de la tierra. En este sentido, se realizó la estrategia adjunta:

- El ejemplo pasó por el Tamiz N°4 y la mayor parte fue extraída para realizar la prueba CBR.
- el mayor espesor fueron caracterizados a través de la prueba de compactación.
- La prueba se hace dando golpes de 12, 25 y 56 por capas con varias humedades con el A. A. Razón de realizar una familia de compactación. A. La razón para lograr un grupo de curvas que muestran la correlación entre el peso particular, la humedad y la proporción del límite de carga.
- Después de la presión, se saca el collarín y se enrasa el ejemplo con un aparato de enrasar.
- El encofrado se elimina y se vuelve a girar sin placa separadora. A continuación, se coloca una lámina de canal entre el encofrado y la base.
- Se coloca una placa perforada en el exterior del ejemplo volteado.
- En la placa se colocan anillos importantes para completar un factor de prensado que hace la sobrecarga. La sobrecarga general no debe ser inferior a 4,50 kg.
- Para calcular la expansión, el montaje de estimación con sus piernas se pone en los bordes de la forma. Su traducción del día y l. A. Tiempo. Entonces, en ese punto, la forma se establece en el tanque con l. A. A. Exceso utilizado dejando un paso



libre del agua en I. A. Base y progresó parte del ejemplo. El ejemplo se mantiene en estas condiciones durante 4 días.

- Una vez terminada la etapa de empapado, evaluar de nuevo los mensajeros celestes en expansión. Entonces, en ese momento, se elimina la forma del tanque y se descarga el agua detenida de la parte alta. Se agota durante 15 minutos y se eliminan la sobrecarga y la placa y después se pesa para continuar con la prueba de entrada.

- La sobrecarga se utiliza para aplicar un tamaño de pila equivalente al peso del asfalto de al menos 4,54 kg. Para evitar la presión en el interior del pozo con las cargas de la sobrecarga, el cilindro debe situarse después de que la sobrecarga primaria se coloque en el ejemplo. Se utiliza una carga de cinco kg para situar el cilindro.

- Un peso es u.S.A. en el cilindro de presentación con una velocidad comparable de 1,27 mm cada momento. Se limita a través del deformímetro de adición y un cronómetro.

- Se anotan las traslaciones de I. A. Burden.

**Tabla 13**  
*Penetración C-01.*

CTE. ANILLO = 1.0115*DIV-0.1772 ARENA PISTON 3.0 PULG cuadradas			MOLDE N°1 56 GOLPES			MOLDE N°2 25 GOLPES			MOLDE N°3 12 GOLPES		
Tiempo	PENETRACION		Dial	Carga	Esfuer.	Dial	Carga	Esfuer.	Dial	Carga	Esfuer.
	(mm)	(pulg)		Lb	PSI		Lb	PSI		Lb	PSI
0.5 min	0.64	0.025	44	44	15	75	76	25	33	33	11
1.0 min	1.27	0.050	167	169	56	212	215	72	83	84	28
1.5 min	1.91	0.075	440	444	148	411	416	139	145	146	49
2.0 min	2.54	0.100	846	856	285	619	626	209	198	200	67
4.0 min	5.08	0.200	2465	2493	831	1167	1180	393	339	343	114
6.0 min	7.62	0.300	3134	3170	1057	1514	1531	510	419	424	141
8.0 min	10.16	0.400	3580	3621	1207	1813	1834	611	490	496	165
10.0 min	12.70	0.500	3580	3621	1207	1813	1834	611	490	496	165

Fuente: Elaboración propia.

MAXIMA DENSIDAD SECA(kg/m3) =	2,17	CBR AL 95% DE MDS =	19,4%
HUMEDAD OPTIMA (%) =	7,17%	CBR AL 100% DE MDS =	28,5%

Figura 15. CBR C-01.

Fuente:

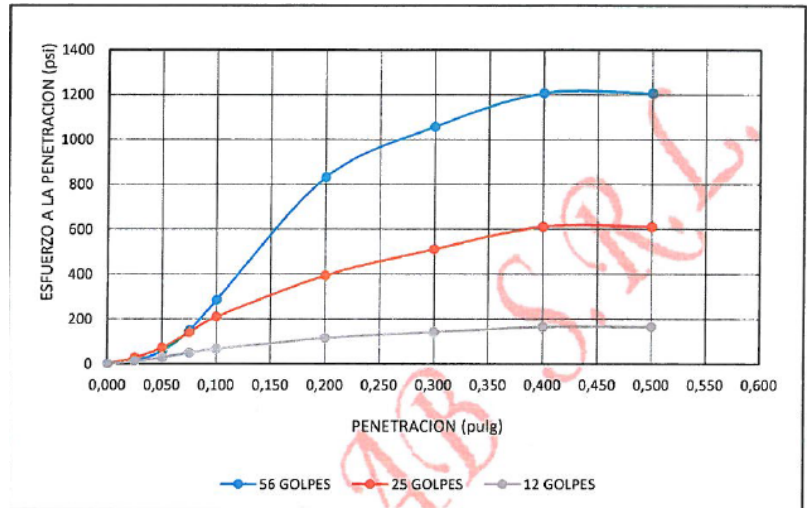


Figura 16. Esfuerzo a la penetración.

Fuente:

**Tabla 14**  
Penetración C-02.

CTE. ANILLO = 1.0115*DIV-0.1772		MOLDE N°1			MOLDE N°2			MOLDE N°3			
ARENA PISTON 3.0 PULG cUADRADAS		56 GOLPES			25 GOLPES			12 GOLPES			
Tiempo	PENETRACION		Dial	Carga	Esfuer.	Dial	Carga	Esfuer.	Dial	Carga	Esfuer.
	(mm)	(pulg)		Lb	PSI		Lb	PSI		Lb	PSI
0.5 min	0.64	0.025	22	23	8	18	18	6	13	13	4
1.0 min	1.27	0.050	79	79	26	56	57	19	34	34	11
1.5 min	1.91	0.075	169	170	57	135	136	45	90	91	30
2.0 min	2.54	0.100	247	250	83	202	204	68	157	159	53
4.0 min	5.08	0.200	495	500	167	450	455	152	371	375	125
6.0 min	7.62	0.300	674	682	227	607	614	205	517	523	174
8.0 min	10.16	0.400	787	796	265	674	682	227	585	591	167

Fuente: Elaboración propia.

MAXIMA DENSIDAD SECA(kg/m3) =	<b>1.81</b>	CBR AL 95% DE MDS =	<b>6.0%</b>
HUMEDAD OPTIMA (%) =	<b>17.35%</b>	CBR AL 100% DE MDS =	<b>8.3%</b>

Figura 17. CBR C-02.

Fuente:

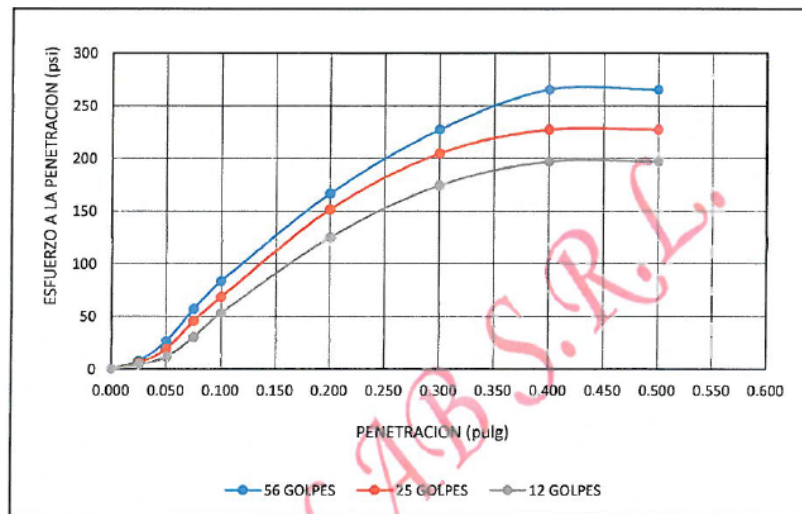


Figura 18. Esfuerzo a la penetración.

Fuente:

**Tabla 15**

Resultados de Clasificación de Suelo con 8% de ceniza de cebada c-01.

RESULTADO DEL SUELO	
METODO	CENIZA DE CEBADA 8%
Clasificación SUCS	SM (Arena Limosa)
Clasificación ASSTHO	A-2-4

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 16**

*Resultados de Clasificación de Suelo con 8% de ceniza de cebada c-02.*

RESULTADO DEL SUELO	
METODO	CENIZA DE CEBADA 8%
Clasificación SUCS	ML (Limo Inorgánico)
Clasificación ASSTHO	A-4

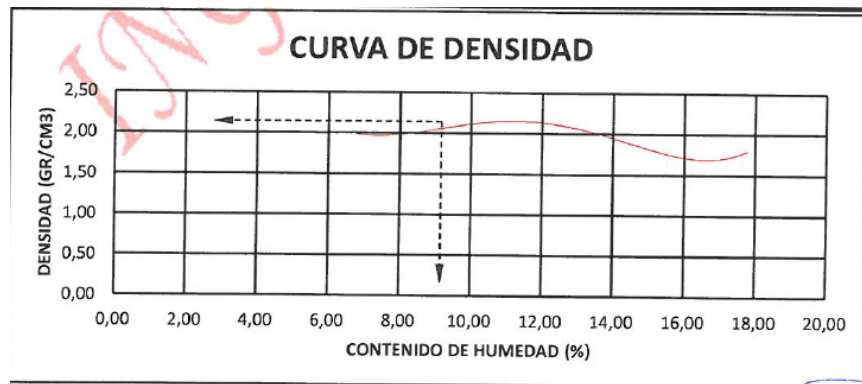
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 17**

*Comparación de Proctor modificado 8% con ceniza de cebada.*

Proctor Modificado Con Ceniza De Cebada 8%		
Muestras	Densidad Seca Máxima (Tn/cm <sup>3</sup> )	Humedad Optimo (gr/cm <sup>3</sup> )
C-01	2.14	11.90
C-02	2.17	7.24

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 19. Humedad-Densidad con 8% ceniza de cebada C-01.*

Fuente:

Se muestra en la figura que la densidad máxima disminuye al adicionando ceniza de cebada y el contenido de humedad sube en un rango nota elevado.

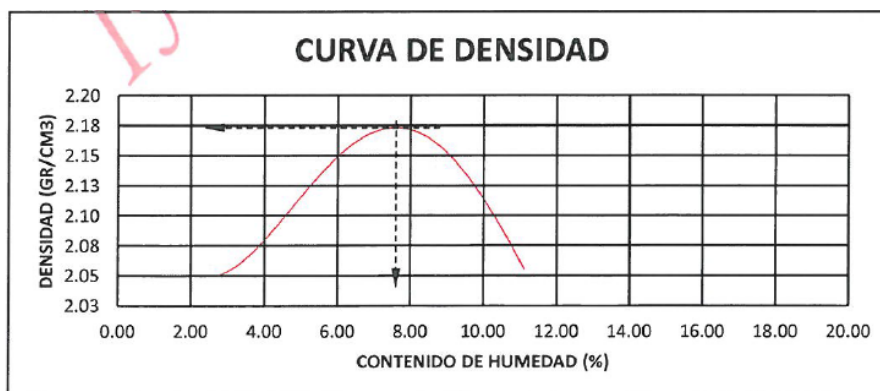


Figura 20. Humedad-Densidad con 8% ceniza de cebada C-02.

Fuente:

Se muestra en la figura que la densidad máxima disminuye en gran proporción al adicionando ceniza de cebada y el contenido de humedad sube en un rango nota elevado.

**Tabla 18**  
Resultado de CBR al 95%.

Resultados de CBR 95%		
Muestra	CBR 95%	CBR 95% ceniza de cebada 8%
C-01	19.4	11.1%
C-02	6.0	12.2%

Fuente: Elaboración propia.

Se ve claramente q en la calicata numero 1 el CBR disminuye ya q es un suelo con un CBR muy bueno, pero ocurre todo lo contrario con la calicata numero 2 ya que su CBR es muy malo y la ceniza de cebada lo mejora con un 6.6%.

**Tabla 19**  
Resultado de CBR al 100%.

Resultados de CBR 100%		
Muestra	CBR 100%	CBR 100% ceniza de cebada 8%
C-01	28.5	13.4%
C-02	8.3	17.0%

Fuente: Elaboración propia.

Se ve claramente q en la calicata numero 1 el CBR disminuye ya q es un suelo con un CBR muy bueno, pero ocurre todo lo contrario con la calicata numero 2 ya que su CBR es muy malo y la ceniza de cebada lo mejora con un 8.7%

## **V. Discusión**

Hipótesis general: La aplicación de ceniza de cebada perfecciona la estabilidad de la subrasante de la vía de acceso al vertedero del Provincia Andahuaylas Apurímac, 2021

Con los ensayos obtenidos y los resultados de los objetos específicos y generales de la investigación:

Mejoramiento de la Subrasante Adicionando Ceniza de Cebada para el Acceso al Vertedero de la Provincia de Andahuaylas Apurímac – 2021, se muestra la conversación dependiente de la correlación con las investigaciones pasadas y las bases hipotéticas, identificadas con el punto tendido en el examen.

Para determinar la porción de ceniza de cebada a emplear se debe determinar mediante pruebas y ensayos las condiciones constituidas en la norma para la mezcla de suelo-ceniza de cebada

La proporción de adición de ceniza de cebada se consiguió una variable del 8%.

## **VI. Conclusiones**

1. En relación al objetivo general, gracias a los resultados obtenidos, se resolvió que la utilización de ceniza de cebada trabaja en la estabilidad de la subrasante del acceso al vertedero de la provincia de Andahuaylas Apurímac 2021. Se concluyó que el porcentaje de ceniza de cebada es el 8 % respecto a la calicata numero 2 00+310 con tipo de suelo limoso inorgánico.
2. Se determinó que la aplicación de ceniza de cebada mejora la plasticidad de la subrasante, debido a que se comprobó que el suelo natural nos da un 19.6% y adicionando la ceniza de cebada nos da un resultado del 23.6% en la calicata número 2.
3. Se determinó que la aplicación de ceniza de cebada mejora la compactación de la subrasante al 8% de la aplicación con ceniza de cebada, se puede afirmar que si mejoró en los grados óptimos de compactación, se llevó a cabo la prueba de Proctor modificado de la calicata C-02 y se obtuvo resultados de la densidad máxima seca siendo 2.17tn/m<sup>3</sup> y humedad optima siendo el máximo 14.1.
4. Se determinó que la aplicación de la ceniza de cebada mejora la resistencia del suelo. Se estableció que el empleo del 8% de la ceniza de cebada en peso de suelo se obtuvo aumento de la capacidad de soporte en el suelo limoso inorgánico de 8.3% a 17 % alcanzando un progreso de 8.7 % con el uso de la ceniza de cebada.



## **VII. Recomendaciones**

Para una estabilización adecuada, es indispensable delimitar el tipo de suelo, por ello se sugiere realizar los análisis físicos mecánicos para determinar la granulometría ,límite líquido , límite plástico ,índice de Proctor ,CBR y demás ensayos.

Si se realiza los ensayos de los límites de consistencia agregando ceniza de cebada, es recomendable colocar en un lugar fresco ya que este producto al estar en la intemperie puede captar la humedad del ambiente y posterior variar el resultado.

Es recomendable no aplicar la ceniza de cebada en suelos con poca presencia de arcilla expansiva.

Se recomienda el uso de la ceniza de cebada para el suelo limos, arcilla y arenas arcillosas con un contenido de arcilla mayor al 40%.

## REFERENCIAS

- Actividad Puzolánica de las Tobas Pumíticas de la Zona Metropolitana de Guadalajara.* Vargas, del Rio David, Zarate, del Valle Pedro, Gutierrez y Pulido Humberto. 2005. 9, Guadalajara : s.n., 2 de Noviembre de 2005, Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, Vol. 3, pág. 2.
- Almajmaie, Abbas, y otros. 2017. *Influence of Soil Properties on the Aggregate Stability of Cultivated Sandy Clay Loams.* 2017.
- Altintas, Emre. 2013. *An Investigation on Liquid Limit of Clays by Differently Shaped Penetration Cones.* 2013.
- Braja, M. Das. 2001. *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica.* [ed.] Cengage Learning Latin Am. 2001.
- Caamaño, Murillo Iván Alberto. 2016. *Mejoramiento de un suelo blando de subrasante mediante la adición de cascarilla de arroz y su efecto en el módulo resiliente.* Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá : s.n., 2016.
- Carrasco, Díaz Sergio. 2008. *Metodología de la investigación científica : pautas metodologicas para.* Lima : San Marcos, 2008.
- Castro, Cuadra Axel Franco y Scipión, Pinella Eddy Teófilo. 2017. *Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cascara de arroz para el mejoramiento de subrasante.* Universidad Nacional de Ingeniería. Lima : s.n., 2017.
- CEDEX. 2014. *Cenizas procedentes de la biomasa.* Madrid : s.n., 2014. pág. 1, 8 , 9.
- Conelly, J, Jensen, W y Harmon, P. 2008. *Proctor Compaction Testing. Construction Managment Program.* University Of Nebraska Lincoln. Nebraska : s.n., 2008.
- Ekeocha, NE y Egesi, N. 2014. *Evaluation of Subgrade Soils using California Bearing Ratio (Cbr) in Parts of Rivers.* Universidad de Puerto Harcourt. Puerto Hardcourt : s.n., 2014.
- Elsedig, Suhair Abdal Sadig. 2010. SUST Repository. [En línea] 01 de Octubre de 2010. <http://repository.sustech.edu/handle/123456789/8309>.
- Gongora, Velasquez Cinthia Karel. 2019. *Influencia de la cal y el cemento portland tipo I en la subrasante de la trocha del Provincia de Chillia, provincia de Patas - 2019.* Universidad Privada del Norte. Trujillo : s.n., 2019.

- Greeshma, Chandrakaran y Sankar. 2017. *Accelerated Subgrade Stabilization Using Enzymatic Lime Technique* *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2017. pág. 29.
- Haseeb, Jamal. 2017. About Civil. [En línea] 16 de Abril de 2017. <https://www.aboutcivil.org/california-bearing-ratio-test.html>.
- Hazel, Davidson. 2009. AWE International. [En línea] 12 de Octubre de 2009. <https://www.aweimagazine.com/article/methods-of-soil-analysis-a-summary-of-some-of-the-many-methods-of-soil-analysis-265/>.
- Hernández, Lara Josué Arístides, Mejía, Ramirez David Remberto y Zelaya, Amaya César Eduardo. 2016. *Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador*. Universidad de El Salvador. San Miguel : s.n., 2016.
- Hernández, Sampieri Roberto, Fernández, Collado Carlos y Baptista, Lucio Pilar. 2014. *Metodología de la investigación*. 6 s.l., México : Mc Graw Hill Education, 2014.
- Hurtado, Sánchez Emerson y Ricra, Leguia Reynaldo. 2020. *Aplicación de Cal para Mejorar la Estabilidad de la Subrasante en la Calle Wiracocha, Provincia y Provincia de Andahuaylas, 2020*. Universidad César Vallejo. Andahuaylas : s.n., 2020. pág. 25, 27, 28, 29, 34, 35.
- Juarez, Badillo, Rico y Rodriguez. 2005. *Mecánica de Suelos*. [ed.] Noriega Editores. s.l. : Limusa , 2005. pág. 41.
- Kazemian, Sina y Huat, Bujang. 2010. *Assessment of Stabilization Methods for Soft Soils by Admixtures*. Universitdad Putra Malaysia . Kuala Lumpur : s.n., 2010. pág. 1.
- Kerlinger, Fred N. y Howard, Burton Lee. 2002. *Investigación del comportamiento*. 4 s.l., México : McGraw-Hill/Interamericana, 2002.
- Larosa. 2015. La Rosa Agroexportadora. [En línea] 06 de Octubre de 2015. <http://larosa-agroexportadora.com/index.php/2015/10/06/paja-de-cereales/>.
- Leferve, Walter. 1966. *Soil Plasticity Dependency on Surface Area*. College of Texas. Texas : s.n., 1966. págs. 17-18.
- Lozano, Bocanegra Eugenio, Ruiz, Ramos José Miguel y Carlos, Alfonso Juan. 2015. *Análisis del mejoramiento de un suelo de subrasante con un aditivo orgánico*. Universidad Católica de Colombia. Bogotá : s.n., 2015.

Makusa, G. 2012. *Soil Stabilization Methods and Materials*. Universidad Tecnológica de Lulea de Suecia. Lulea : s.n., 2012.

Marroquín, Peña Roberto. 2012. Metodología de la Investigación. 2012.

Martínez, Franklin. 2021. Ecosur Network. [En línea] 18 de Julio de 2021. <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:71UZrJXSTMUJ:https://www.ecosur.org/index.php/es/ecomateriales-2/cemento-puzolanico/716-cemento-puzolanico+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=pe>.

Mathew, Tom. 2009. Department of Civil Engineering, IIT Bombay. [En línea] 03 de Agosto de 2009. [https://www.civil.iitb.ac.in/tvm/1100\\_LnTse/403\\_InTse/plain/plain.html](https://www.civil.iitb.ac.in/tvm/1100_LnTse/403_InTse/plain/plain.html).

Mejía, Mejía Elías. 2005. Técnicas e instrumentos de investigación. 1 Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2005.

*Mejoramiento de subrasantes de tipo arcilloso mediante la adición de escoria de acero*. Ospina, García Miguel Ángel, Chaves, Pabón Saieth Baudilio y Jiménez, Sicachá Luis Miguel. 2021. 1, Boyacá : s.n., 2021, Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación, Vol. 11, págs. 185-196.

Péterfalvi, József. 2015. *Evaluation of the Effect of Lime-Stabilized Subgrade on the Performance of an Experimental Road Pavement*. 2015. pág. 36.

Rico, A y Del Castillo, H. 1974. *La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres* . s.l. : Limusa SA, 1974.

Rodríguez, Juan. 2019. Small Business. [En línea] 05 de Mayo de 2019. <https://www.thebalancesmb.com/what-is-a-subbase-or-subgrade-844583>.

Sabino, Carlos. 1992. El proceso de investigación. s.l., Caracas, Venezuela : Panapo - Caracas - Lumen-Humánitas, Buenos Aires, 216 p., 1992.

Showman, Sara Jean. 2012. *The Impact of Soil Moisture Content and Particle Size Variations on Heat Flow in Laboratory Simulated Wildfires*. Universidad de Iowa. 2012.

Silva, Bermejo Jhonny Cris. 2019. *Influencia de la adición de la mezcla ceniza volante de cascarilla de cebada con cal en las propiedades físicas y mecánicas en el suelo de Buenos Aires Provincia de Victor Larco Herrera - Trujillo - La Libertad - 2018*. Universidad Privada de Trujillo. Trujillo : s.n., 2019.

Soderlund. 2018. *Stabilization of Soft Soil with Lime and Petrit*. Universidad Tecnológica de Luleå de Suecia. Lulea : s.n., 2018.

UNAM Global. 2019. UNAM Global. [En línea] 11 de Abril de 2019. <https://unamglobal.unam.mx/revelan-una-nueva-estrategia-para-la-produccion-de-biocombustibles-a-partir-de-la-paja/>.

Valderrama, Mendoza Santiago. 2016. Pasos Para Elaborar Proyectos de Investigacion Científica. s.l., Perú : Editorial San Marcos E.I.R.L., 2016.

Vásquez, Zamora Jaime Luis y Marín, García Christian Wilson. 2020. *Efecto de la cal como estabilizante de una subrasante de suelo arcilloso en carreteras no pavimentadas en selva baja. Aplicación carretera Ex Petroleros, Loreto*. Universidad Científica del Perú. San Juan Bautista : s.n., 2020.

Wiley y Sons. 2008. *Pavement Design and Materiales*. Nueva Jersey : s.n., 2008.

# **ANEXOS**

**Anexo 01.**  
**Panel fotográfico**

**PANEL FOTOGRAFICO DE TRABAJOS EN CAMPO**

**Figura 1: Calicata C-01**



**Figura 2: Profundidad 1.50 m**





**Figura 3: Acceso al vertedero de la provincia de Andahuaylas**



**Figura 4: Calicata C-02**



**Figura 5: Muestra llevadas al laboratorio**



**Figura 6: Muestras lavado para tamiz de Granulometría**



Figura 7: tamiz de Granulometría



Figura 8: Añadiendo ceniza de cebada a la muestra



## Foro 9: Granulometría de la ceniza de cebada



Figura 10: Copa casa grande



**Figura 11: Corte horizontal y vertical en casa grande**



**Ensayo de Proctor Modificado y CBR**

**Figura 12: Muestra**



Figura 13: Aplicando los 56 golpes



Figura 14: Peso de la ceniza de cebada



**Figura 15: Adición de la ceniza de cebada 8%**



**Figura 16: Mezclando la muestra con la ceniza de cebada**



## Ensayo CBR

Figura 17: Ensayo CBR con suelo natural y ceniza de cebada



Figura 18: Ensayo CBR con expansión





Figura 19: CBR –Penetración ceniza de cebada



Figura 20: Ensayo De Limite Liquido y Limite Plástico



**Figura 21: Ensayo de Límite Líquido, Límite Plástico, Índice de Plasticidad y Porcentaje De Humedad**



## **Anexo 2.**

### **Estudio de ceniza de cebada**

**INFORME DE ENSAYO  
IE-230821-02**

**1. DATOS DEL CLIENTE**

- 1.1 Cliente : EDDISON RONALD ALEGRIA ACUÑA  
1.2 RUC/DNI : 70424741  
1.3 Dirección : No precisa

**2. FECHAS**

- 2.1 Inicio : 24 de Agosto de 2021  
2.2 Fin : 31 de Agosto de 2021  
2.3 Emisión de informe : 01 de Agosto de 2021

**3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO**

- 3.1 Temperatura : 20.2 °C  
3.2 Humedad Relativa : 53 %

**4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA**

- 4.1 Ensayo solicitado : ANALISIS QUIMICO (Composición por FRX)  
4.2 Método Utilizado : Fluorescencia de Rayos X

**5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA**

Tabla N°1: Datos de la muestra analizada

Código Interno de Muestra	Tipo de Muestra	Descripción
S-2237	Ceniza	PROCTOR MODIF. C3 8% CENIZA DE CEBADA Muestreado por el cliente

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANALISIS QUIMICOS SAC.



Diego Sotomayor Verdery  
QUÍMICO  
CQP. 1837