



EN LA UAP  
TÚ ERES PARTE  
DEL CAMBIO

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

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

**USO DE MEZCLA CAL- CENIZAS DE CASCARA DE ARROZ PARA  
MEJORAMIENTO DE LA CBR EN EL CAMINO VECINAL  
MADAMA - SAN ISIDRO - TORMENTA DISTRITO LAS  
PIEDRAS, MADRE DE DIOS, 2022.**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**JIM BRIYAM LONAZCO MENDEZ**

**ORCID 0000-0003-0186-8226**

**ASESOR**

**MTR. ENRIQUE ESPINOZA MOSCOSO**

**ORCID 0000-0001-9535-6656**

**LIMA – PERU, 2022**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de investigación va dirigida a mi madre y a mi padre, cuyo amor, paciencia y dedicación hicieron posible que cumpliera mi sueño de ser profesional.

Asimismo, a mis hermanos, familiares y amigos que me dieron el apoyo incondicional de estar en mis mejores y peores momentos a ellos les dedico este logro.

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos agradecer especialmente a nuestro asesor, por su contribución y orientación durante el desarrollo del presente trabajo de suficiencia profesional.

Asimismo, agradezco a las personas y colegas que me han apoyado durante todo el proceso de preparación de la investigación.

Asimismo, a mis padres, que me apoyaron en mi formación.

## RESUMEN

Este trabajo de suficiencia, se realizó con el objetivo de determinar en qué medida el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará la CBR en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022. El tipo de investigación fue aplicada con diseño experimental y de nivel explicativo, la muestra de la investigación fueron 03 Calicatas del camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios, la técnica utilizada para la obtención de datos fue la observación experimental, para los cual se utilizó como instrumento la guía de observación (formatos de análisis de suelos).

Los resultados de la investigación confirman que el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejora significativamente la CBR del camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022, puesto que el valor de Sig. (0,000) es menor a 0,05. La densidad del suelo disminuye y la humedad óptima de compactación aumenta con la adición de cal y cenizas de cáscara de arroz, siendo las variaciones de estas dos propiedades más relevantes cuando se mantiene el porcentaje de cal y aumenta el de cenizas de cáscara de arroz; Para cumplir con el 20% mínimo de Índice de Soporte de California para la capa de subrasante, las mezclas de suelo arcilloso con cenizas de cáscara de arroz necesitan ser ayudadas con adiciones de cal; Del mismo modo, el uso de mezclas de suelo arcilloso con cenizas de cáscara de arroz necesitan adiciones de cal para obtener una expansión inferior al 1%, requerida para el uso de suelos como subrasante de pavimento.

**Palabras claves:** Proctor modificado, cal, cenizas de cáscara de arroz, límite líquido, límite plástico y resistencia.

## ABSTRACT

The research was carried out with the objective of determining to what extent the use of lime-rice husk ash mixture will improve the CBR in the Madama-San Isidro-Tormenta District Las Piedras, Madre De Dios - 2021. The type of research was applied with experimental design and explanatory level, the research sample was 03 pits of the Madama- San Isidro-Tormenta District Las Piedras, Madre De Dios, the technique used to obtain data was experimental observation, for which the observation guide (soil analysis forms) was used as an instrument.

The results of the research confirm that the use of lime-rice husk ash mixture significantly improves the CBR of the Madama-San Isidro-Tormenta District of Las Piedras, Madre De Dios - 2022, since the Sig. value (0.000) is less than 0.05. Soil density decreases and optimum compaction moisture increases with the addition of lime and rice husk ash, being the variations of these two properties more relevant when the percentage of lime is maintained and the percentage of rice husk ash increases; To comply with the minimum 20% California Bearing Index for the subgrade layer, clayey soil mixtures with rice husk ashes need to be aided with lime additions; Similarly, the use of clayey soil mixtures with rice husk ashes need lime additions to obtain an expansion of less than 1%, required for the use of soils as pavement subgrade.

**Key words:** Modified Proctor, lime, rice husk ash, liquid limit, plastic limit and streng.

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo de suficiencia profesional cuyo fin es mejorar las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos, a la adición de uso de mezcla cal-cenizas de cascara de arroz mejorara la CBR en el camino vecinali Madama- San ilsidro-iTormenta Distrito Las iPiedras, Madre De Dios, la sociedad moderna es cada vez más exigente con los materiales de construcción disponibles en el imercado. Una de las irazones es el creciente desarrollo de las nuevas tecnologías. La elección de un material ya no sólo tiene en cuenta el coste inicial. Hoy en día, también hay que tener en cuenta factores como la durabilidad, el consumo de energía y la interacción con el medio ambiente, ya que influyen directamente en el coste total del producto final. Ya desde la década de los 90, la elección de materiales en el futuro debía responder a: Ingeniería, Economía, Energía y Ecología.

La durabilidad de las estructuras al establecer limitaciones más conservadoras en cuanto al recubrimiento mínimo de la armadura, la iresistencia característica a la compresión y la relación iagua-cemento. Esto ha desencadenado la búsqueda de materiales más duraderos que proporcionen, por tanto, estructuras con una vida útil más larga.

Los requisitos de la norma y la búsqueda de soluciones ecológicamente correctas han hecho propicio el uso de adiciones minerales en la producción de compuestos a base de cal. Además, las adiciones mineras reducen el coste final de la estructura y mejoran la resistencia mecánica y la durabilidad de los compuestos en los que se utilizan, y también pueden minimizar los problemas medioambientales con la incorporación de residuos industriales contaminantes en la masa de los compuestos (Acuña et al., 2020).

Al observarse el crecimiento de varios sectores industriales, como la fabricación de acero, el sector alimentario, otras tantas industrias, por ejemplo, las de producción de aleaciones, silicio metálico, las de materiales para blanqueo de papel y otros, se generaron numerosos residuos que colaboran en la agresión del medio ambiente. Para lograr un equilibrio, se han buscado varias alternativas para utilizar estos residuos. La cal es el material más consumido en la Tierra, superando incluso al agua (teniendo en cuenta la pérdida tras su tratamiento) y, por este motivo, los compuestos a base de cal se convierten en productos alternativos a los residuos (López, 2021).

Los residuos pueden reaccionar con los productos de hidratación de la cal o quedar encapsulados en el hormigón, evitando así una posible contaminación. En la mayoría de los casos, estos materiales se añaden al Clinker, lo que los convierte en elementos más baratos en la producción de cal. Algunas adiciones permanecen inertes y funcionan como rellenos para el empaquetamiento de partículas (efecto de relleno), otras reaccionan con los hidratos de cal y se comportan como aglutinantes (efecto puzolánico) (Mata, 2010).

Una de las técnicas que se ha estudiado está relacionada con el uso de cenizas procedentes de procesos de generación de energía como adiciones minerales al hormigón. La mayoría de estas cenizas tienen propiedades puzolánicas, es decir, cuando están finamente molidas y en presencia de humedad, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio formando compuestos más densos y menos solubles. En el caso de este trabajo, el núcleo de los estudios se refiere al uso de la cal y la ceniza de cáscara de arroz.

La ceniza de cáscara de arroz es una puzolana, y contribuye en hormigones y morteros tanto por el efecto de relleno como por el efecto puzolánico. Sus principales reacciones químicas beneficiosas son las que se producen con el hidróxido de calcio,

que se transforma de un material poco resistente en un material muy resistente y adherente, con esta reacción, ha sido posible producir, además de un cemento más económico y con menor calor de hidratación, hormigones más resistentes, con porosidad desconectada y mayor resistividad eléctrica, más duraderos frente a diversos medios agresivos.

En la actualidad, las industrias de transformación del arroz siguen siendo las principales consumidoras de cáscara de cereal como combustible para secar y sancochar el arroz. Los cambios que se han producido a lo largo del tiempo en el proceso de elaboración del arroz han obligado a los molinos a generar energía para secar el producto. Lo que antes se hacía con madera, ahora se hace con la incineración de cáscara de arroz y gasóleo. Este proceso genera demasiadas cenizas sin valor comercial que suelen acabar arrojadas a los arroyos o a los terrenos baldíos, causando contaminación de las fuentes de agua y de la atmósfera. Como las empresas suelen ser pequeñas, no disponen de procesos para el uso y la eliminación adecuados de las cenizas producidas. Para minimizar el problema, los organismos medioambientales han intentado regular la eliminación de estas cenizas (Mishra, 2021).

La ceniza de cáscara de arroz ha despertado gran interés en la sociedad científica desde los años 70, principalmente en India y EE.UU., pero sólo a partir de los años 80, cuando la tecnología del hormigón de alto rendimiento tuvo un gran desarrollo, la preocupación por obtener un máximo de puzolanicidad del material se hizo fundamental. La producción de ceniza de cáscara de arroz con alta puzolanicidad permite su uso en lugar de humo de sílice en hormigón de alto rendimiento. La norma americana ASTM C 9891 clasifica la ceniza de cáscara de

arroz, producida en condiciones especiales, como puzolana de alta reactividad, junto con el humo de sílice de hierro-silicio (Silveira et al., 2019).

Una de las razones de interés para el uso de la ceniza de cáscara de arroz es que el volumen de ceniza producido al quemar el arroz y el porcentaje de sílice en la ceniza son grandes en comparación con los residuos de otros productos agrícolas como el maíz, la caña de azúcar, el girasol, el trigo y otros. El bagazo de caña de azúcar y la paja de arroz también son productos con potencial de aprovechamiento de sus cenizas, pero ambos se emplean más como pienso animal (Yuyi et al., 2019).

Por ello el objetivo de la investigación es determinar en qué medida el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará la CBR en el camino vecinal Madama - San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>CARATULA</b>	
<b>DEDICATORIA</b>	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>III</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>V</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>VI</b>
<b>TABLA DE CONTENIDOS</b>	<b>X</b>
<b>CAPITULO I: GENERALIDADES DE LA EMPRESA</b>	
1.1. Perfil de la empresa .	13
1.2. Actividades de la empresa	13
1.2.1 Mision	13
1.2.2 Vision	14
1.2.3 Proyectos Similares	
(Se llena si es que la empresa ha realizado otros proyectos similares).	14
<b>CAPITULO II: REALIDAD PROBLEMATICA</b>	
2.1. Descripción de la realidad problemática	15
2.2. Formulación del Problema	17
2.2.1. Problema General	17
2.2.2. Problemas Específicos	17
2.3. Objetivos del Proyecto	17
2.3.1. Objetivo General	17
2.3.2. Objetivos Específicos	17
2.4. Justificación	18
2.5. Limitantes de la investigacion	18

### **CAPITULO III: DESARROLLO DEL PROYECTO**

3.1. Descripción y diseño del proceso Desarrollado	19
3.1.1 Requerimientos	20
3.1.2 Calculos	25
3.1.3 Dimensionamiento	34
3.1.4 Equipos Utilizados	36
3.1.5 Conceptos Básicos para el Diseño del Piloto	37
3.1.6 Estructura	38
3.1.7 Elementos y funciones	39
3.1.8 Planificación del proyecto	39
3.1.9 Servicios y aplicaciones	40

### **CAPÍTULO IV: DISEÑO METODOLÓGICO**

4.1. Tipo y diseño de investigacion	52
4.2 Método de investigación	52
4.3. Población y Muestra	53
4.4. Lugar de Estudio	53
4.5 Tecnica e Intrumentos para la recoleccion de la informacion	53
4.6 Analisis y Procesamiento de datos	54

### **CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones	55
5.2 Recomendaciones	57

### **CAPÍTULO VI GLOSARIO DE TERMINOS Y REFERENCIAS**

6.1 Glosario de Terminos	59
6.2 Libros	59
6.3 Electronica	60

## **CAPITULO VII INDICES**

7.1 Indices de Graficos	63
7.2 Indice de Tablas	63
7.3 Indice de Fotos	64
7.4 Indice de Direcciones Web	64
7.5 Indice de Elaboracion Propia	64

## **CAPITULO VIII ANEXOS**

ANEXO 1-Costo Total de la investigacion e instalacion del Proyecto Piloto	65
ANEXO 2-Diapositivas utilizadas en la Sustentacion	66

# **CAPITULO I**

## **GENERALIDADES DE LA EMPRESA**

### **1.1. Perfil de la empresa**

El Gobierno Regional de Madre de Dios es una institución con personalidad jurídica de derecho público y con patrimonio propio, encargada de la suprema administración de la provincia de Madre de Dios, Perú, con el fin de promover el desarrollo social, cultural y económico. Está ubicado en la ciudad de Puerto Maldonado, la capital de la región. Está integrado por gobernadores regionales y consejos regionales.

### **1.2. Actividades de la empresa**

De igual manera, el gobierno regional de Madre de Dios, según el Plan Estratégico “Somos un gobierno altamente calificado, eficiente, democrático y popular, comprometido con los intereses de la región y el país y América Latina.

#### **1.2.1. Misión**

El Gobierno Regional de Madre de Dios organiza y ejecuta la administración pública regional de acuerdo con sus atribuciones exclusivas, compartidas y delegadas, promueve el desarrollo integral y sustentable de la región, garantiza la vigencia de los principios y derechos constitucionales y mejora la calidad de vida en el país. su población.

### 1.2.2. Visión

Somos la Capital de la Biodiversidad del Perú con una buena calidad de vida para nuestros ciudadanos, una gobernanza moderna, eficiente, participativa y transparente que impulse el desarrollo con justicia, en un espacio ordenado donde nuestra economía sea competitiva, fomente la inversión privada y la innovación Conservación de la biodiversidad y uso sostenible de los recursos naturales protección, respeto por los medios de vida tradicionales y los pueblos indígenas.

Construir una sociedad democrática andina en la que el pueblo ejerza sus derechos y fortalezca su capacidad de autogobierno a través de la participación social y cívica de hombres y mujeres que se unan, desde las organizaciones e instituciones de la sociedad civil hasta las autoridades regionales y locales, para alcanzar la paz, la libertad y el ámbito social. estado de ánimo de la justicia.

### 1.2.3. Proyectos similares

**Tabla 1.**

*Proyectos Similares Desarrollados y Ejecutados por el Gobierno Regional Madre de Dios.*

<b>Código</b>	<b>Nombre del proyecto</b>	<b>Monto de inversión</b>
243098	Construcción y mejoramiento del camino vecinal bello horizonte - bajo loboyoc, distrito de las piedras, provincia de tambopata - región madre de dios.	S/. 7,774,992.70
122333	Construcción del camino vecinal sabaluyoc - pariamarca, distrito de tambopatamadre de dios	S/. 2,058,193.52

Fuente: Expediente técnico

## **CAPITULO II**

### **REALIDAD PROBLEMATICA**

#### **2.1. Descripción de la realidad problemática**

El camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios, el suelo presenta una uniformidad de suelos fino y plasticidad la cual son los principales factores a fallar en la transitabilidad vial, por consiguiente, genera un problema de tránsito vial y colectividad en general sobre todo en épocas de lluvia, el objetivo de las carreteras de baja capacidad, muchas de ellas sin asfaltar, es garantizar la accesibilidad a las ciudades, centros de servicios, centros industriales y diversos tipos de zonas rurales.

En muchas zonas de la selva peruana, este problema se agrava porque suele haber suelos como limos y arcillas que tienen poca capacidad de carga, por lo que las carreteras que se construyen sobre ellos requieren capas más gruesas de áridos para soportar el tráfico y el clima lluvioso de la región (Vilca, 2020).

También deben permitir el paso de distintos tipos de vehículos en todas las estaciones, ofrecer una movilidad y una velocidad adecuadas, garantizar la seguridad de los peatones y de los vehículos motorizados y no motorizados, y controlar las emisiones de polvo (Thenoux et al. 2002).

Los suelos arcillosos de baja plasticidad son habituales en la construcción de carreteras. Esta carretera sigue deteriorándose a pesar de su constante mantenimiento, ya que las lluvias constantes afectan y dañan el firme, a pesar del uso de material de relleno como la grava.

En Perú, un estudio realizado en 2020 sobre el uso de ceniza de cáscara de arroz como alternativa para mejorar la subrasante de arcilla en pavimentos mostró que la ceniza de cáscara de arroz mezclada con subrasante de arcilla puede aumentar el CBR a más del 6% y mejorar sus propiedades mecánicas. Por otro lado, está claro que es una alternativa económica a los métodos más utilizados, la cal y el cemento, y también produce menos emisiones que la producción de cemento. En general, se encontró que la ceniza de cáscara de arroz es una alternativa viable que debería ser más utilizada en zonas de alta producción arroceras como Lambayeque y algunas zonas tropicales del país. A partir de la difusión, es necesario buscar empresas que puedan contribuir al rodaje para obtener dicho material, todo ello con el fin de garantizar el control del proceso. Una vez completados estos dos pasos, se podrá crear una nueva alternativa para la mejora del suelo, y luego esta alternativa se mejorará mediante el desarrollo de nuevas tecnologías (Nieto, 2019).

También López (2021), en su estudio: Estabilización de suelos arcillosos con ceniza de cáscara de arroz para mejorar el subsuelo en la ciudad de Moyobamba - Departamento de San Martín, demostró que la incorporación de ceniza de cáscara de arroz mejora las propiedades de la arcilla estudiada, de tal manera que una dosis de 15% de cenizas de cáscara de arroz incrementa significativamente la resistencia del suelo, pero al 10% de cenizas de cáscara de arroz tiene una buena calificación.

## **2.2. Formulación del Problema**

### **2.2.1. Problema General**

¿En qué medida el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará la CBR en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022?

### **1.2.2. Problemas Específicos**

a) ¿Como el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará los límites de consistencia en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022?

b) ¿Como el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará el Proctor modificado en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022?

c) ¿Como el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará la resistencia en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022?

## **2.3. Objetivos del Proyecto**

### **2.3.1. Objetivo General**

Determinar en qué medida el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará la CBR en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022.

### **2.3.2. Objetivos Específicos**

a) Evaluar como el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará los límites de consistencia en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022.

b) Evaluar como el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará el Proctor modificado en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022.

c) Evaluar como el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará la resistencia en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022.

#### **2.4. Justificación**

El desarrollo social y económico de la población está estrechamente vinculado a la construcción de carreteras, ya que garantizan el intercambio de bienes y productos, la satisfacción de las necesidades de la población y la circulación de las personas.

La estabilización del suelo mediante la mejora de las propiedades del suelo tiene las siguientes ventajas o beneficios: material de límite mejorado (material no utilizado debido a la reducción de la resistividad y la cohesión), aumento de la resistividad, aumento de la durabilidad, control de los cambios de volumen del suelo, requisitos de espesor de capa reducidos para la construcción de carreteras y asegurando anti-infiltración de suelo y polvo (Solminihac et al. 1989). La optimización de los materiales reduce el impacto ambiental.

#### **2.5. Limitantes de la investigación**

La limitación más resaltante son los efectos acarreados por la pandemia, que limita el acceso a ciertas instalaciones.

El acceso a los laboratorios de la empresa, por lo tanto, tenemos que recurrir a los laboratorios privados.

## CAPITULO III

### DESARROLLO DEL PROYECTO

#### 3.1. Descripción y Diseño del Proceso Desarrollado

La investigación es aplicada, ya este tipo de investigación es resolver un problema concreto o aportar soluciones innovadoras a problemas que afecten a un fenómeno, en el estudio se empleará cal-cenizas de cáscara de arroz mejora la CBR en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios. El nivel de investigación es explicativo, ya que se realizó para detectar el fenómeno de la inestabilidad del suelo de manera específica, no han sido bien estudiados ni explicados antes. Para ayudar a los investigadores a profundizar en el problema y comprender eficazmente el fenómeno.

**Figura 1.**

*Proceso de Desarrollo de Etapas Para el Trabajo de Suficiencia Profesional.*



Fuente: Expediente tecnico

### 3.1.1 Requerimientos

De acuerdo al tipo de infraestructura el presente trabajo de suficiencia está enmarcado en:

**Tabla 2.**  
*Normativa Aplicada en el trabajo suficiencia profesional.*

Normatividad	Descripción	Requerimientos
CE.010	Pavimentos Urbanos	Parámetros Técnicos Indicados en la norma.
R.D. N° 10-2014-MTC/14	Manual de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos sección suelos y pavimentos	Parámetros técnicos indicados en el manual.

Fuente: elaboración propia

**Tabla 3.**  
*CE010.Pavimentos Urbanos- Ensayos de mecánica de suelos*

Ensayo	Norma Nacional
Contenido de humedad	MTC E 108: Determinación Del Contenido De Humedad De Un Suelo.
	NTP 339.127.1998 (revisada el 2019): Contenido DE Humedad.
Granulometría	MTC E 107: Análisis Granulométrico De Suelos Por Tamizado.
	NTP 339.128: Granulometría por tamizado 2019.
Límites de Atterberg	NTP 339.129: suelos. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.
	MTC E 110: Determinación Del Limite Liquido De Los Suelos.
	NTP 339.129: SUELOS: Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos. MTC E 111 Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos.
Ensayo de Proctor	NTP 339.141: Suelos. Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada.
	MTC E 115: Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (proctor modificado).
Ensayo Ratio CBR	NTP 339.145-CBR: Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio
	MTC E 132: CBR de suelos (laboratorio).

Fuente: elaboración propia

### La cal:

La cal es un aglutinante resultante de la calcinación de rocas carbonatadas compuestas predominantemente por carbonato de calcio y/o carbonato de calcio y

magnesio (Torres y Landa, 2020). Según Mishra (2021), el resultado de la calcinación del carbonato de calcio y del carbonato de calcio-magnesio es, respectivamente, el óxido de calcio (CaO) y el óxido de calcio-magnesio (CaO - MgO), denominados genéricamente cal virgen o cal viva. Cuando se mezcla con agua, la cal virgen libera mucho calor, lo que caracteriza una reacción exotérmica. Teniendo en cuenta la seguridad de los trabajadores, Bueno (2011) afirma que, en algunos países, como en Estados Unidos, el uso de la cal virgen ha sido gradualmente sustituido por la cal hidratada, ya que esta última proviene de la hidratación de la cal virgen en un molino. Esta hidratación se sitúa entre el 17 y el 19% de agua.

### **Cenizas de Cáscara de Arroz:**

La cascara de arroz es una capa protectora o cubierta que se forma durante el crecimiento del grano, de baja densidad y gran volumen. Es un material fibroso, cuyos principales constituyentes son la celulosa (50%), la lignina (30%) y los residuos inorgánicos (20%). El residuo inorgánico contiene, en promedio, 95 a 98%, en peso, de sílice, en la forma amorfa hidratada, representando 13 a 29% de la corteza total (Crespo 2004).

Esta variación en el porcentaje de sílice en la cascara de arroz depende del cultivo, es decir, de la variedad plantada, de las condiciones climáticas y edáficas y de la localización geográfica (Almonacid, 2019). Thenoux et al. (2002), estudiando el efecto de tratamientos químicos y térmicos en material procedente de la India, encontraron porcentajes del 22,12% de SiO<sub>2</sub>, 73,8% de materia orgánica y agua, y alrededor del 4% de otros elementos constituyentes como Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO y MnO<sub>2</sub>. La lignina y la celulosa se eliminan durante la combustión de la cáscara. La cascara del arroz equivale aproximadamente al 20% del peso del grano y está compuesta por cuatro capas estructurales, fibrosas, esponjosas o celulares (Silveira

et al., 2019): epidermis externa, recubierta por una gruesa cutícula de células silificadas; esclerénquima o hipodermis fibrosa, con una pared lignificada; parénquima celular esponjoso; epidermis interna.

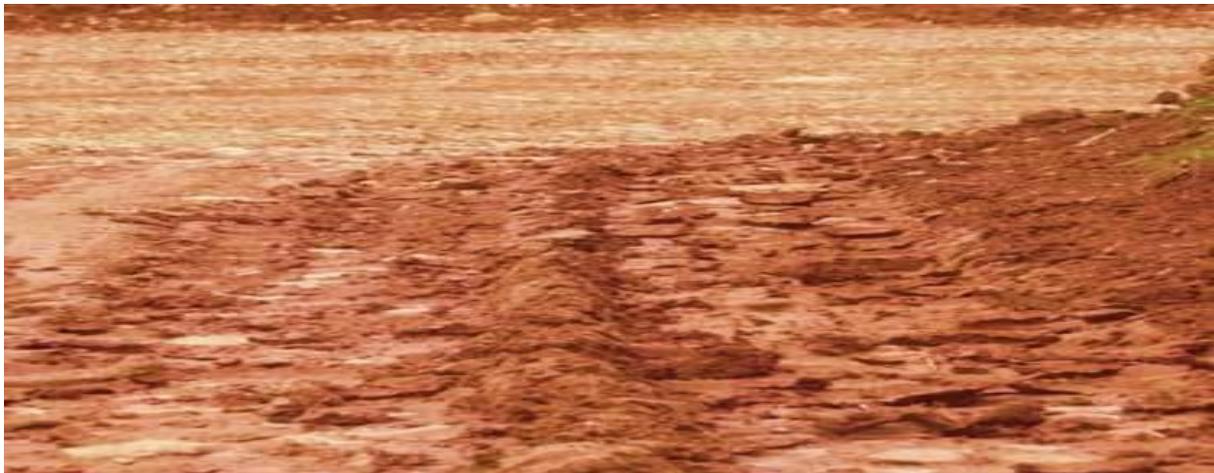
La epidermis externa e interna para Silveira et al. (2019) concluyeron en sus estudios que la sílice está más concentrada en la epidermis externa. Una cantidad pequeña pero significativa de sílice reside en la capa interna adyacente al grano de arroz (Torres y Landa, 2020). La sílice presente en la cáscara de arroz se describe como hidratada en forma amorfa como gel de sílice y se localiza en la epidermis de la cáscara y en los espacios del tejido epidérmico (Thenoux y San Juan, 2000).

Según Acuña et al. (2020), la sílice es transportado por la planta desde el suelo en forma de ácido monosilícico, concentrándose en la cáscara y el tallo por evaporación del agua, formando posteriormente la membrana sílico-celulósica. El uso de la cáscara de arroz tiene un amplio alcance y ha sido estudiado por varios autores.

### **Suelos arcillosos:**

Las arcillas están compuestas silicatos de aluminio hidratado. Se encuentran en estado húmedo, plástico, pegajoso y cuando este seco es muy fino de una dimensión de partículas menor de 0.005 mm.

**Figura 2.**  
*Suelo Arcilloso.*



Fuente: Expediente tecnico

## Ensayos de suelos

### Proctor modificado:

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 4 ó 6 pulgadas (101,6 ó 152,4 mm) de diámetro con un pisón de 10 lbf (44,5 N) que cae de una altura de 18 pulgadas (457 mm), produciendo una Energía de Compactación de 56 000 lb-pie/pie<sup>3</sup> (2 700 kN-m/m<sup>3</sup>).

Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 3/4" pulg (19,0 mm).

### CBR:

Prueba para determinar el valor del coeficiente portante, o CBR, una medida de la resistencia del suelo muy conocida (California Bearing Ratio). La prueba suele realizarse en suelos que se han preparado en un laboratorio en condiciones específicas de humedad y densidad, pero también puede realizarse de forma similar en muestras inalteradas que se han obtenido del suelo.

Este índice se utiliza para evaluar la capacidad portante de las capas de base, subbase y consolidación, así como de los suelos de subrasante.

**Tabla 4.**  
*Categorías de subrasante en función del CBR%.*

<b>Categorías de la subrasante</b>	<b>CBR</b>
Subrasante inadecuada	$CBR < 3\%$
Subrasante pobre	$3 \leq CBR < 6\%$
Subrasante regular	$6 \leq CBR < 10\%$
Subrasante buena	$10 \leq CBR < 20\%$
Subrasante muy buena	$20 \leq CBR < 30\%$
Subrasante excelente	$CBR \geq 30\%$

Fuente: MTC 2013, p 40

## **Límites de Atterberg**

### **Límite líquido:**

En el laboratorio se utiliza un procedimiento estandarizado para medir esta propiedad. Se coloca una mezcla moldeable de tierra y agua en una cuchara, taza o cazo Casagrande, y se golpea repetidamente contra la base de la máquina mientras se gira la manivela, haciendo que la ranura de la muestra se cierre hasta una longitud de 12,7 mm (1/2"). La humedad del suelo (relación entre el peso del agua y el peso del suelo seco) corresponde al límite líquido si se necesitan 25 golpes para cerrar la ranura.

Debe calcularse utilizando al menos dos experimentos en los que el contenido de agua de la muestra se ajuste aproximadamente de modo que la ranura se cierre con entre 15 y 25 y entre 25 y 35 golpes, respectivamente, en un caso. Interpolando linealmente entre los dos valores determinados anteriormente, el valor de humedad correspondiente a 25 golpes se convierte en el contenido de humedad equivalente. 2

El penetrómetro de cono inglés, que tiene una construcción de acero inoxidable, una longitud de 35 mm, un ángulo de vértice de 30° y una masa de 80 g incluido su eje, es otro método para determinar el límite de líquido. Se fija a un soporte que permite el deslizamiento y le permite mantenerse vertical mientras mide el movimiento con un dial. El procedimiento de la prueba consiste en introducir la punta del cono de forma que toque la superficie del suelo en una cápsula, soltarlo de su sujeción pulsando un botón y dejarlo caer por su propio peso. A continuación, se fija el cono y se recoge la lectura del medidor. La cantidad de agua en el suelo a una penetración del cono de 20 mm es el límite líquido del suelo.

### **Límite plástico:**

Los criterios propuestos por Atterberg, que fue el primero en afirmar que la plasticidad no es una propiedad permanente de las arcillas, sino contextual, basada en su contenido de agua, figuran entre los criterios utilizados para cuantificar la plasticidad de las arcillas. Una arcilla extremadamente seca puede tener la consistencia de un ladrillo y poca plasticidad, pero una arcilla que contenga mucha agua puede tener las características de un barro semilíquido o incluso de una suspensión líquida. Existe una región de concentración de agua entre ambos extremos en la que la arcilla se comporta plásticamente.

El contenido de humedad más bajo al que se pueden crear cilindros de suelo de 3 mm de diámetro haciendo rodar el suelo entre los dedos de la mano y una superficie lisa hasta que los cilindros se parten se conoce como límite plástico.

**Tabla 5.**  
*Clasificación de los suelos según el IP*

<b>Índice de plasticidad</b>	<b>Plasticidad</b>	<b>Característica</b>
IP > 20	Alta	Suelos muy arcillosos
$7 < IP \leq 20$	Media	Suelos arcillosos
IP < 7	Baja	Suelos poco arcillosos
IP = 0	NP (no plástico)	Suelos exentos de arcilla

Fuente: MTC (2013, p.37)

### **3.1.2 Cálculos**

#### **Determinación de la investigación del trabajo de suficiencia profesional:**

Para asegurar la determinación correcta del trabajo de suficiencia profesional, tales que permiten un análisis objetivo de datos apropiados, se opta por un guía dado experimentado con adición de cal-cenizas de cascara de arroz, para hacer diferentes ensayos de mecánica de suelos a realizar de la siguiente manera:

### **Estudio de mecánica de suelos:**

El objetivo de investigación es precisar las propiedades físicas de la capa sub suelo, para realizar pruebas de análisis de suelo. Una vez realizado todo el procedimiento de ensayo en laboratorio luego se añadirá un porcentaje de cal-cenizas de cascara de arroz, de acuerdo a las características del suelo, con los ensayos se podrá saber qué porción de cal-cenizas de cascara de arroz es el adecuado.

### **Trabajos de campo:**

Se aplicaron varias técnicas de investigación referente a este caso con el propósito de realizar y establecer las características propias del terreno. Estas excavaciones del lugar (in situ), nos ayuda a determinar una observación directo en campo, considerándose la toma de 02 muestras de calicatas a pozo de exploración “a cielo abierto”. Asimismo, se muestra la ubicación de las mismas con la ayuda del GPS MAP62s, con el sistema de referencia WGS 84:

#### **Figura 3.**

*Trabajo de Campo Ubicación de calicata el Kilometraje y la Coordenada con GPS.*



Nota: inicio de camino vecinal Madama-San Isidro– Tormenta

**Tabla 6.**  
*Ubicación de calicatas*

<b>N° Calicata</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Estructura</b>	<b>Progresiva aproximada</b>	<b>Lado</b>
C1	487134.3- 8613945.5	1.50 m	Via-San Isidro	0+200	Lado Izquierdo
C2	487219.5- 8614385.6	1.50 m	Via-San Isidro	0+500	Lado Derecho

Fuente: Expediente tecnico

### **Ensayos a ejecutar las muestras.**

Se procede a realizar las pruebas de ensayo de mecánica de suelos y son considerados de la siguiente manera:

- Las muestras de las 02 calicatas fueron obtenidas en el camino vecinal Madama-San Isidro– Tormenta Distrito Las Piedras, Madre de Dios.
- La magnitud de ensayos que se va realizar va depender de los resultados obtenidos en laboratorio tomando toda medidas precisión y medidas, para luego finalmente terminar la obtención del ensayo CBR la proporción optima de cal-cenizas cascara de arroz para estabilizar el suelo arcilloso.
- En las 02 muestras realizados en laboratorio se aplicó el desarrollo de Proctor modificado, así se vio la variabilidad con la adición de porcentaje de cal-cal-cenizas cascara de arroz y poder detectar posibles errores en los ensayos en el desarrollo de laboratorio.

### a) Determinación de contenido de humedad

Proceso establecido del método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo en estado natural.

**Figura 4.**  
*Ensayo Contenido de Humedad Natural Calicata C-1.*



Fuente: Expediente tecnico

**Figura 5.**  
*Ensayo Contenido de Humedad Natural Calicata C-2.*



Fuente: Expediente tecnico

## b) Determinación granulométrica por tamiz

El objetivo del desarrollo es determinar cuantitativamente el tamaño de las partículas del suelo. Para luego realizar su clasificación por sistemas AASHTO o SUCS. Determinar este desarrollo es muy importante, para la utilización del suelo en bases o subrasante en el camino vecinal Madama-San Isidro– Tormenta. Para tener más información o alcance de los tamaños de las partículas se aprecia en la tabla 7 cuyos límites son:

**Tabla 7.**

*Tamaños de Partículas del Suelo.*

<b>Clasificación de suelos según ASTM (en mm)</b>	
Bloques	Mayor a 300 mm
Bolones	De 80 a 300 mm
Gravas	De 5 a 80 mm
Arenas	De 0.08 a 5 mm
Limos	De 0.005 a 0.08 mm
Arcillas	Menores a 0.005 mm

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC.

En este modo de funcionamiento se describe el procedimiento para calcular los porcentajes de suciedad que atraviesan los distintos tamices utilizados en la prueba, cuyo tamaño oscila entre 0,4 mm y 74 mm. (N° 200). La escala que más se emplea es la ASTM; para el trabajo de investigación.

**Tabla 8.**

*Tamices Utilizados para el Ensayo.*

<b>Tamices ASTM</b>	
<b>Abertura</b>	<b>Tamiz</b>
76.12 mm	3"
50.80 mm	2"
38.10 mm	1 1/2"
25.40 mm	1"
19.05 mm	3/4"
9.52 mm	3/8"
4.76 mm	N° 4
2.00 mm	N° 10
0.90 mm	N° 20
0.42 mm	N° 40
0.25 mm	N° 60
0.150 mm	N° 100

Fuente: MTC E 107-2000 – Análisis granulométrico de suelos por tamizado.

### c) Límites de consistencia

Denominados también de Atterberg mencionan que los suelos finos se encuentran en diferentes estados. A si en estado sólido, semisólido, plástico y líquido, es un ejemplo claro la arcilla cambia de estado cuando se añade agua. Para ello tenemos los límites que caracterizan suelos finos.



Se realizarán en suelo que pasa el tamiz N° 40, y se determina el desarrollo del laboratorio para su información y resultados de los parámetros físicos del suelo.

**Figura 6.**  
*Limites de Consistencia Calicata C-1*

<b>LIMITE PLASTICO - ASTM D 4318</b>		<b>LP (%) = 12.90</b>	
<b>Muestra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	
Numero de capsula	49.00	98.00	
Peso de la Capsula (g)	11.40	11.50	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	21.00	20.30	
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	19.27	18.57	
Peso del Suelo Seco (g)	7.87	7.08	
Contenido de Humedad (w)	12.80	13.00	

<b>LIMITE LIQUIDO - ASTM D 4318</b>		<b>LL (%) = 38.63</b>		<b>IP (%) = 15.15</b>
<b>Muestra</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	
Numero de capsula	54.00	20.00	27.00	
Peso de la Capsula (g)	37.00	37.20	39.80	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	60.20	62.00	59.00	
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	54.40	59.50	55.45	
Numero de golpes	34.00	29.00	21.00	
Peso del Suelo Seco (g)	16.70	19.80	15.80	
Contenido de Humedad (w)	35.20	38.80	41.90	

Fuente: Expediente tecnico

**Figura 7.**  
*Limites de Consistencia Calicata C-2.*

<b>LIMITE PLASTICO - ASTM D 4318</b>		<b>LP (%) = 11.15</b>	
<b>Muestra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	
Numero de capsula	49.00	98.00	
Peso de la Capsula (g)	11.40	11.50	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	21.00	20.30	
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	19.27	18.57	
Peso del Suelo Seco (g)	7.87	7.08	
Contenido de Humedad (w)	11.00	11.30	

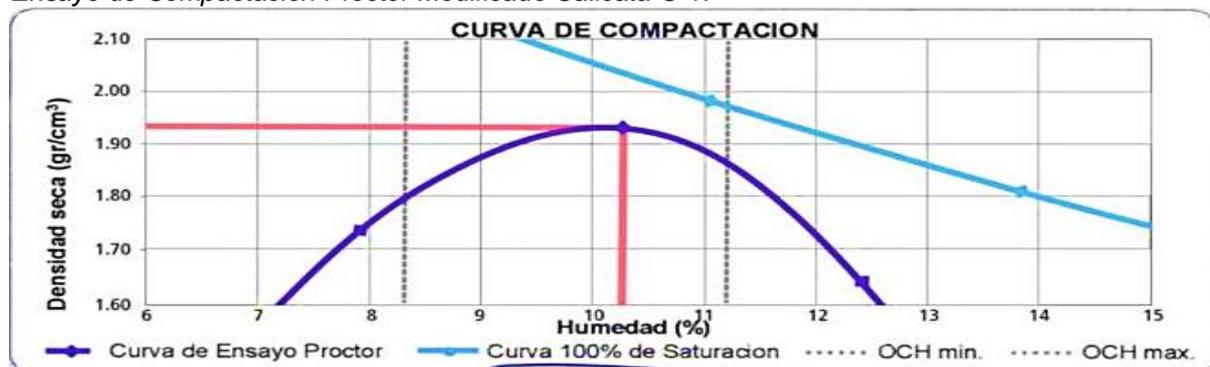
<b>LIMITE LIQUIDO - ASTM D 4318</b>		<b>LL (%) = 38.63</b>		<b>IP (%) = 15.15</b>
<b>Muestra</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	
Numero de capsula	84.00	90.00	77.00	
Peso de la Capsula (g)	37.00	37.20	39.80	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	60.20	62.00	59.00	
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	54.40	59.50	55.45	
Numero de golpes	34.00	29.00	21.00	
Peso del Suelo Seco (g)	16.70	19.80	15.80	
Contenido de Humedad (w)	35.20	38.80	41.90	

Fuente: Expediente tecnico

#### d) Ensayos Proctor Modificado

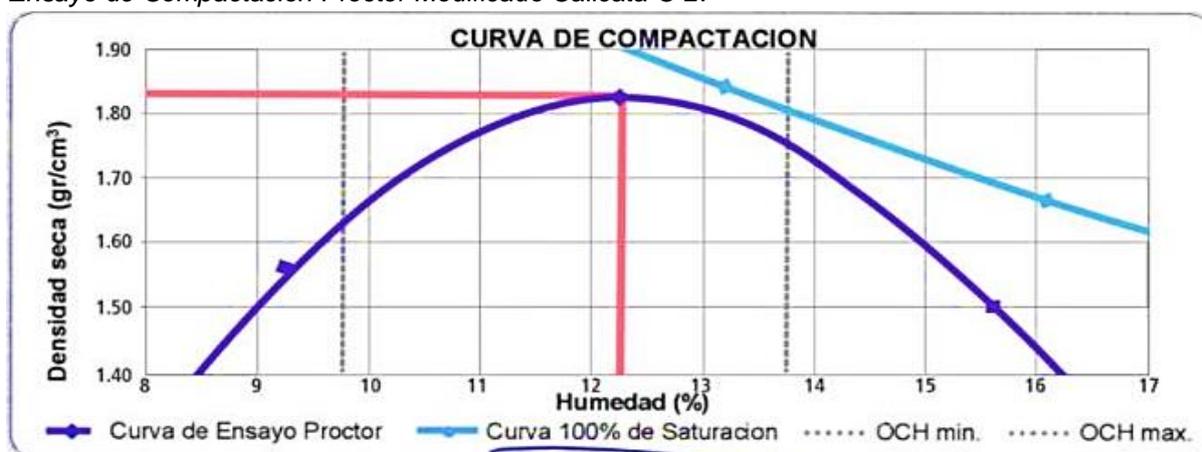
Este ensayo entiende de la compactación y el mejoramiento de sus propiedades físicas del suelo, lo más importante una de ellas la resistencia de suelo, comprensibilidad y su relación esfuerzo – deformación. Por consiguiente, ocurre cambio de volúmenes. La finalidad es obtener un sueloestructurado, uniforme.

**Figura 8.**  
*Ensayo de Compactación Proctor Modificado Calicata C-1.*



Fuente: Expediente tecnico

**Figura 9.**  
*Ensayo de Compactación Proctor Modificado Calicata C-2.*



Fuente: Expediente tecnico

### e) Ensayos CBR (California Bearing Ration)

Se desarrolla en suelos compactados a un contenido de la humedad optimo, así mismo por medio de este ensayo a realizar es Densidad y humedad, como finalidad la resistencia a la penetración del suelo.

**Tabla 9.**  
*Categoría de indice CBR.*

Categorías de Sub rasante	CBR
S0: Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S1: Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2: Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3: Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4: Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5: Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

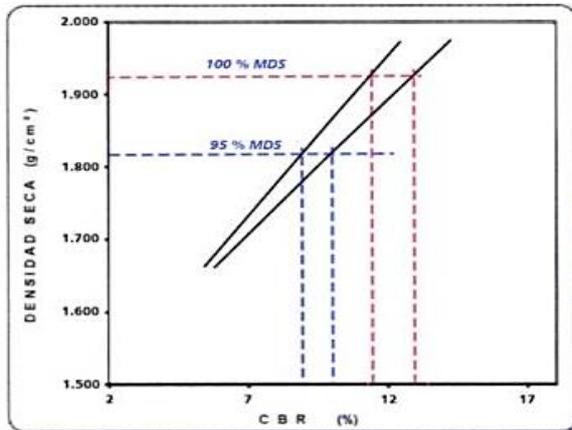
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 10.**  
*Resultados del Ensayo de CBR.*

Parámetros	Suelo Natural	Suelo + Cal- Ceniza De Cascara De Arroz
CBR (95%)	9.00	C-1
		13.00
CBR (95%)	9.10	C-2
		12.80

Fuente: Elaboración propia

**Figura 10.**  
Índice de CBR de Suelo Natural C-1.



**DATO DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**  
 Óptimo Contenido de Humedad (%) : 11.305  
 Máxima Densidad Seca g/cm<sup>3</sup> : 1.985

**CALIFORNIA BEARING RATIO**

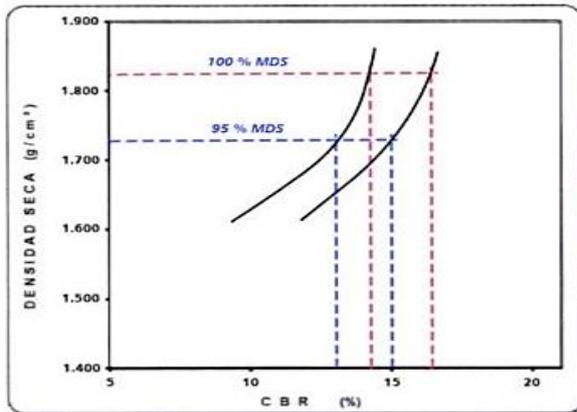
CBR A 2.5 mm (0.1") de Penetración	
CBR Al 100% de la Máxima Densidad Seca	11.6
<b>CBR Al 95% de la Máxima Densidad Seca</b>	<b>9.0</b>

**CBR A 5 mm (0.2") de Penetración**

CBR Al 100% de la Máxima Densidad Seca	13.1
CBR Al 95% de la Máxima Densidad Seca	10.4

Fuente: Elaboración propia

**Figura 11.**  
Índice de CBR de Suelo C-1 + Cal-Ceniza de cascara de Arroz.



**DATO DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**  
 Óptimo Contenido de Humedad (%) : 10.255  
 Máxima Densidad Seca g/cm<sup>3</sup> : 1.926

**CALIFORNIA BEARING RATIO**

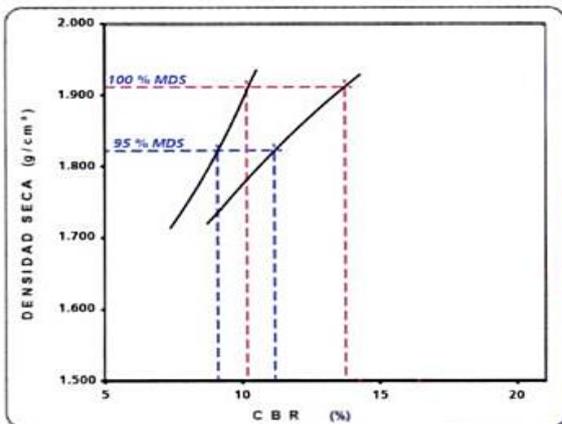
CBR A 2.5 mm (0.1") de Penetración	
CBR Al 100% de la Máxima Densidad Seca	14.1
<b>CBR Al 95% de la Máxima Densidad Seca</b>	<b>13.0</b>

**CBR A 5 mm (0.2") de Penetración**

CBR Al 100% de la Máxima Densidad Seca	16.7
CBR Al 95% de la Máxima Densidad Seca	13.2

Fuente: Elaboración propia

**Figura 12.**  
Índice de CBR de Suelo Natural C-2.



**DATO DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**  
 Óptimo Contenido de Humedad (%) : 10.315  
 Máxima Densidad Seca g/cm<sup>3</sup> : 1.928

**CALIFORNIA BEARING RATIO**

CBR A 2.5 mm (0.1") de Penetración	
CBR Al 100% de la Máxima Densidad Seca	10.2
<b>CBR Al 95% de la Máxima Densidad Seca</b>	<b>9.1</b>

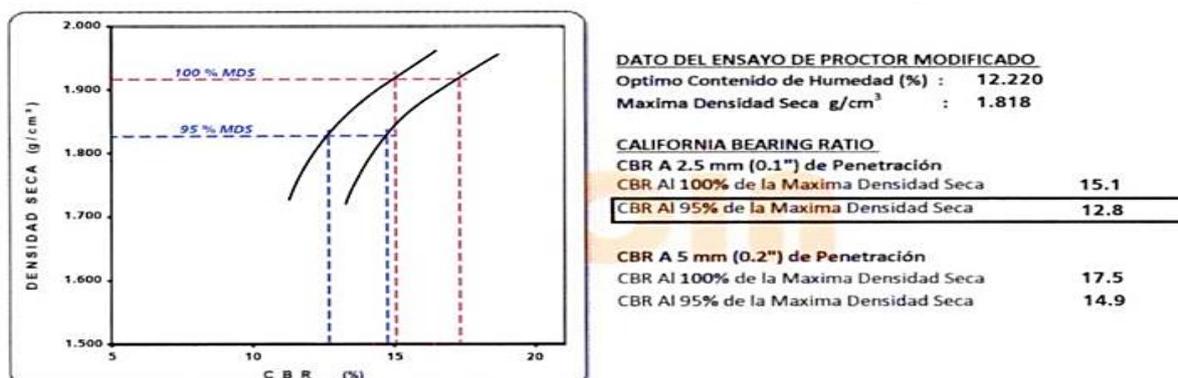
**CBR A 5 mm (0.2") de Penetración**

CBR Al 100% de la Máxima Densidad Seca	13.9
CBR Al 95% de la Máxima Densidad Seca	10.9

Fuente: Elaboración propia

**Figura 13.**

*Índice de CBR de Suelo C-2 + Cal-Ceniza de cascara de Arroz.*



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3 Dimensionamiento

El proyecto enmarca una de las necesidades más importantes en el camino vecinal Madama-San Isidro-Tormenta, para la servidumbre vial, de influencia del proyecto, por cuanto el camino vecinal existente no constituye una solución a su problema de accesibilidad y transitabilidad puesto que dicho camino es de tierra natural. En tiempo de lluvias es inaccesible para el tráfico vehicular, en tiempo de estiaje es la polvareda la que dificulta la transitabilidad vehicular más aún si consideramos que la mayor parte de la población realiza sus actividades económicas y sociales en distintos ámbitos del distrito y provincia Tambopata.

**Tabla 11.**

*Inventario de el camino vecinal Madama-San Isidro-Tormenta.*

Características de la vía	
Topografía	Llano
Longitud de Camino(km)	2.00
Tipo de Material de superficie	Tierra
Ancho de Calle(m)	3.00 a 4.00
Estado de Conservación	Pobre a muy mala
Tipo de daño	Encalaminado
Obras de Arte	
Muro de sostenimiento(h<4m)	No
Muro de sostenimiento(h>4m)	No
Muro seco	No
Drenaje	
Baden Km	No
Tajeas Km	No
Cuneta Rustica	Si

Nota: Podemos apreciar las características e inventario del Camino Vecinal.

### Diagnóstico de la vía vecinal actual:

La situación actual que presenta el camino vecinal Madama-San Isidro-Tormenta distrito de las piedras, Madre de Dios. son de inadecuadas condiciones para la transitabilidad de tránsito y peatonal.

#### Figura 14.

*Situación Actual del Camino Vecinal Zona Arcilloso.*



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.4. Equipos utilizados

Se utilizaron los siguientes equipos:

#### Cuadro 1.

*Equipos Utilizados para Laboratorio.*

<b>Equipo Utilizado</b>	<b>Descripción</b>
Balanzas	20 kg de capacidad con sensibilidad de 1 g. 1000 g con sensibilidad de 0.1 g. 300 g con sensibilidad de 0.01 g.
Horno o Estufa	Horno eléctrico temperatura de $110 \pm 5$ °C.
Límites de Atterberg	Cuchara de Casagrande y vidrio esmerilado y accesorios para humedad.
Granulometría	Juego de Tamices para análisis granulométrico de acuerdo a la norma E1
Proctor Modificado	Un molde con un diámetro interior medio de 152,4 0,7 mm (6,000 0,026 pulg.), una altura de 116,4 0,5 mm (4,584 0,018 pulg.) y un volumen de 2 124 25 cm <sup>3</sup> (0,075 0,0009 pies <sup>3</sup> ) se denomina molde de 6 pulgadas. Apisonar 10 lb. y una altura de caída de 18 pulgadas.
CBR	Molde cilíndrico metálico con un diámetro interior de 152,4 mm, una altura de 177,8 mm y un grosor de 9,53 mm (3/8"). También está equipado con un collar metálico adicional de 50,8 mm de altura y una placa base perforada de 9,53 mm de grosor. Disco separador metálico con una circunferencia de 150,8 mm (5 15/16") y un grosor de 61,37 0,127 mm (2,416 0,005"). Prensa de CBR Manual Mecánica o Digital.

Fuente: Elaboración propia

#### Cuadro 2.

*Equipos Utilizados y Gabinete.*

<b>Equipos utilizado</b>	<b>Descripción teórica</b>
Computador personal	Se utilizo para trabajos de procesamiento de datos.
Impresora multifuncional	
Camara fotografica digital	Se utilizo para sacar todos los documentos en fisico.
Herramientas	Para tener un registro y vistas de campo. Colaborar del trabajador.

Fuente: Elaboración propia

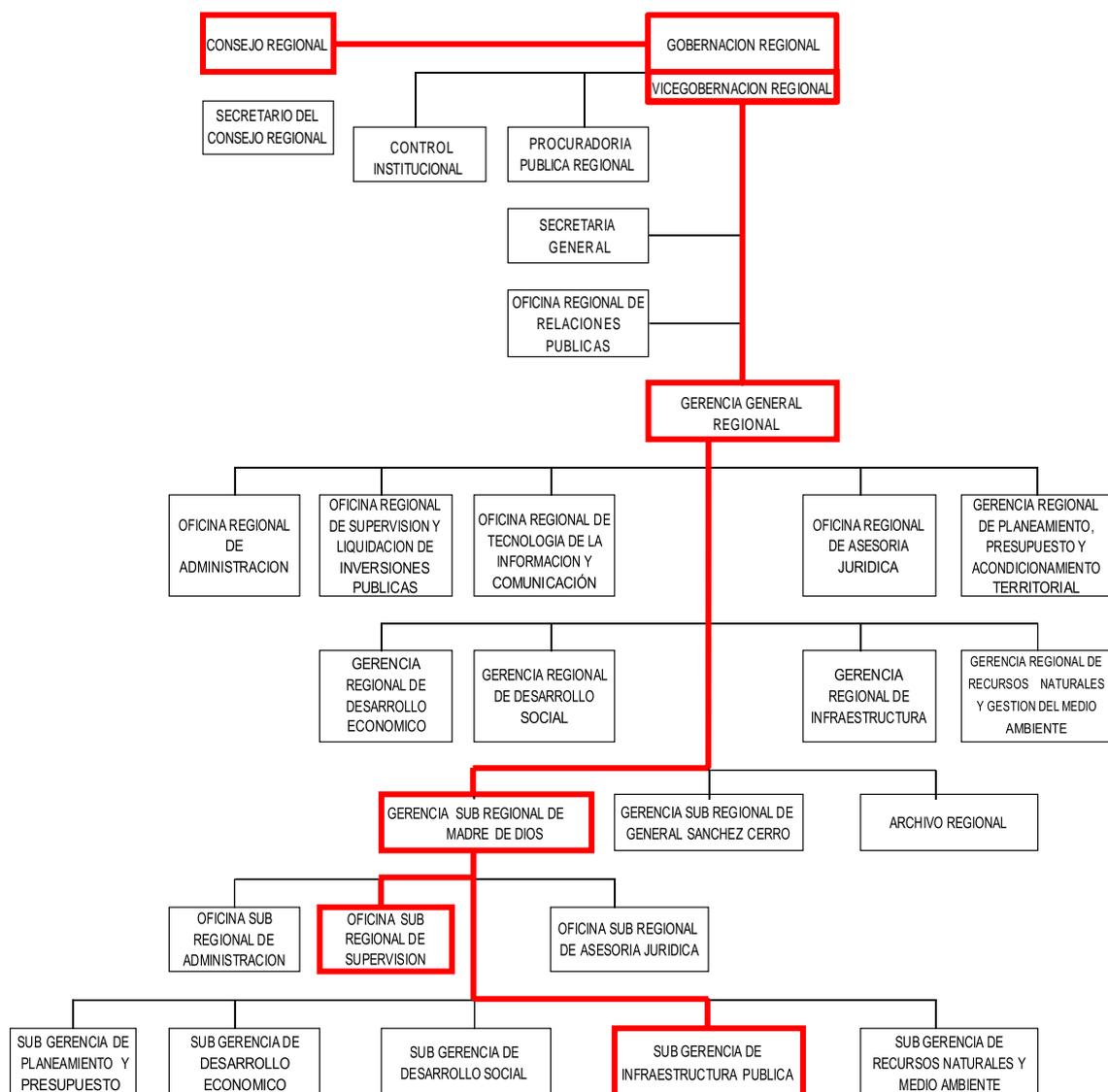
### 3.1.5 Conceptos básicos para el diseño de piloto

- **Ensayo de compactación de Proctor Modificado (ASTM D 1557):** El ensayo Proctor modificado se utiliza para identificar el contenido de humedad ideal al que una muestra de suelo compactado alcanza su densidad seca máxima.
- **Limite Líquido (ASTM D 4318):** Se refiere al contenido de humedad que permitirá que el suelo fluya cuando se someta a un determinado número de golpes y cierre la ranura creada en la muestra de suelo. Este contenido de humedad se sitúa entre el límite de los estados semilíquido y plástico.
- **Limite plástico (ASTM D 4319):** La tierra puede enrollarse en barritas de hasta 3 mm de diámetro o 1/8" de diámetro en el contenido mínimo de agua, que corresponde a un límite entre los estados plástico y semisólido, cuando no se permiten deformaciones sin romper la tierra.
- **Cal:** Es una sustancia cementante fabricada a partir de roca caliza sedimentaria, que contiene carbonato cálcico, que al calentarse a alta temperatura se transforma en óxido cálcico, o cal viva, y se hidrata al entrar en contacto con el agua para producir hidróxido cálcico, también conocido como cal hidratada.
- **Cenizas de cascara de arroz:** Se trata de un residuo agrícola que, combinado con cemento para fabricar hormigón, tiene propiedades químicas que aumentan la resistencia del hormigón y mejoran así todos sus demás atributos.
- **Resistencia:** La resistencia interna que ofrece una masa de suelo por unidad de superficie para evitar el fallo por presiones y deslizamientos a lo largo de cualquier plano dentro de ella se conoce como cizallamiento.

### 3.1.6 Estructura

Está formado por los jefes de distrito, los subjefes de distrito y los consejeros regionales de cada distrito, con un mínimo de 7 y un máximo de 25, que son elegidos directamente por un mandato de 4 años. La autorización no es revocable, pero puede ser revocada de acuerdo con la legislación del caso.

**Figura 15.**  
*Organigrama Gobierno Regional de Madre de Dios*



Fuente: Gobierno Regional de Madre de Dios

### 3.1.7 Elementos y Funciones

- **Gerencia regional de infraestructura:** Representado por el gerente regional de infraestructura, quien tiene a su cargo la planificación, ejecución, coordinación, supervisión y control de los procesos técnicos relacionados con la ejecución de obras en los programas de inversión, así como la supervisión y terminación de las obras.
- **Subgerencia de Estudios de infraestructura:** Representado por el subdirector de Investigación de Infraestructura, quien tiene a su cargo la planificación, ejecución, coordinación, seguimiento y control del desarrollo y ejecución de los proyectos de desarrollo en la provincia de Madre de Dios. Técnico En Ingeniería II, responsable del apoyo técnico en la ejecución de Obras.

### 3.1.8 Planificación del proyecto

**Cuadro 3.**  
*Cronograma de Actividades*

ACTIVIDADES	AÑO 2022 (semanas)							
	Noviembre				Diciembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Visita a la Vía	X							
Levantamiento topográfico		X	X					
Ejecución de calicatas		X	X					
Ensayos de suelos			X	X				
Tratamiento del problema			X	X				
Desarrollo del trabajo de suficiencia profesional				X	X			
Redacción del trabajo de suficiencia profesional					X	X		
Observación del trabajo de Suficiencia profesional					X	X	X	
Elaboración del trabajo de suficiencia profesional					X	X	X	X
Aprobación del trabajo de suficiencia profesional							X	X

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.9 Servicios y Aplicaciones

#### Muestreo de suelo

El trabajo a realizar fue hacer dos excavaciones de calicatas a 1.50 m de profundidad con el fin de identificar la estratigrafía del suelo, el material extraído se procede a colocar en un saco de 50 kg.

**Figura 16.**  
*Extracción de muestras C-2*



Fuente: Elaboración propia

Consiste en tres proporciones a realiza mediante un cuarto de cada material extraído, y luego coger  $\frac{1}{4}$  de ellas.

#### Ensayos de mecánica de suelo:

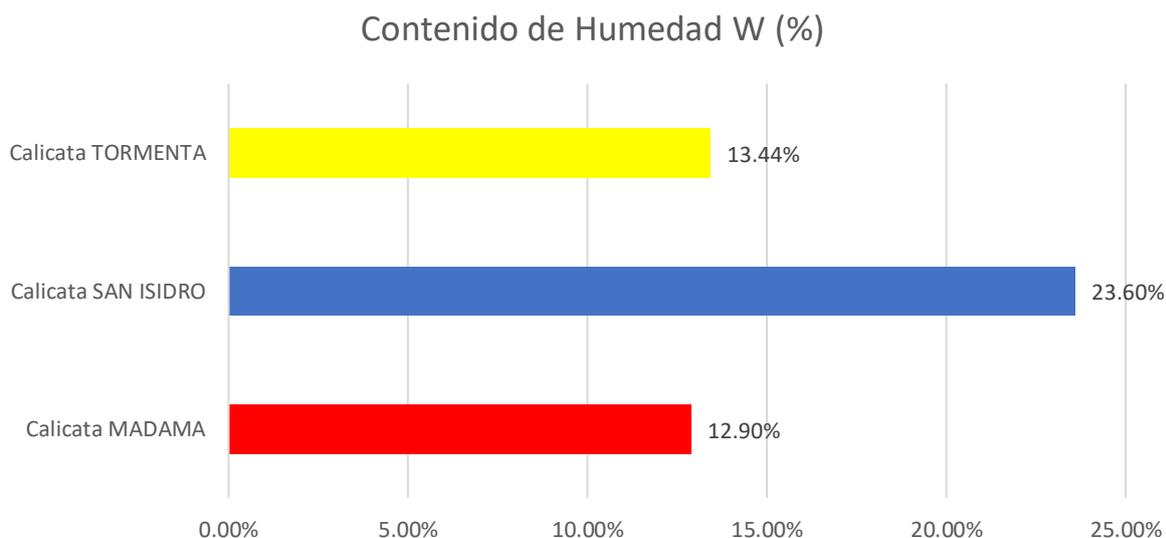
Las muestras obtenidas del campo y llevados al laboratorio para su ensayo correspondiente con finalidad de determinar las propiedades físicas.

**Tabla 12.**  
*Contenido de humedad*

<b>Determinación del contenido de humedad del material extraído</b>			
<b>Calicata</b>	<b>MADAMA</b>	<b>SAN ISIDRO</b>	<b>TORMENTA</b>
Peso Recipiente + Suelo Natural (g)	240.50	204.50	198.50
Peso Recipiente + Suelo Seco (g)	241.10	165.34	174.04
Peso Recipiente (g)	0.00	0.00	0.00
Peso del Agua (g)	27.40	38.86	23.46
Peso del Suelo Natural (g)	240.10	204.20	198.50
Peso del Suelo Seco (g)	214.10	165.34	174.04
Contenido de Humedad W (%)	12.90	23.60	13.44
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>		<b>16.64%</b>	

Fuente: Calicatas del camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras.

**Gráfico 1.**  
*Contenido de humedad W (%).*



Fuente: Calicatas del camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras.

Según la tabla 16 y gráfico, el contenido de humedad del suelo natural del camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, la calicata de MADAMA tiene una humedad de 12.90%, la calicata de SAN ISIDRO presenta una humedad de 23.60% y la calicata de TORMENTA presenta una humedad de 13.44%. Por lo tanto, se concluye que la humedad del suelo natural del camino vecinal

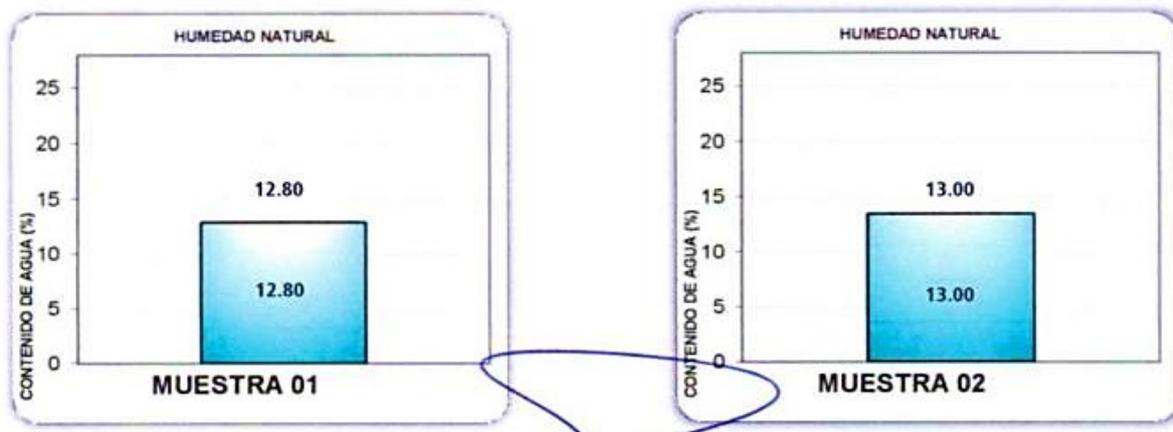
Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, presenta una humedad de 16.64%.

**Grafico 2.**

Contenido de humedad C-1 y C-2.

CONTENIDO DE HUMEDAD		M - 01	M-02
N° de Capsula			
Peso Recipiente + Suelo Natural	g	240.50	268.50
Peso Recipiente + Suelo Seco	g	241.10	237.61
Peso Recipiente	g	0.00	0.00
Peso del agua	g	27.40	30.89
Peso del Suelo Natural	g	240.10	268.50
Peso del Suelo Seco	g	214.10	237.61
Contenido de Humedad (w)	%	12.80	13.00

**Contenido de Humedad: 12.90 %**



Fuente: Elaboración propia

**Análisis Granulométrico**

Las muestras obtenidas del campo y llevados al laboratorio para su ensayo.

**Tabla 17.**

Porcentaje de retención de cada tamiz.

Muestra	N° Profundidad	¼"	N°4	N°10	N°20	N°40	N°50	N°100	N°200
Cazuela	(m)	(6.35mm)	(4.75mm)	(2.00mm)	(0.85mm)	(0.425mm)	(0.297mm)	(0.149mm)	(0.075mm)
1	C-1	2.56	2.59	9.79	9.66	8.20	3.15	5.58	3.54
2	C-2	3.42	5.44	6.16	8.82	7.65	4.61	1.99	1.89

Fuente: Elaboración propia.

**Figura 17.**  
Ensayo Granulometrico.



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 14.**  
*Limite plastico, limite plastico e indice plastico.*

<b>LÍMITE PLÁSTICO (LP) - ASTM 4318</b>				
	CALICATA	MADAMA	SAN ISIDRO	TORMENTA
Peso de la cápsula (g)		11.40	19.80	11.40
Peso de la cápsula + Suelo Húmedo (g)		21.00	20.50	21.00
Peso de la cápsula + Suelo Seco (g)		19.27	19.50	19.27
Peso del Suelo Seco (g)		7.87	8.30	7.87
Contenido de Humedad W (%)		12.90	23.60	11.15
Límite Plástico (%)			15.88%	
<b>LÍMITE LÍQUIDO (LL) - ASTM 4318</b>				
	CALICATA	MADAMA	SAN ISIDRO	TORMENTA
Peso de la cápsula (g)		37.00	37.00	37.00
Peso de la cápsula + Suelo Húmedo (g)		60.20	60.20	60.20
Peso de la cápsula + Suelo Seco (g)		54.40	54.40	54.40
Número de Golpes		34.00	34.00	34.00
Peso del Suelo Seco (g)		16.70	16.70	16.70
Contenido de Humedad W (%)		38.63	39.11	38.63
Límite Líquido (%)			38.79%	
<b>ÍNDICE DE PLASTIDAD (IP) - ASTM 4318</b>				
Índice de Plasticidad (%)			22.91%	

Fuente: Calicatas del camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras.

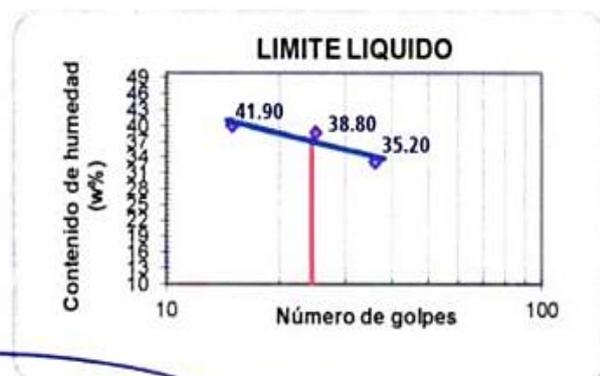
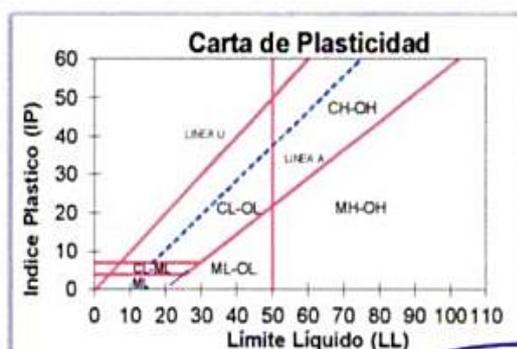
Según la tabla, los Límites de Atterberg del suelo modificado del camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras muestra los siguientes resultados: Limite Plástico (LP) es de 15.88%, Limite Líquido (LL) es de 38.79%, Índice de Plasticidad (IP) es de 22.91%.

**Grafico 3.**  
*Limite Liquido, limite plastico e indice plastico C-1.*

<b>LIMITE PLASTICO - ASTM D 4318</b>		<b>LP (%) = 12.90</b>	
Muestra	1	2	
Numero de capsula	49.00	98.00	
Peso de la Capsula (g)	11.40	11.50	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	21.00	20.30	
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	19.27	18.57	
Peso del Suelo Seco (g)	7.87	7.08	
Contenido de Humedad (w)	12.80	13.00	

<b>LIMITE LIQUIDO - ASTM D 4318</b>		<b>LL (%) = 38.63</b>		<b>IP (%) = 15.15</b>
Muestra	A	B	C	
Numero de capsula	54.00	20.00	27.00	
Peso de la Capsula (g)	37.00	37.20	39.80	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	60.20	62.00	59.00	
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	54.40	59.50	55.45	
Numero de golpes	34.00	29.00	21.00	
Peso del Suelo Seco (g)	16.70	19.80	15.80	
Contenido de Humedad (w)	35.20	38.80	41.90	



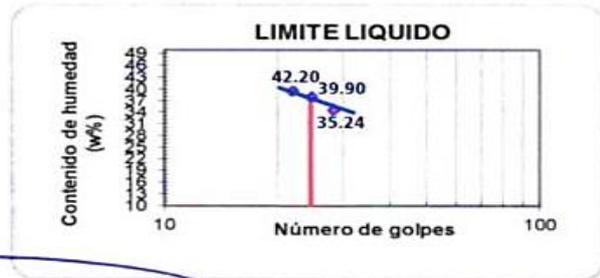
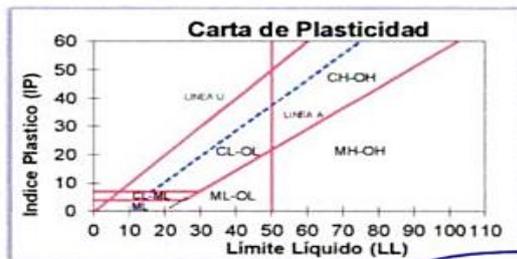
Fuente: Elaboración propia.

**Grafico 4.**  
 Limite Liquido, limite plastico e indice plastico C-2.

<b>LIMITE PLASTICO - ASTM D 4318</b>		<b>LP (%) = 23.60</b>	
<b>Muestra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	
Numero de capsula	59.00	110.00	
Peso de la Capsula (g)	19.80	18.80	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	20.50	20.30	
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	19.50	17.50	
Peso del Suelo Seco (g)	8.30	7.30	
Contenido de Humedad (w)	23.50	23.70	

<b>LIMITE LIQUIDO - ASTM D 4318</b>		<b>LL (%) = 39.11</b>		<b>IP (%) = 15.45</b>
<b>Muestra</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	
Numero de capsula	180.00	210.00	150.00	
Peso de la Capsula (g)	37.00	37.80	39.80	
Peso de la Capsula+Suelo Humedo (g)	60.20	59.60	59.00	
Peso de la Capsula+ Suelo Seco (g)	52.40	53.50	58.50	
Numero de golpes	34.00	28.00	16.00	
Peso del Suelo Seco (g)	16.70	16.80	19.80	
Contenido de Humedad (w)	35.24	39.90	42.20	



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 13.**  
 Ensayo Proctor Modificado

<b>Ensayo proctor modificado</b>						
<b>Calicata</b>	<b>Resultados</b>	<b>Prueba 1</b>	<b>Prueba 2</b>	<b>Prueba 3</b>	<b>Prueba 4</b>	<b>Resultado</b>
CALICATA (3%)	Compactación (Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> ))	1.725	2.018	2.016	1.995	1.939
	Compactación (Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> ))	1.662	1.858	1.919	1.772	1.803
CALICATA (5%)	Compactación (Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> ))	1.920	2.080	2.220	2.150	2.093
	Compactación (Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> ))	1.838	1.925	1.984	1.886	1.908
CALICATA (7%)	Compactación (Densidad Húmeda (g/cm <sup>3</sup> ))	1.937	2.017	2.005	1.936	1.974
	Compactación (Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> ))	1.913	1.864	1.863	1.775	1.854

Fuente: Calicatas del camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras.

Analizando la tabla 18, los resultados del Ensayo iProctor iModificado para 3% la Compactación (Densidad Húmeda (g/cm<sup>3</sup>)) es de 1.939; mientras que para la Compactación (Densidad Seca (g/cm<sup>3</sup>)) es de 1.803; Para el segundo ensayo al 5% la Compactación (Densidad Húmeda (g/cm<sup>3</sup>)) es de 2.093; mientras que para la Compactación (Densidad Seca (g/cm<sup>3</sup>)) es de 1.908; por otro lado, para el tercer ensayo al 7% la Compactación (Densidad Húmeda (g/cm<sup>3</sup>)) es de 1.974; mientras que para la Compactación (Densidad Seca (g/cm<sup>3</sup>)) es de 1.854.

**Figura 18.**  
Ensayo Proctor Modificado en laboratorio.



Fuente: Elaboración propia.

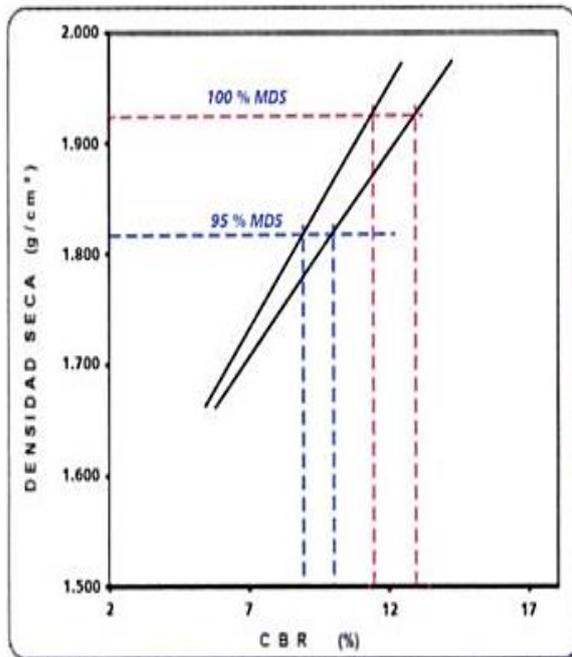
**Grafica 5.**  
Ensayo Proctor Modificado

<b>Datos y resultados de ensayo</b>				
<b>Compactación</b>	<b>Código de molde : P1</b>		<b>Metodo : A molde de 4"</b>	
<b>Prueba N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Numero de capas	5	5	5	5
Numero de golpes	56	56	56	56
Peso suelo + molde (g)	6120	6340	6434	6320
Peso del molde (g)	4444	4444	4444	4444
Peso del suelo humedo compactado (g)	1676	1895	1990	1876
Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	940.45	940.5	940.05	940.5
Densidad húmeda (g/cm <sup>3</sup> )	1.725	2.018	2.016	1.995
<b>Humedad</b>				
<b>N° de tara</b>	<b>163</b>	<b>233</b>	<b>231</b>	<b>154</b>
Tara + Suelo Humedo (g)	501.20	500.20	532.20	511.40
Tara + Suelo Seco (g)	470.06	463.57	486.26	456.38
Peso de la tara	37.60	37.60	37.36	37.60
Peso del agua	31.14	36.63	45.94	53.20
Peso de suelo seco (g)	432.46	425.97	448.63	420.87
Humedad (%)	7.20	8.06	10.24	12.60
Densidad Seca (g/cm <sup>3</sup> )	1.662	1.858	1.919	1.772
<b>Maxima Densidad Seca (g/cm<sup>3</sup>) :</b>		<b>1.926</b>	<b>Optimo Contenido de Humedad (%): 10.255</b>	

Fuente: Elaboración propia.



**Grafico 8.**  
 Valor Relativo de soporte CBR-C-1, Suelo natural.



**DATO DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**

Optimo Contenido de Humedad (%) : 11.305  
 Maxima Densidad Seca  $g/cm^3$  : 1.985

**CALIFORNIA BEARING RATIO**

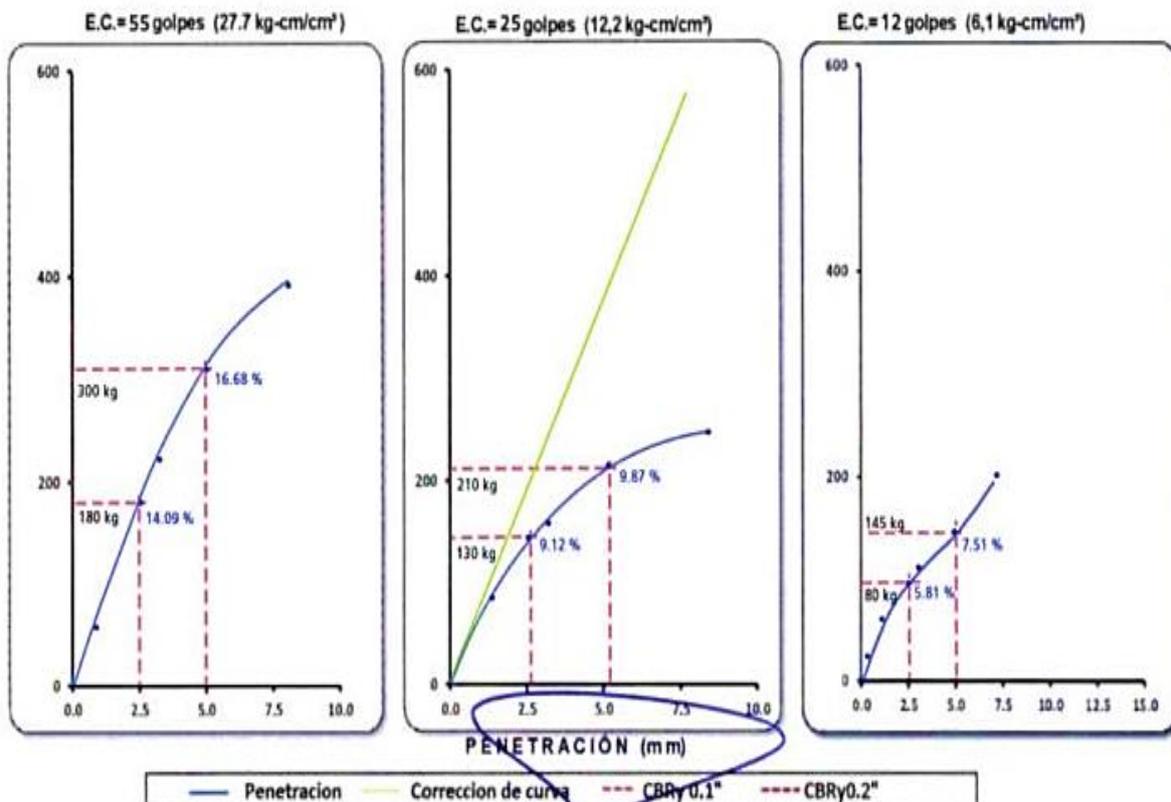
CBR A 2.5 mm (0.1") de Penetración  
 CBR Al 100% de la Maxima Densidad Seca 11.6

CBR Al 95% de la Maxima Densidad Seca 9.0

**CBR A 5 mm (0.2") de Penetración**

CBR Al 100% de la Maxima Densidad Seca 13.1

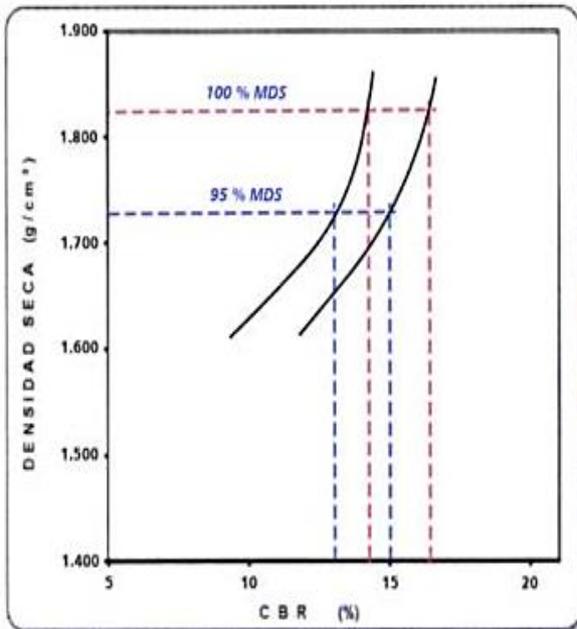
CBR Al 95% de la Maxima Densidad Seca 10.4



Fuente: Elaboración propia.

**Grafico 9.**

Valor Relativo de soporte CBR-C-1, Suelo natural + Cal-Cenizas de Cascara de arroz.



**DATO DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**

Óptimo Contenido de Humedad (%) : 10.255

Maxima Densidad Seca g/cm³ : 1.926

**CALIFORNIA BEARING RATIO**

CBR A 2.5 mm (0.1") de Penetración

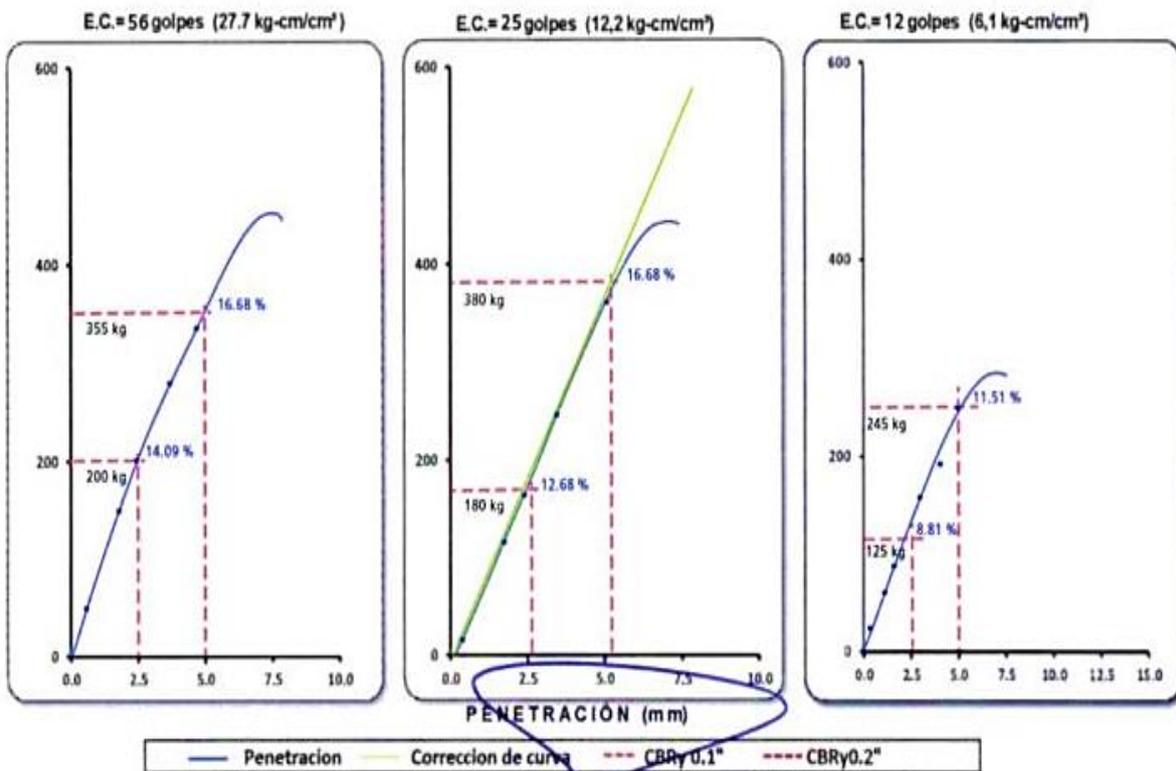
CBR Al 100% de la Maxima Densidad Seca 14.1

CBR Al 95% de la Maxima Densidad Seca 13.0

CBR A 5 mm (0.2") de Penetración

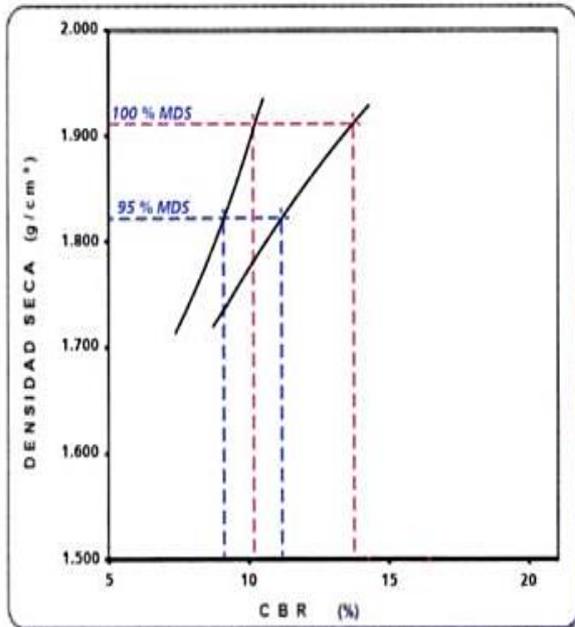
CBR Al 100% de la Maxima Densidad Seca 16.7

CBR Al 95% de la Maxima Densidad Seca 13.2



Fuente: Elaboración propia.

**Grafico 10.**  
 Valor Relativo de soporte CBR-C-2, Suelo natural.



**DATO DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**

Óptimo Contenido de Humedad (%) : 10.315  
 Máxima Densidad Seca  $g/cm^3$  : 1.928

**CALIFORNIA BEARING RATIO**

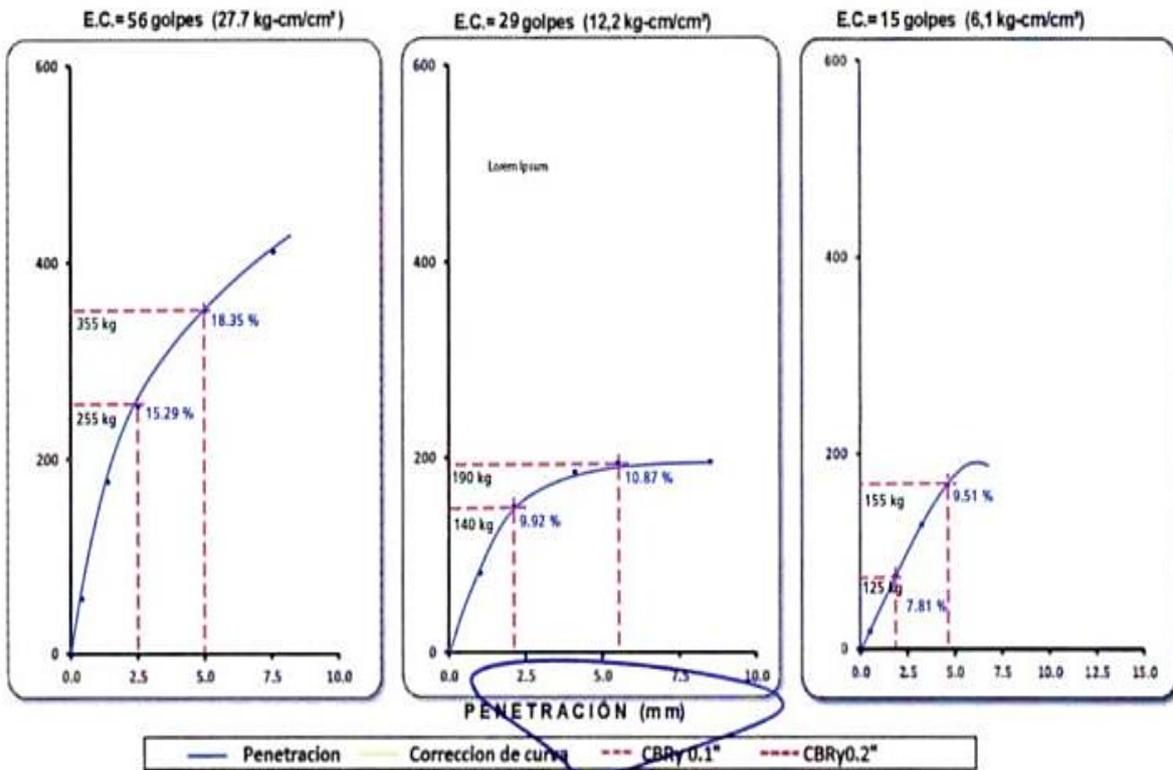
CBR A 2.5 mm (0.1") de Penetración  
 CBR Al 100% de la Máxima Densidad Seca 10.2

CBR Al 95% de la Máxima Densidad Seca 9.1

**CBR A 5 mm (0.2") de Penetración**

CBR Al 100% de la Máxima Densidad Seca 13.9

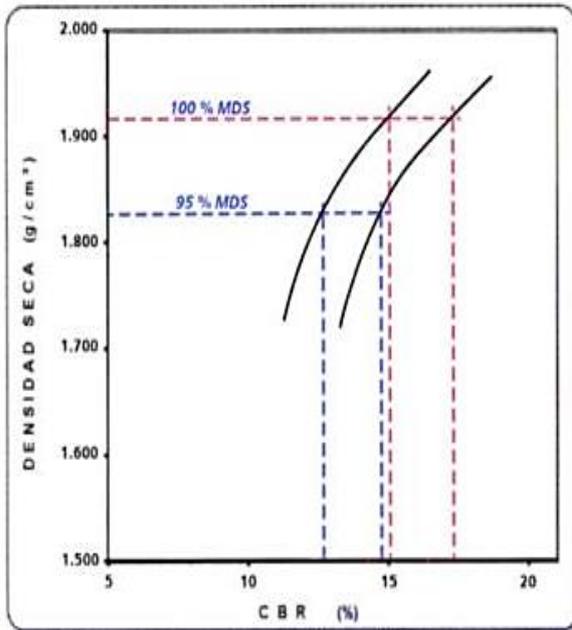
CBR Al 95% de la Máxima Densidad Seca 10.9



Fuente: Elaboración propia.

**Grafico 11.**

Valor Relativo de soporte CBR-C-2, Suelo natural + Cal-Cenizas de Cascara de arroz.



**DATO DEL ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO**

Optimo Contenido de Humedad (%) : 12.220

Maxima Densidad Seca g/cm³ : 1.818

**CALIFORNIA BEARING RATIO**

CBR A 2.5 mm (0.1") de Penetración

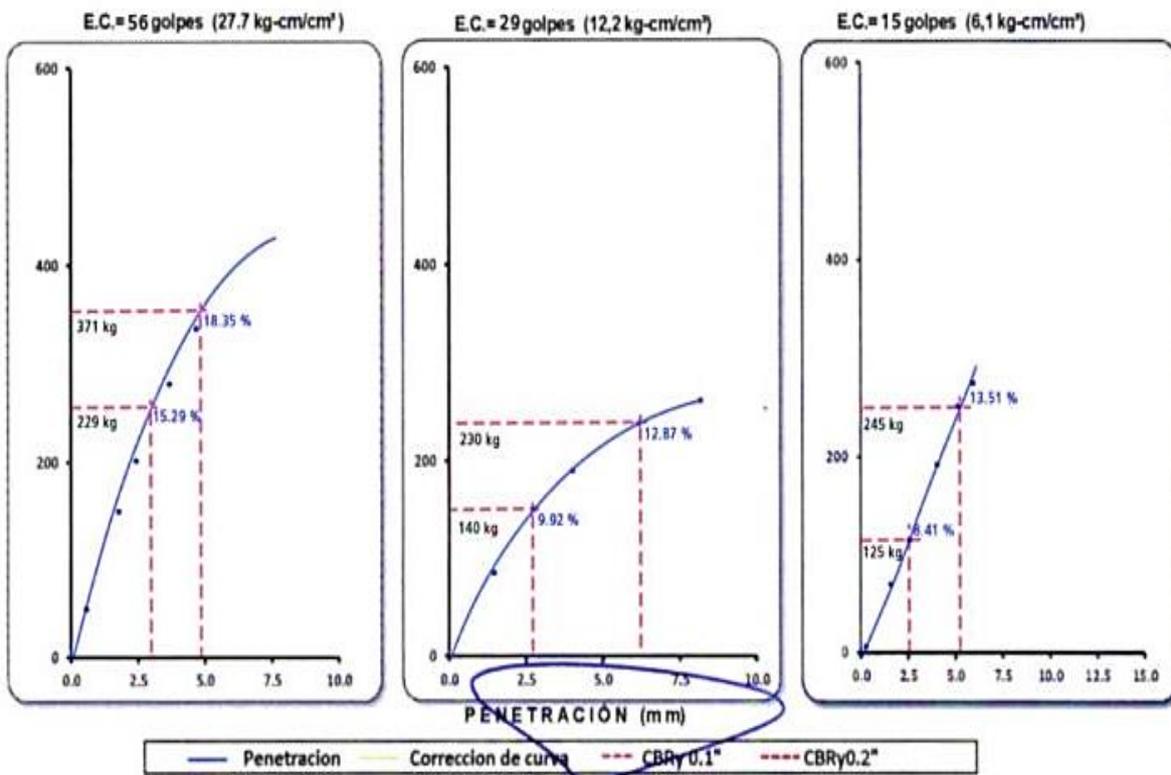
CBR Al 100% de la Maxima Densidad Seca 15.1

CBR Al 95% de la Maxima Densidad Seca 12.8

CBR A 5 mm (0.2") de Penetración

CBR Al 100% de la Maxima Densidad Seca 17.5

CBR Al 95% de la Maxima Densidad Seca 14.9



Fuente: Elaboración propia.

## **CAPITULO IV**

### **DISEÑO METODOLOGICO**

#### **4.1 Tipo y diseño de investigación**

La investigación es aplicada, ya que el objetivo de este tipo de investigación es resolver un problema concreto o aportar soluciones innovadoras a problemas que afecten a un fenómeno, en el estudio se empleará cal-cenizas de cáscara de arroz mejora la CBR en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios.

El nivel de investigación es explicativo, ya que se realizó para detectar el fenómeno de la inestabilidad del suelo de manera específica, no han sido bien estudiados ni explicados antes. El objetivo del análisis es proporcionar información del fenómeno estudiado. Para ayudar a los investigadores a profundizar en el problema y comprender eficazmente el fenómeno.

El diseño de la investigación es experimental porque se basa en el análisis estadístico. Es el único diseño experimental en el que la causalidad puede establecerse dentro de uno o más grupos.

#### **4.2 Método de investigación**

En la investigación se empleó el método cuantitativo, puesto que es un conjunto de estrategias de adquisición y procesamiento de información que utilizan valores

numéricos y métodos formales y/o estadísticos para analizarlos, siempre organizados sobre una base causal. Ya que el estudio tiene como objetivo principal es determinar en qué medida el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará la CBR en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022.

#### **4.3. Población y Muestra**

**Población:** No corresponde, La Población en nuestra investigación identificar la población de estudio, ya que se estudió la ceniza de cascara de arroz para estabilización de suelo del camino camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios.

**Muestra:** La muestra del estudio fue compuesta por 02 calicatas del camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios.

#### **4.4. Lugar de Estudio**

El lugar del Estudio se encuentra, Madama - san Isidro - tormenta - margen derecha carretera puerto Maldonado - iberia - distrito de las Piedras - provincia de tambopata - región madre de dios.

#### **4.5. Técnicas e Instrumentos para la Recolección de información**

**Técnicas:** El método utilizado fue la observación experimental, o análisis prospectivo, que se distingue por la manipulación indirecta y superficial de un factor de estudio por parte del investigador.

**Instrumentos:** El instrumento del estudio fue la guía de observación, puesto que, esta se basa en una lista de indicadores que fueron estandarizadas para determinar las características del suelo, asimismo orientó el trabajo de observación dentro del método cuantitativo.

## 4.6. Análisis y Procesamiento de Datos

**Tabla 15.**

*Matriz de consistencia.*

Título: Uso de mezcla cal- cenizas de cáscara de arroz para mejoramiento de la CBR en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre de Dios, 2022		
Problema	Objetivos	Metodología
<p><b>Problema general</b> ¿En qué medida el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará la CBR en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022?</p>	<p><b>Objetivo General</b> Determinar en qué medida el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará la CBR en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022.</p>	<p><b>Nivel de investigación:</b> • Explicativo. <b>Diseño de investigación:</b> • Experimental. <b>Tipo de investigación:</b> • Aplicada</p>
<p><b>Problemas específicos</b></p> <p>PE.1. ¿Como el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará los límites de consistencia en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022?</p> <p>PE.2. ¿Como el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará el Proctor modificado en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022?</p> <p>PE.3. ¿Como el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará la resistencia en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022?</p>	<p><b>Objetivos específicos</b></p> <p>OE.1. Evaluar como el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará los límites de consistencia en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022.</p> <p>OE.2. Evaluar como el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará el Proctor modificado en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022.</p> <p>OE.3. Evaluar como el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejorará la resistencia en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022.</p>	<p><b>población:</b> No corresponde <b>muestra:</b> 2 calicatas del camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios.</p> <p><b>Técnicas e instrumentos de recojo de datos</b> Técnica: Observación. Instrumento: Ficha de observación.</p> <p><b>Técnicas de análisis de datos</b> Estadística descriptiva e inferencial.</p>

Fuente: Elaboración propia.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- a) Se determinó que el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejora significativamente la CBR del camino vecinal iMadama- San Isidro-Tormenta Distrito Las iPiedras, Madre De Dios – 2022, puesto que el valor de Sig. (0,000) es menor a 0,05. La densidad del suelo disminuye y la humedad óptima de compactación aumenta con la adición de cal y cenizas de cáscara de arroz, siendo las variaciones de estas dos propiedades más relevantes cuando se mantiene el porcentaje de cal y aumenta el de cenizas de cáscara de arroz; Para cumplir con el 20% mínimo de Índice de Soporte de California para la capa de subrasante, las mezclas de suelo arcilloso con cenizas de cáscara de arroz necesitan ser ayudadas con adiciones de cal; Del mismo modo, el uso de mezclas de suelo arcilloso con cenizas de cáscara de arroz necesitan adiciones de cal para obtener una expansión inferior al 1%, requerida para el uso de suelos como subrasante de pavimento.
- b) Se demostró que el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejora de manera significativa los límites de consistencia en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022, puesto que el valor de Sig. (0,000) es menor a 0,05. En cuanto a la Resistencia a la Compresión Simple, los resultados mostraron que en ausencia de tiempo de curado y manteniendo constante la dosificación de cal, las adiciones de cenizas de cáscara de arroz no generaron ganancia ni pérdida de resistencia. Además, cuando se aplican tiempos de curado a las mezclas, se verificó que el cenizas de cáscara de arroz no desarrolló reacciones químicas con la cal y/o con el suelo que

contribuyeran a la ganancia de resistencia, porque los valores de CBR se mantuvieron similares para las muestras con cantidades constantes de 5% de cal y variando el cenizas de cáscara de arroz, mientras que cuando se mantuvo el 10% de cal para diferentes adiciones de cenizas de cáscara de arroz el mejor resultado alcanzado fue con la cantidad mínima del residuo (5%).

c) Se determinó que el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejora significativamente el Proctor modificado en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022, puesto que el valor de Sig. (0,000) es menor a 0,05. La mezcla más eficaz estudiada era la de suelo con 10% cenizas de cáscara de arroz + 5%Cal, porque en relación con las demás era la más económica. Además de la economía que puede suponer este residuo, el uso de cenizas de cáscara de arroz en la estabilización de los caminos vecinales será de gran importancia para el medio ambiente, ya que evitará la eliminación en vertederos y la posible contaminación de los ríos.

d) Se determinó que el uso de mezcla cal-cenizas de cáscara de arroz mejora de manera significativa la resistencia en el camino vecinal Madama- San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios – 2022, puesto que el valor de Sig. (0,000) es menor a 0,05. El porcentaje mínimo de adiciones necesario para la estabilización del suelo era del 6%, y la relación ideal de cal y cenizas de cáscara de arroz era del 40% de cal y el 60% de cenizas. Cabe señalar que estos contenidos, determinados a partir de la metodología propuesta por Casanova, indican el contenido mínimo y más económico, pudiendo utilizarse cantidades superiores. No hubo un aumento significativo de la resistencia mecánica por la inclusión de cal y cenizas de cáscara de arroz en el suelo; por el contrario, las mezclas que contenían cal dolomítica tuvieron una disminución de la resistencia a

los 28 días, aumentando de nuevo a los 56 días. Es necesario un mejor análisis químico de los compuestos generados con la adición de cal dolomítica, pero hay indicios de que dicha categoría no es adecuada para la estabilización de suelos arcillosos lateríticos.

## **5.2 Recomendaciones**

- a) Se sugiere a en las futuras investigaciones utilicen diferentes porcentajes de ceniza de cáscara de arroz, así como de cal, para evaluar sus propiedades y comportamiento. Además, se recomienda aplicar las dosis utilizadas en este estudio a un tipo de suelo distinto del estudiado, ya que es posible que porcentajes más elevados den mejores resultados que los obtenidos en este trabajo de investigación.
- b) Se recomienda llevar a cabo un análisis comparativo de costes de la estabilización de suelos con ceniza de cáscara de arroz y otros tipos de estabilizantes como la cal, el cemento y otros, como parte de futuras investigaciones.
- c) Al realizar las pruebas, se sugiere a los contratistas que realicen la sección de prueba utilizando el equipo adecuado, ya que, debido al bajo presupuesto de esta obra, la compactación se realizó utilizando una placa de compactación, lo que dio lugar a un resultado de compactación inferior al 95% MDS, que es el mínimo exigido en suelos.
- d) Habiendo demostrado el mejoramiento de la CBR del camino vecinal Madama-San Isidro-Tormenta Distrito Las Piedras, Madre De Dios con ceniza de cascarilla de arroz y cal es lo más factible posible, se recomienda a la municipalidad de la provincia de Tambopa poner en práctica este método de estabilización para los proyectos en este camino vecinal se lograron buenos resultados y también por su rentabilidad.

e) Para garantizar que el contenido de cenizas de la cascara de arroz, deben determinarse previamente en laboratorios para obtener propiedades específicas de resistencia y durabilidad. Realizar un ensayo con un porcentaje de ceniza de cáscara de arroz superior al 15% para determinar el porcentaje máximo de CBR que puede alcanzar el suelo añadiendo este material. Realizar un estudio con cenizas de cáscara de arroz con diferentes grados de calcinación, ya que con la combustión controlada se obtienen puzolanas más reactivas. Realizar estudios sobre el uso de la ceniza de cascarilla de arroz en otros tipos de suelos y determinar su comportamiento, ya que los resultados obtenidos sólo son aplicables a los suelos arcillosos. Realizar un estudio socioeconómico para determinar la relación coste-beneficio de cada estabilizador.

# CAPITULO VI

## GLOSARIO DE TERMINOS Y REFERENCIAS

### 6.1 Glosario de Terminos

**AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte.

**DG:** Manual de Diseño Geométrico de Carreteras.

**EEC:** Especificaciones Especiales para la Conservación Vial de tramo específico.

**EM:** Manual de Ensayo de Materiales para la Construcción de Carreteras. Manual de Dispositivos de control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras.

**FHWA:** Federal Highway Administration o Administración Federal de Carreteras.

**MTC:** Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

**SI:** Sistema Internacional de Unidades (Sistema Métrico Modernizado).

**Subrasante:** Es la superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno), sobre la cual se coloca la estructura del pavimento o afirmado.

**Relaciones Humedad/Densidad (Proctor):** Humedad vs. P.U. de suelos compactados .

### 6.2 Libros

cuña S., Liendo C., Lavado K., Cusinga G., & Castro S. (2020) *Uso de la ceniza de cáscara de arroz como alternativa para el mejoramiento de subrasantes arcillosas en pavimentos*. [Trabajo de grado] Lima: Universidad Católica del Perú.

Acción Práctica F. (1994). *Acción práctica*. Obtenido de The Schumacher Center for Technology and Development.

- Almonacid I. (2019). *Estabilización de subrasante mediante cal y ceniza de quinua en suelos del centro poblado Viñas, Tayacaja, Huancavelica*. [Tesis para optar el título de Ingeniero civil], Junín: Universidad Peruana los Andes.
- Andavan S. y Pagadala V. (2020). *Un estudio sobre la estabilización del suelo mediante la adición de cenizas volantes y cal*. [Internet] Rev. MaterialesToday: Actas, 22, 1125-1129. [Citado: 2021, setiembre 13].
- ASTM. (2011). *Práctica estándar para la clasificación de suelos con fines de ingeniería (Sistema unificado de clasificación de suelos)*. West Conshohocken.
- ASTM C618. (2015). *Especificación estándar para cenizas volantes de carbón y puzolana natural bruta o calcinada para uso en concreto*.
- Crespo C. (2004). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. México
- Huancoillo Y. (2017). *Mejoramiento de suelo arcilloso con ceniza volante y cal para su uso como pavimento a nivel de afirmado en la carretera desvío Huancané-Chupa-Puno*. [Tesis para optar el título de Ingeniero civil], Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado a partir de:
- Indiramma P., Sudharani C. y Needhidasan S. (2020). *Utilización de cenizas volantes y cal para estabilizar el suelo expansivo y mantener un medio ambiente libre de contaminación: un estudio experimental*. [Internet] Rev. Materiales Today: Actas, 22, 694-700. [Citado: 2021, setiembre 13].

### **6.3 Electrónica**

- López J. (2021). *Estabilización de suelos arcillosos aplicando ceniza de cáscara de arroz para el mejoramiento de subrasante, en la localidad de Moyobamba-departamento de San Martín*. [Tesis de Licenciatura] Lima: Universidad de

Ciencias Aplicadas. Recuperado a partir de:  
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/654616>

Mata M. (2010). *Guía Básica para la conformación de bases y subbases para carreteras en El Salvador*. (Tesis de Grado). Universidad de El Salvador, El Salvador.

Mishra (2021), ENK *Características de resistencia del suelo arcilloso de sub-grado estabilizado con cenizas volantes y cal para obras viales*. [Internet] Indian Geotech J 42, 206–211 (2012). [Citado: 2021, setiembre 13]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40098-012-0015-5>

Santos C. (2019). *Estabilización de suelos: adición de cal y cenizas volantes a un suelo arcilloso de Bom Retiro do Sul (tesis de licenciatura)*. Universidad de Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 12 dic. 2018. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10737/2336>.

Silveira V., Guimarães A., y Castro C. (2019). *Estudio de la aplicación de cenizas de caldera de coque en las capas base y sub-base de pavimentos*. TRANSPORTES, 27 (2), 194-208. <https://doi.org/10.14295/transportes.v27i2.1690>

Solminihac H., Echeverría G., & Thenoux G. (1989). *Estabilización Química de Suelos: Aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimentos*.

Thenoux G., Halles F., & González Á. (2002). *Guía de Diseño Estructural de Pavimentos para Caminos de Bajo Volumen de Tránsito*. Dirección de Vialidad, MOP.

Thenoux G., & San Juan M. (2000). *Estabilización físico-química de suelos para caminos [Diapositiva]*. Santiago: PROVIAL.

- Ulloa L. (1978). *Utilización de cenizas volantes en la fabricación de cementos*.  
Materiales de Construcción, Vol 28, N°172, 27.
- Vilca D. (2020). *Estabilización de Suelos con Ceniza Natural en los Jirones Unión y Primero de Mayo del Distrito de Viques*. [Tesis para optar el título de Ingeniero civil], Junín: Universidad Peruana los Andes. Recuperado a partir de: <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2406>
- Yuyi L., Su Y., Namdar A., Zhou G., She Y., Yang Q. (2019). *Utilización de material cementoso de ceniza y cal de cáscara de arroz residual en la estabilización de suelos expansivos*. Avances en ingeniería civil, vol. 2019, ID de artículo 5205276, 17 páginas, 2019. <https://doi.org/10.1155 /2019/5205276>

# CAPITULO VII

## INDICES

### 7.1 Indices de Gráficos

Gráfico 1 Contenido de humedad W (%) .....	41
Gráfico 2 Contenido de humedad C-1 y C-2.....	42
Gráfico 3 Limite liquido, limite plástico e indice plastico C-1.....	44
Gráfico 4 Limite liquido, limite plastico e indice plastico C-2.....	45
Gráfico 5 Ensayo Proctor Modificado .....	46
Gráfico 6 Ensayo Proctor Modificado curva compactada.....	47
Gráfico 7 Valor Relativo de soporte CBR.....	48
Gráfico 8 Valor Relativo de soporte CBR-C-1, Suelo natural.....	37
Gráfico 9 Valor Relativo de soporte CBR-C-1, Suelo natural + Cal-Cenizas de Cascara de arroz.....	49
Gráfico 10 Valor Relativo de soporte CBR-C-2, Suelo natural.....	50
Gráfico 11 Valor Relativo de soporte CBR-C-2, Suelo natural + Cal-Cenizas de Cascara de arroz.....	51

### 7.2 Indices de Tablas

<b>Tabla 1</b> Proyectos Similares Desarrollados y Ejecutados por el Gobierno Regional Madre de Dios.....	14
<b>Tabla 2</b> Normativa Aplicada en el trabajo suficiencia profesional.....	20
<b>Tabla 3</b> CE010.Pavimentos Urbanos.....	20
<b>Tabla 4</b> Categorías de subrasante en función del CBR%.....	23
<b>Tabla 5</b> Clasificación de los suelos según el IP.....	25
<b>Tabla 6</b> Ubicacion de calicatas.....	27
<b>Tabla 7</b> Tamaños de Partículas del Suelo.....	29
<b>Tabla 8</b> Tamices Utilizados para el Ensayo.....	29
<b>Tabla 9</b> Categoría de indice CBR.....	32
<b>Tabla 10</b> Resultados del Ensayo de CBR.....	32
<b>Tabla 11</b> Inventario de el camino vecinal Madama-San Isidro-Tormenta.....	34
<b>Tabla 12</b> Contenido de humedad.....	41
<b>Tabla 13</b> Ensayo Proctor Modificado.....	45
<b>Tabla 14</b> Matriz de consistencia.....	54
<b>Tabla 15</b> Costo total de la investigacion.....	65

### 7.3 Indices de Figuras

<b>Figura 1</b> Proceso de Desarrollo de Etapas Para el Trabajo de Suficiencia Profesional.....	19
<b>Figura 2</b> Suelo Arcilloso.....	22
<b>Figura 3</b> Trabajo de Campo Ubicación de calicata el Kilometraje y la Coordenada con GPS.....	26
<b>Figura 4</b> Ensayo Contenido de Humedad Natural C-1.....	28
<b>Figura 5</b> Ensayo Contenido de Humedad Natural C-2.....	28
<b>Figura 6</b> Limites de Consistencia Calicata C-1.....	30
<b>Figura 7</b> Limites de Consistencia Calicata C-2.....	31
<b>Figura 8</b> Ensayo de Compactación Proctor Modificado Calicata C-1.....	31
<b>Figura 9</b> Ensayo de Compactación Proctor Modificado Calicata C-2.....	32
<b>Figura 10</b> Índice de CBR de Suelo Natural C-1.....	33
<b>Figura 11</b> Índice de CBR de Suelo C-1 + Cal-Ceniza de cascara de Arroz.....	33
<b>Figura 12</b> Índice de CBR de Suelo Natural C-2.....	33
<b>Figura 13</b> Índice de CBR de Suelo C-2 + Cal-Ceniza de cascara de Arroz.....	34
<b>Figura 14</b> Situación Actual de el Camino Vecinal Zona <u>Arcilloso</u> .....	35
<b>Figura 15</b> Organigrama Gobierno Regional de Madre de Dios.....	38
<b>Figura 16</b> Extraccion de muestra C-2.....	40
<b>Figura 17</b> Ensayo Granulometrico.....	43
<b>Figura 18</b> Ensayo Proctor Modificado en laboratorio.....	46

### 7.4 Indices de Direcciones Web.

<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/654616>

<https://doi.org/10.1007/s40098-012-0015-5>

<http://hdl.handle.net/10737/2336>.

<https://doi.org/10.14295/transportes.v27i2.1690>

<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2406>

<https://doi.org/10.1155/2019/5205276>

## CAPÍTULO VIII

### ANEXOS

#### ANEXO 1 – Costo Total de la Investigación e Instalación del Proyecto Piloto.

**Tabla 15.**

*Costo Total de la Investigación*

<b>ITEM</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>COSTO S/.</b>
1	Acopio del trabajo de investigación	300
2	Asesoría	1000
3	Ejecución de trabajo de campo y laboratorio	2000
4	Trabajo elaborado en gabinete	300
5	Redacción del trabajo de suficiencia	300
6	Presentación del trabajo de suficiencia	1000
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>S/. 4,900</b>

Fuente: Elaboración propia.

## **ANEXO 2 – Diapositivas utilizadas en la sustentación**