

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Las condiciones que debe aportar el suelo para diferentes tipos de cargas sean estáticas o dinámicas deben ser las apropiadas para resistir dichas cargas, pero cuando dicho suelo no presta estas condiciones apropiadas se debe hacer un cambio o una mejora de este estrato; como por ejemplo, una estabilización de este sin necesidad de cambiarlo solo mejorando sus propiedades agregando como en este caso la ceniza de fondo.

En Estados Unidos como en Europa o Colombia optaron por utilizar ceniza de carbón como un material de pavimentación obteniendo como resultado la estabilización del suelo mejorando sus propiedades mecánicas (Pérez Collantes, 2012).

Algunos suelos arcillosos, debido a su baja capacidad de soporte y mala calidad no siempre cumplen con los requerimientos necesarios para ser empleados en proyectos de pavimentación. Una alternativa de solución es mejorar las características mecánicas del material, estabilizándolo con productos adicionados (Morales Zuloaga, 2015).

Por esto que se crea la necesidad de obtener un factor que sirva de estabilizador para distintos tipos de suelos, y así poder dar la más óptima solución ante suelos pocos capaces de resistir cargas, como lo es la ceniza de carbón activadas alcalinamente.

Según (Morales, 2015) la investigación concerniente a la clasificación, las aplicaciones y los procesos para la producción de cenizas de madera de fondo y algunas estadísticas sobre su utilización se hicieron búsqueda arrojando indicadores estadísticos, de los cuáles se reporta que la estabilización de suelos mediante cenizas de fondo ha tenido un incremento desde el año 2000.

Así (Morales, 2015) menciona que en: “la estabilización de suelos se han utilizado diferentes residuos provenientes de las industrias, donde se obtuvieron resultados ambientales viables y requisitos mecánicos, físicos y químicos satisfactorios con resultados como nuevas alternativas para ser utilizados en la construcción vial”.

El estudio de las cenizas de fondo; en países desarrollados, se alcanza un gran auge debido al crecimiento registrado en la producción de energía eléctrica vía carbón. En diversos países como Estados Unidos, Europa y Brasil se han empleado cenizas de madera de fondo como material de pavimentación, obteniendo como resultado que estabiliza el suelo mejorando sus propiedades mecánicas (Pérez, 2012).

1.2. SITUACIÓN PROBLÉMICA

La estabilización de suelos inorgánicos arcillosos se puede tratar con diferentes métodos tales como: mecánicos, químicos, físicos y biológicos.

Los estudios sobre la estabilización de suelos han venido experimentando un importante crecimiento desde el año 2000; dato importante, teniendo en cuenta que el estudio de la estabilización de suelos va en aumento, donde se han manejado otros restos de las industrias para renovar las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los suelos, alcanzando reutilizar estos residuos; los suelos estabilizados componen capas semejantes, de característica, con mayor estabilidad y duros al agua.

Dicha alternativa corresponde al empleo de materiales como la ceniza de madera de fondo proveniente de ladrilleras artesanales y comparada además con cemento portland añadido a la ceniza; ya que, actualmente en nuestro país no se da un uso adecuado respecto a la aplicación de innovación de estabilizadores de suelos.

La presente investigación beneficiara a las zonas a tener una disminución de los precios de transporte; ya que, al mejorar las carreteras o caminos los medios de transporte gastaran menos recursos en el mantenimiento de sus coches; asimismo, brindaran un mejor confort a sus pasajeros.

Si al realizar los estudios de C.B.R. no se toman en cuenta los porcentajes óptimos de ceniza comparada con ceniza-cemento se tendrá gastos innecesarios a la hora de estabilizar el suelo provocando así la deficiencia económica del proyecto.

Este aprovechamiento se vio reflejado directamente en la reducción de la contaminación del medio ambiente; ya que, estas cenizas de fondo son arrojadas a la intemperie dando lugar a la contaminación tanto del agua como del aire, podremos reducir ese impacto utilizándolos para la ingeniería civil.

Es imprescindible comparar bajo los estudios necesarios de granulometría, límites de Atterberg, proctor y C.B.R. el óptimo porcentaje para que el suelo se estabilice.

1.2.1. Delimitación espacial y temporal

Los trabajos realizados deben ser analizados en un laboratorio de suelos, donde se verificará y estudiará los diferentes comportamientos de la arcilla tomando en cuenta y evaluando el mejor porcentaje para estabilizar.

Es muy importante recalcar el uso de gabinete para poder realizar los cálculos mediante programas informáticos y así obtener valores confiables para posteriormente llevarlos al campo de ejecución logrando así el mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo.

1.2.2. Formulación del problema de investigación

¿De qué manera se puede establecer mejores CBRs a través de los métodos de estabilización entre ceniza de madera de fondo y cemento portland combinado con suelos arcillosos?

1.3. JUSTIFICACIÓN

El presente proyecto está enfocado en la necesidad actual de mejorar suelos inestables como ser la arcilla, para un mejor aprovechamiento de estos suelos a la hora de construir carreteras.

Es así que otros autores han investigado sobre la posibilidad de estabilizar suelos inestables con diferentes productos tales como: la ceniza fruto de la incineración de la cascarilla de arroz, ácido fosfórico y cal, polímeros comerciales, cemento, residuo de polvo de cerámica, ceniza volante, entre otros. Nuestro proyecto de tesis se orienta a la valorización de la ceniza de carbón (vegetal) derivado de industrias ladrilleras de nuestro departamento de Tarija.

Con el desarrollo del presente tema de investigación se han obtenido múltiples beneficios, enfocados en el mejoramiento de los suelos arcilloso inorgánicos, los cuales no son aptos para un desarrollo ingenieril.

Por ello la investigación se basa en la implementación de estos residuos como estabilizadores de suelos arcillosos, dando así un importante aporte técnico a la ingeniería como a los aspectos socioeconómico y ambiental.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Comparar los métodos de estabilización de suelos arcillosos, combinando la ceniza de fondo y cemento portland; de tal manera, que se pueda optar por el más óptimo.

1.4.2. Objetivo Especifico

- Profundizar la teoría de los métodos de estabilización de suelos.
- Determinar el suelo arcilloso como elemento de investigación.
- Precisar la dosificación optima de ceniza de fondo-ceniza de fondo con cemento.
- Analizar las propiedades de las cenizas de madera de fondo y cemento.
- Realizar la prueba de C.B.R. para determinar los parámetros de resistencia del suelo.

1.5. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

1.5.1. Formulación de la hipótesis

El uso de cenizas de carbón pura y ceniza de carbón incorporada con cemento portland mejora aceptablemente la estabilización de suelos arcillosos mediante las pruebas de C.B.R.

1.5.2. Hipótesis de investigación

El suelo arcilloso combinado con ceniza de carbón es más óptimo en el C.B.R. que el suelo combinado con ceniza de carbón más cemento portland.

1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

1.6.1. Variable Independiente

- Cantidad de cenizas de carbón.
- Cantidad de ceniza-cemento.

1.6.2. Variable Dependiente

- Estabilización de suelo mediante prueba C.B.R.

1.7. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo se considera como alcance explicativo-causal; debido, a que aparecen variables manipulables por el investigador, definidas como variables independientes. Además, existe una relación de causa-efecto entre las variables independientes y dependientes.

El diseño de la investigación es “Experimental” en la categoría cuasi experimento.

El efecto adquirido con esta investigación es el mejoramiento de un suelo inestable en sus diferentes características y propiedades; ya que, al tener unas propiedades deficientes a la hora de construir cualquier obra de ingeniería nos hace requerir mejorar dichos estratos el cual conlleva a implementar aditivos como mejoramientos tal es el caso de la ceniza de fondo.

Para llegar a obtener este restablecimiento del suelo a tratar se debe seguir unos métodos probados en laboratorio los cuales nos muestran su efectividad en el ensayo, estos métodos son en primera instancia el conocer su granulometría, posteriormente evaluar sus límites de consistencia, pruebas Proctor y finalmente obtener los resultados mediante una prueba C.B.R.

1.8. OPERALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Tabla 1. Conceptualización y operacionalización de variables

Variable independiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Cantidad de cenizas de carbón.	Se refiere a la cantidad de ceniza de carbon que se debe agregar para estabilizar una arcilla inorganica	Masa de suelo seco	Gramo (g)	Preparación previa de la muestra según normativa
		Ceniza de fondo	Porcentaje (%)	Calculada respecto del peso total de la muestra.
		Mezcla de suelo-ceniza	Gramo (g)	Realizado por separado de acuerdo a las cantidades de prueba bajo los rangos continuos de cada 10% hasta un valor de 50% de ceniza
Cantidad de ceniza-cemento.	Se refiere a la cantidad de ceniza de carbon mezclada con cemento portland que se debe agregar para estabilizar una arcilla inorganica	Masa de suelo seco	Gramo (g)	Preparación previa de la muestra según normativa
		Ceniza de fondo-cemento portland	Porcentaje (%)	Calculada respecto del peso total de la muestra.
		Mezcla de suelo-ceniza-cemento portland	Gramo (g)	Realizado por separado de acuerdo a las cantidades de prueba bajo los rangos aceptables y no sobredimensionados.
Variable dependiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Estabilización de suelo mediante prueba C.B.R.	Es la culminación de la combinacion entre arcilla-ceniza y arcilla-ceniza-cemento para poder estabilizar el suelo verificado bajo la prueba C.B.R.	Granulometria	Porcentaje (%)	Valor extraido de las muestras de suelo (arcilla inorganica)
		Limites de Atterberg	Porcentaje (%)	Valor extraido de las muestras de suelo-ceniza-cemento bajo diferentes humedades.
		Compactación Proctor Estándar AASHTO T-99	Kilogramo/metro cubico (Kg/m ³)	Ensayo que se realiza para la obtencion de la densidad seca máxima y la humedad optima representada en porcentaje, valor necesario para realizar el estudio de la prueba C.B.R.
		Ensayo de valor soporte o C.B.R.	Porcentaje (%)	Establece el procedimiento para determinar un indice de resistencia de los suelos, el cual se realiza normalmente en laboratorios bajo una humedad optima y niveles de energia variables.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 DEFINICIÓN

No siempre se encuentra el suelo adecuado que garantice la estabilidad y durabilidad de una explanada. Si se une a ello la creciente importancia medioambiental y la presión social por minimizar la apertura de nuevos préstamos y vertederos necesarios para el movimiento de tierras de una infraestructura; es evidente, el esfuerzo necesario en utilizar materiales calificados como tolerables, marginales e incluso inadecuados. La estabilización permite reemplazar un suelo de baja calidad por otro estabilizado y mejorado. Se trata de una de las técnicas más antiguas y utilizadas en bases y sub-bases para uso vial. No obstante, el espesor de la capa del suelo a tratar es relativamente pequeño, por lo que algunos autores no la consideran como una técnica de mejora de terrenos.

La estabilización de un suelo mejora o controla su estabilidad volumétrica, aumenta su resistencia y el módulo esfuerzo-deformación, mejora su permeabilidad y durabilidad y reduce su susceptibilidad al agua. Se requieren ensayos de laboratorio y pruebas de campo para evaluar el rendimiento de la técnica. Se aprovechan los suelos de baja calidad, evitando su extracción y transporte a vertedero, aumenta su resistencia a la erosión, a la helada y otros agentes climáticos, permite la circulación por terrenos impracticables y obtiene una plataforma estable de apoyo del firme de infraestructuras lineales que colabore estructuralmente con el mismo (Martì, Gonzalez, & Yepes, 2004).

La compactación y el drenaje del agua son los procedimientos más sencillos de estabilización. Asimismo, se puede mezclar dos o más suelos para obtener un suelo de mejor granulometría, plasticidad o grado de permeabilidad. También se logra mediante aditivos que actúan física o químicamente sobre las propiedades del suelo. Los más utilizados son el cemento y la cal; pero también, se usan cenizas volantes, escorias granuladas, puzolanas, ligantes hidrocarbonados fluidos, cloruro cálcico, cloruro potásico, etc. Por tanto, la estabilización puede ser mecánica o química.

Figura 1. Suelo mejorado con cemento.



Fuente: Yepes, 2014

2.2. SUELOS ARCILLOSOS

Muchos de los suelos arcillosos se hallan en zonas de alta precipitación, presentando deficiencias en el drenaje, este suelo se caracteriza por su alto contenido de agua y su baja resistencia in situ.

Los suelos arcillosos cuando experimentan cambios de humedad tienden a presentar cambios de volumen.

La constitución del suelo arcilloso es por los minerales activos como la montmorillonita en grandes proporciones y en pocas proporciones o casi nulas la clorita y la vermiculita. Y los minerales que no se consideran activas son las caolinitas y las illitas; éstos sin embargo, pueden contribuir a las propiedades expansivas de los suelos siempre y cuando se encuentren en cantidades apreciables. Existen propiedades físicas que influyen al cambio volumétrico y tienen incidencia tanto en sitio como en el laboratorio.

Las dimensiones de sus partículas de acuerdo a la norma: Asociación Americana de Ensayos de Materiales (ASTMD422, 2016).

Su índice de plasticidad para característica de un suelo arcilloso

Su peso específico varía entre los límites de 2,60 a 2,75 gramos por centímetro cúbico. Mientras más denso es el suelo es más sólido; por lo tanto, presenta alta resistencia a la erosión.

Su porosidad y humedad tienden a modificarse al incremento de la saturación, un suelo arcilloso puede pasar del estado sólido al líquido, debido al incremento de agua en su interior y provoca una disminución bruscamente de las fuerzas de cohesión apareciendo una fluidez de sus partículas. Los suelos arcillosos tienen una cohesión alta que va desde 0,25 kilogramos sobre centímetro cuadrado a 1,5 kilogramos sobre centímetro cuadrado, en ocasiones pasan el rango mencionado.

Tabla 2. Índice de Plasticidad para suelos

Índice de plasticidad	Característica
IP>20	Suelos muy arcillosos
20>IP>10	Suelos arcillosos
10>IP>4	Suelos poco arcillosos
IP=0	Suelos exentos de arcilla

Fuente: Comunicaciones M. d., 2016

Tabla 3. Tamaño de partículas para diferentes materiales

Tipo de material	Tamaño de partículas
Gravas	75mm-2mm
Arena	Arena gruesa: 2mm-0,2mm
	Arena fina: 0,2mm-0,05mm
Limo	0,05mm-0,005mm
Arcilla	menor a 0,005 mm

Fuente: Comunicaciones M. d., 2016

2.2.1. Estructura de las arcillas

De acuerdo a (Whitlow, 1994) los minerales arcillosos son formados principalmente por la meteorización química de las rocas; es decir, que estos minerales son producto de la alteración de minerales preexistentes en la roca. Estos minerales son tan diminutos que sólo pueden ser vistos utilizando un microscopio electrónico.

Los principales elementos químicos constituyentes de estos minerales son átomos de: silicio, aluminio, hierro, magnesio, hidrógeno y oxígeno. Estos elementos atómicos se combinan formando estructuras atómicas básicas, que combinándose entre sí forman láminas, la que al agruparse forman estructuras laminares que finalmente al unirse por medio de un enlace forman un mineral de arcilla.

En ambos casos el metal con valencia positiva está situado en el interior, mientras que los iones no metálicos con valencia negativa forman el exterior.

Las estructuras laminares se forman cuando varias unidades atómicas básicas se enlazan covalentemente mediante los iones de oxígeno u oxidrilo. Entre las estructuras laminares se tiene la lámina tetraédrica y octaédrica.

Figura 2. Estructuras atómicas básicas de los minerales de arcilla

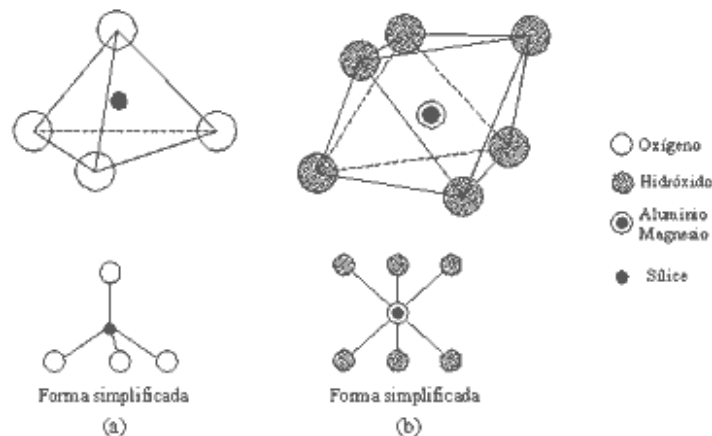


Figura 1.3. Estructuras atómicas básicas de los minerales de arcilla (Whitlow, 1994).
(a) Unidad tetraédrica. (b) Unidad octaédrica

Fuente: ingenierocivilinfo, 2010

2.2.2. Clasificación de las arcillas

Las arcillas se pueden clasificar de acuerdo con varios factores. Así, dependiendo del proceso geológico que las originó y a la ubicación del yacimiento en el que se encuentran, se pueden clasificar en:

- Arcilla primaria: se utiliza esta denominación cuando el yacimiento donde se encuentra es el mismo lugar en donde se originó. El caolín es la única arcilla primaria conocida.
- Arcillas secundarias: son las que se han desplazado después de su formación, por fuerzas físicas o químicas. Se encuentran entre ellas el caolín secundario, la arcilla refractaria, la arcilla de bola, el barro de superficie y el gres.

Si atendemos a la estructura de sus componentes, se distinguen las arcillas filitenses y las arcillas fibrosas.

También se pueden distinguir las arcillas de acuerdo a su plasticidad. Existen así las arcillas plásticas (como la caolinítica) y las poco plásticas (como la esméctica, que absorbe las grasas).

Por último, hay también las arcillas calcáreas, la arcilla con bloques (arcilla, grava y bloques de piedra de las morrenas), la arcilla de descalcificación y las arcillitas (esquistos arcillosos).

2.2.3. Minerales de la arcilla

Los minerales de la arcilla son filosilicatos de aluminio hidratados a veces con cantidades variables de hierro, magnesio, metales alcalinos, tierras alcalinas y otros cationes. (Wenk & Bulakh, 2004)

Los minerales de la arcilla son en general microscópicos.

En la naturaleza los minerales de la arcilla son importantes componentes de la lutita y de los suelos (mineral, 2014).

Se originan a partir de la meteorización o alteración hidrotermal de feldespatos, piroxenos y micas; también, se le llama arcilla a algunos materiales plásticos y a partículas de tamaño igual o menor a 2 micrómetros que es el tamaño único o más común de todos los minerales de arcilla.

2.3. ARCILLAS ML

Están formados principalmente por arcillas constituidas fundamentalmente por silicatos de aluminio hidratado. Es un tipo de suelo que cuando está húmedo o mojado resulta pegajoso; pero, cuando está seco es muy fino y suave dado que la arcilla está formada por partículas diminutas de menos de 0,005 m.m. de diámetro; desde un punto de vista de la textura, tiene consistencia plástica y puede ser modelado. Son suelos que para la agricultura se conoce como suelos húmedos y pesados. Son suelos impermeables dado que no dejan pasar el agua o el aire, todo ello propicia que sean suelos donde el agua se estanque con facilidad por lo que en este tipo se necesita realizar un sistema de drenaje adecuado porque, después de las lluvias el agua queda retenida en la superficie. Presenta un color marrón oscuro. (Sonora, 2011).

Figura 3. Arcilla de baja plasticidad



Fuente: Depositphotos, 2017

2.4. CENIZA DE FONDO

La ceniza de fondo comprende la fracción gruesa de ceniza producida en la cama inferior y el cámara de combustión primaria. A menudo, se mezcla con impurezas minerales contenidas en el combustible, como barros.

Residuo transportado por los ases de combustión en un horno. El material cae al fondo del horno y se separa mecánicamente. La ceniza de fondo constituye la mayor parte (60%) del total de las cenizas producidas por la combustión de madera y carbón.

Según (Athar A.-A. , 2010)

Indica a las ceniza de carbón que se pueden fraccionar en cenizas de fondo, cenizas volates (definidas así por la norma ASTM) y combinados; las cenizas volante son residuos que se encuentran en el fondo de las calderas y poseen diámetros de partícula mayores a 0,075 mm (retenido malla N°200) característicos del carbón inquemado, este restante es más usado en estudios como material de relleno ya que no posee un alto potencial puzolánico; las cenizas de fondo son residuos que quedan atrapados en los filtros de las calderas y poseen diámetros menores a los 0,075 mm (pasante malla N° 200), este ha demostrado lograr reacciones en microestructuras cristalinas y amorfas a partir de la síntesis de aluminosilicatos alcalinos con una solución activadora de hidróxido alcalino y silicato alcalino, a este producto se le llama geopolímero lo que quiere decir que puede lograr obtener propiedades puzolánicas similares a las del cemento Pórtland.

(Sharma, 2012) habla sobre estudios anteriores que han sobrepasado un CBR enorme de 70% con un contenido de ceniza de carbón de 30% sin emplear ningún activador, aumentando en un 500% el CBR inicial del suelo sin estabilizar (Senol 2006); Terceros estudios han confirmado que el incluido óptimo de cenizas de carbón es del 20% en suelos arcillosos, pasando de una resistencia a la compresión inicial del suelo de 25 kPa y un CBR de 2,06%, se logró mejorar a una resistencia de 63 kPa. y a un CBR de 4,03%; por otro lado, las imágenes del microscopio electrónico de barrido instruyeron la columna de ajenos compuestos cementosos, como resultado de la reacción puzolánica que se muestra dentro de los espacios porosos.

Figura 4. Ceniza de fondo



Fuente: Elaboración propia.

2.5. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS

Según (Rico, s.f.), la estabilización de un suelo es un proceso que tiene como objetivo mejorar sus propiedades como su resistencia a la deformación, disminuir su sensibilidad al agua, controlar la erosión y los cambios de volumen.

La estabilización de suelos arcillosos consiste en modificar algunas de sus características indeseables para el propósito de uso que queremos darle a dicho suelo.

Las principales características indeseables de una arcilla plástica serán: un índice plástico demasiado alto que significa un alto valor de expansión (o bien su opuesta contracción); así como, una capacidad para soportar carga estructural que será demasiado baja.

El suelo arcilloso tiene la capacidad de modificar su volumen cuando absorbe o deja de absorber agua produciendo hinchazones sobre el asentamiento de la obra que deriva en ciertas rajaduras que muchas veces pueden visualizarse desde la fachada con grietas horizontales.

Según (Fajardo Cuesta, 2014) la estabilización de suelos se puede realizar de forma química, física o ambas sobre un suelo, con el propósito de mejorar sus propiedades. La estabilización

de suelos, tiene como finalidad procurar por medio de los agentes estabilizantes, mejorar las propiedades geotécnicas y lograr que este sea apto para el proceso constructivo.

Entonces según (Álvarez Pabón, 2010) con las distintas definiciones mencionadas podemos comentar que la estabilización consiste en agregar un producto químico o aplicar un tratamiento físico para modificar las características de los suelos y así poder corregir una deficiencia para darle una mayor resistencia al terreno o bien disminuir su plasticidad.

Figura 5. Estabilización de suelos arcillosos



Fuente: Horcalsa, 2020

2.6. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Según (Perú, 2012), el análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen. Este ensayo nos permite formar una idea aproximada de algunas de las propiedades de los suelos, fundamentalmente de los gruesos.

2.6.1. Análisis granulométrico por tamizado

Según (Perú, 2012), el análisis granulométrico por tamizado se concreta a segregar el suelo mediante una serie de mallas que definen el tamaño de la partícula.

La información que se obtiene del análisis granulométrico se presenta en forma de curva semilogarítmica en la que el “porcentaje que pasa” representa las ordenadas y las mallas son las abscisas. Alternativamente puede presentarse el “porcentaje retenido”. Se puede apreciar una posible forma de Curva Granulométrica, que va a depender de la distribución de las partículas en el suelo.

Figura 6. Tamices



Fuente: Horcalsa, 2020

2.6.2. Análisis granulométrico por sedimentación

El análisis granulométrico por sedimentación resulta útil en suelos que tienen una gran proporción de partículas menores que la malla N°200 (0,075 mm) y mayores que 0,001 mm y si bien no permite sacar conclusiones en cuanto a sus propiedades mecánicas nos puede servir para estimar el potencial de expansión (mediante el cálculo de la actividad de las arcillas) y su susceptibilidad al congelamiento.

2.7. CONTENIDO DE HUMEDAD

(Morales, 2015) el contenido de humedad es la relación entre el peso del agua que está en el interior de la muestra en estado natural y el peso de la misma muestra luego de haberla secado en un horno a temperatura entre los 105 y 110 grados centígrados.

El comportamiento y la resistencia de los suelos dependen de la cantidad de agua que posean en el interior ya que esta propiedad influye directamente al cambio de volumen y a la estabilidad mecánica, el contenido de humedad se lo representa en porcentaje que va de 0% cuando el suelo está seco a un valor máximo aproximadamente al 100%.

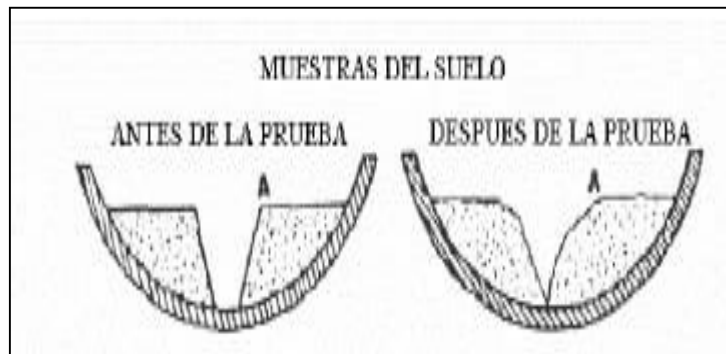
2.8. LÍMITES DE ATTERBERG

2.8.1. Límite líquido

El límite líquido se refiere al contenido de humedad que está representada en porcentaje, en el cual un suelo puede estar entre el estado líquido y plástico, se lo determina con un ensayo denominado Casagrande.

Este artefacto consiste en una copa de bronce y una base de hule duro, el límite líquido se define arbitrariamente; por tal motivo, es necesario que las dos mitades de una pasta de suelo de 10 mm de espesor fluya y se unan en una longitud de 12 mm. El ensayo consiste en que se debe dejar caer la copa sobre la base a una altura de 10mm, el número de golpes es de 25, como sugerencia se debe realizar al menos tres pruebas para el mismo suelo ya que es difícil satisfacer el cierre de 12 mm.

Figura 7. Practica de Casa Grande



Fuente: Comunicaciones M. d., 2016

2.8.2. Límite plástico

Según (Morales, 2015), el límite plástico se refiere al contenido de humedad que está representada en porcentaje del suelo seco, en el cual un suelo puede cambiar del estado plástico a un estado semisólido y de un estado semisólido a un estado sólido. Este límite se considera como el más bajo contenido de humedad.

El procedimiento consiste en enrollar elipsoidalmente una masa de suelos sobre una placa de vidrio, en un diámetro de 3,2 mm, luego el suelo se vuelve quebradizo por pérdida de

humedad, se mide el contenido de humedad, si el suelo presenta una plasticidad bien definida se le agrega más agua la pasta de suelo restante en la cápsula y se realiza el ensayo de límite líquido.

Cuando el suelo presenta poca plasticidad, hay que realizar el ensayo del límite líquido y de inmediato con la pasta de suelo restante se realiza el ensayo de límite plástico, es recomendable hacer el procedimiento tres veces para obtener mejores resultados. Para hallar el límite plástico hallar un promedio de las humedades multiplicadas por 100 que muestra la ecuación:

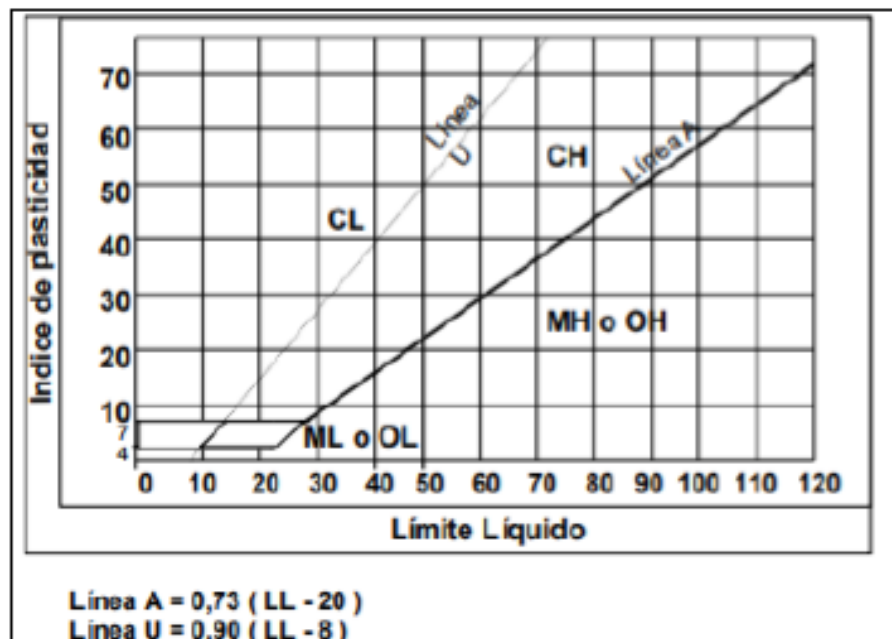
$$\text{límite plástico} = \frac{\text{peso de suelo secado al horno}}{\text{peso del agua}} * 100$$

2.9. CLASIFICACIÓN DEL SUELO MEDIANTE SISTEMA UNIFICADOS DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

En el SUCS el método para clasificar es muy sencillo. Se comienza a partir del Tamiz N°200, tamiz que los subdivide en dos grandes grupos: suelos gruesos y finos. Ver tabla Luego en cada grupo se sigue, en el caso de gruesos por el Tamiz N°4 y, en el de los finos a partir del Límite Líquido. De esto sub – grupos, cada vez se va eliminando los siguientes a partir de la Plasticidad y otras características físicas.

En los suelos finos, la carta de Plasticidad de A. Casagrande, juega un rol definitivo para el SUCS. Como se aprecia en la figura.

Figura 8. Límite de atterberg (Carta de Plasticidad)

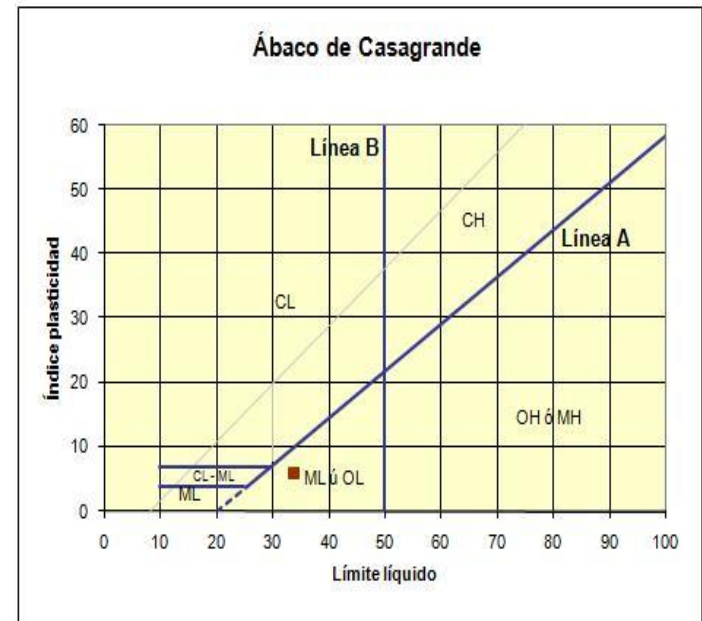


Fuente: Conanma, 2016

Tabla 4. Clasificación de los suelos

Divisiones principales		Símbolos del grupo	Nombres típicos	Identificación de laboratorio			
Suelos de grano grueso	Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por el tamiz número 4	Gravas limpias	GW	Gravas bien graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos	<p>Determinar porcentaje de grava y arena en la curva granulométrica. Según el porcentaje de finos (fracción inferior al tamiz número 200). Los suelos de grano grueso se clasifican como sigue:</p> <p><5% - >GM,GC,SM,SC >12% - >GM,GC,SM,SC</p> <p>5 al 12% -> casos límite que requiere usar doble símbolo</p>	$CU=D60/D10>4$ $CC=(D30)^2/D10*D60$ entre 1 y 3	
		Sin o con pocos finos	GP	Gravas mal graduadas, mezclas grava-arena, pocos finos o sin finos.		No cumple con las especificaciones de granulometría para GW	
		Gravas con finos	GM	Gravas limosas, mezclas grava-arena-arcilla		<p>Límites de Atterberg debajo de la línea A con $IP>7$</p> <p>Límites de Atterberg sobre de la línea A con $IP>7$</p>	Encima de la línea A con P entre 4 y 7 son casos límite que requieren doble símbolo
		Apreciable cantidad de finos	GC	Gravas arcillosas, mezclas grava-arena-arcilla		$CU=D60/D10>6$ $CC=(D30)^2/D10*D60$ entre 1 y 3	
Mas de la mitad del material retenido en el tamiz número 200	Arenas	Arenas limpias	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos	<p>Cuando no se cumplen simultáneamente las condiciones para SW</p> <p>Límites de atterberg debajo de la línea A o $IP>4$</p> <p>Límites de Atterberg sobre de la línea A con $IP>7$</p>	$CU=D60/D10>6$ $CC=(D30)^2/D10*D60$ entre 1 y 3	
		(pocos o sin finos)	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, pocos finos o sin finos			
	Mas de la mitad de la fracción gruesa pasa por el tamiz número 4 (4,76 mm)	Arenas con finos	SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo		<p>Los límites situados en la zona rayada con IP entre 4 y 7 son casos intermedios</p>	
		apreciable cantidad de finos)	SC	Arenas arcillosas, mezclas arena-arcilla			

Suelos de grano fino	Limos y arcillas	ML	Limos inorganicos y arenas muy fias, limos limpios, arenas finas, limosas o arcillosas, limos arcillosos con ligera plasticidad
	Límite líquido menor a 50	CL	Arcillas inorganicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas
		OL	Limos orgánicos y arcillas organicas limosas de baja plasticidad
Más de la mitad del material pasa por el tamiz número 200	Limos y arcillas	MH	Limos inorganicos, suelos arenosos finos o limosos con mica o diatomeas, limos elasticos
		CH	Arcillas inorgaánicas de plasticidad alta
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a elevada, limos orgánicos
		PT	Turba y otros suelos de alto contenido orgánico



Fuente: Boada, 1998

2.10. CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS SUELOS

La capacidad de soporte se refiere a la resistencia que presenta a las deformaciones bajo la aplicación de cargas de tráfico. Presentan factores que interviene en la capacidad de soporte de los suelos como la resistencia al esfuerzo cortante, éste depende de la densidad alcanzada y su humedad, los suelos saturados poseen baja capacidad de soporte en comparación a suelos no saturados, debido a la relación que a mayor humedad menor capacidad de soporte del suelo.

Para poder conocer la capacidad de soporte se necesita realizar ensayos, para carreteras se puede proceder con un ensayo sencillo como el CBR; este ensayo, simula la aplicación de cargas y sus deformaciones en forma de dar una opinión imaginaria a lo que el suelo podría ser utilizado para los diferentes fines constructivos.

Figura 9. Práctica de CBR



Fuente: Elaboración propia.

2.11. PROPIEDADES GEOTÉCNICAS QUE SE MEJORAN

A. Estabilidad volumétrica

El suelo también puede expandir su volumen dependiendo del grado de humedad y del tipo de suelo; es importante, que su volumen sea estable y no varía significativamente bajo condiciones naturales.

B. Resistencia mecánica

Es la característica física que gobierna las fuerzas de cohesión, esta fuerza de cohesión depende directamente del contenido de humedad y del tipo de suelo en estudio ya sea arcilla, arena o limo.

C. Permeabilidad

Es la participación que tiene el suelo para transferir el agua y el aire a través de sus partículas. Mientras más permeable sea el suelo pues mayor filtración originara.

D. Comprensibilidad

Es la capacidad del suelo para reducir el espacio entre sus partículas y disminuir su volumen y como consecuencia de esto tener mayor consistencia y también resistencia mecánica.

2.12. MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

(Fajardo Cuesta, 2014), Estos métodos o procesos van desde la incorporación a los suelos de materiales o nuevos elementos que proporcionen estabilidad, hasta la formación de verdaderos mecanismos de defensa contra la acción de las fuerzas climáticas.

2.12.1. Mecánicos

Son aquellas con los que se logran mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia; es decir, obtener una buena compactación y densificación del material portante.

La compactación de suelos es el proceso artificial por el cual las partículas de suelo son obligadas a estar más en contacto las unas con las otras, mediante una reducción del índice de vacíos, empleando medios mecánicos; lo cual, se traduce en un mejoramiento de sus propiedades ingenieriles.

Figura 10. Compactación CCR con rodillo vibratorio



Fuente: Concreto, 2016

2.12.2. Físicos

Que persigue la obtención de una adecuada granulometría, mediante el agregado de materiales granulares o cohesivos o ambos a la vez, al primitivo suelo.

2.12.3. Químicos

Es la aplicación de un agente estabilizador químico que tiene como objetivo estabilizar el suelo al mezclarse con este. Estabilización química, que se refiere al cambio de las propiedades del suelo por efectos físico-químicos de superficie mediante la adición de cal, cemento, asfalto, cloruro de sodio permeabilizantes entre otro.

2.12.4. Hidráulicos

El concepto de drenaje en el subsuelo es simple, se trata de colocar un elemento dentro del suelo cuya relación de vacíos sea mayor a la existencia, siendo este el camino que el fluido tomara de forma tal que al conectar el elemento mencionado a una salida definida en proyecto, el fluido sea evacuado.

Figura 11. Método aplicable en proyección de vías.



Fuente: Concreto, 2016

CAPÍTULO III EXPERIMENTACIÓN

3.1. CRITERIOS METODOLÓGICOS

3.1.1. Unidades de estudio y diseño muestral

Ceniza de madera de fondo y cemento

3.1.2. Unidad de muestreo

Ceniza de madera de fondo

3.1.3. Población

Todas las cenizas de madera de fondo consideradas en la investigación del departamento de Tarija.

3.1.4. Muestra

Se considera como muestra de estudio las cenizas de fondo extraídas de diferentes hornos en el resto del departamento, (7 hornos de la provincia de cercado, 3 hornos de la provincia O`connor y 5 hornos de la provincia Gran Chaco) del departamento de Tarija.

3.1.5. Tamaño de la muestra

Cálculo del tamaño de la muestra:

Para realizar el cálculo del tamaño de la muestra para nuestra investigación se determinó trabajar con el tipo de población finito debido a que cuantitativamente está formada por un número limitado.

La siguiente formula es la establecida para calcular con números finitos:

$$n = \frac{N * Z\alpha^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z\alpha^2 * p * q}$$

Donde:

n = Tamaño de muestra buscado

N = Tamaño de la población o universo

Z = Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza (NC)

e = Error de estimación máximo aceptado

p = Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito)

q = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Para obtener el parámetro estadístico que depende el nivel de confianza tenemos la siguiente tabla:

El (NC) lo elige el autor.

Tabla 5. Valor de Z para un determinado nivel de confianza

Nivel de confianza %	Z (alfa)
99,70	3,00
99,00	2,58
98,00	2,33
96,00	2,05
95,00	1,96
90,00	1,64
80,00	1,28
50,00	0,67

Fuente: Miller, Pinterest 2000.

Para nuestro proyecto tomaremos los siguientes valores:

Tabla 6. Valores para el cálculo de la muestra

Parámetro	Insertar Valor
N	15
Z	1,645
P	50,00%
Q	50,00%
e	3,00%

Fuente: Elaboración Propia.

Donde despejando la ecuación obtenemos el siguiente resultado:

$$n = \frac{15 * 1.645^2 * 0.5 * 0.5}{0.03^2 * (15 - 1) + 1.645^2 * 0.5 * 0.5}$$

$$n = 14.73$$

$$n = 15 \text{ muestras de ceniza de madera de fondo.}$$

Cabe recalcar que de acuerdo a los cálculos efectuados nuestro tamaño de muestra para nuestra investigación es de 15 muestras como mínimo de ceniza de fondo proveniente de ladrilleras artesanales con un nivel de confianza del 90%.

3.2. EXPLORACIÓN Y MUESTREO

3.2.1. Ubicación de la zona

El área de estudio circunscribe tres regiones simultáneamente dentro del departamento de Tarija Provincia Cercado situado en las comunidades de San Jacinto, Tolomosa, La Tablada; los cuales, por su situación geográfica cuentan con material expansivo tal como la arcilla, suelo estudiado en esta investigación.

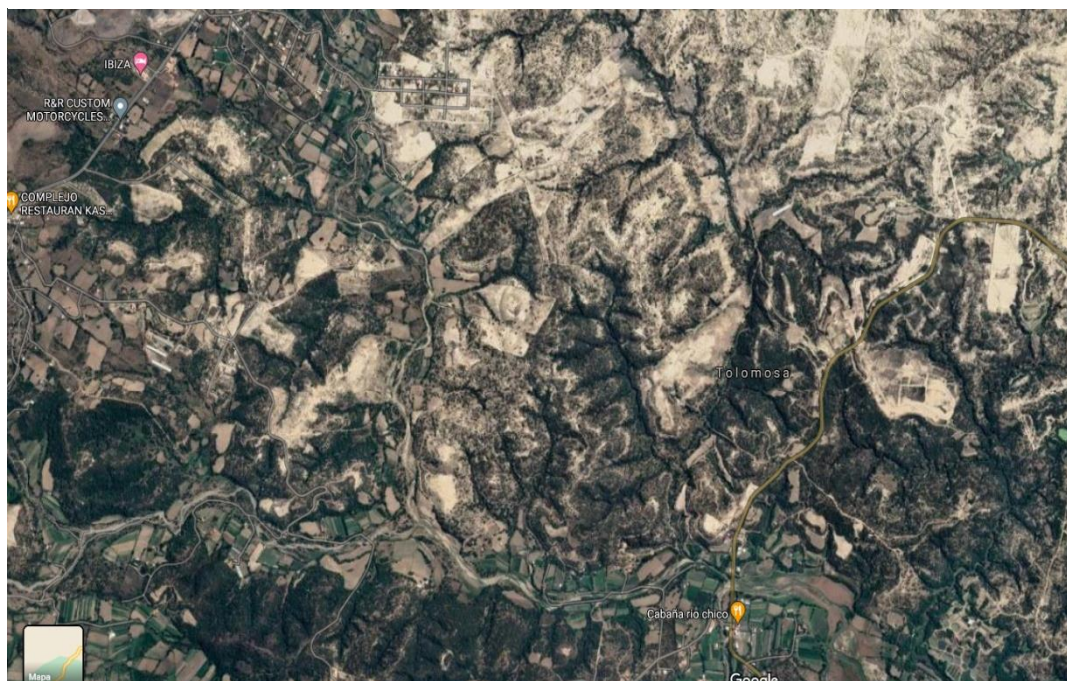
3.2.2. Realización del muestreo

En la selección que se tubo para esta muestra, nos referimos y escogimos específicamente arcillas inorgánicas que por su composición sean inestables y expansivas.

3.2.3. Sitio de extracción de la arcilla

La extracción de este tipo de arcillas inorgánicas CL es característico por su color amarillento plomizo.

Figura 12. Ubicación de la extracción de arcilla



Fuente: Google Earth.

Figura 13. Ubicación de la extracción de arcilla Tolomosa



Fuente: Google Earth.

3.2.4. Ubicación

La extracción de este tipo de arcillas fue de tres lugares diferentes, gracias al conocimiento del autor de las zonas es que se pudo identificar este tipo de suelos, siendo estos la zona de San Jacinto con las coordenadas latitud $21^{\circ}36'16.68''S$; longitud $64^{\circ}45'47.74''O$ - UTM 20 K 317473 7609899.

La Tablada, latitud $21^{\circ}34'15.90''S$, longitud $64^{\circ}44'48.76''O$ – UTM 20 K 319128 7613633

Tolomosa, latitud $21^{\circ}34'58.99''S$, longitud $64^{\circ}46'13.57''O$ – UTM 20 K 316703 7612280

3.3. SITIO DE EXTRACCIÓN DE LA CENIZA DE FONDO

La selección de este tipo de cenizas fue de dos provincias diferentes: Gran Chaco y de Cercado.

Dichas cenizas fueron extraídas de ladrilleras artesanales que se encuentran en Cercado en la zona de German Buch y Luis de Fuentes; por otra parte, se tuvo que hacer un recorrido hacia la provincia del Chaco, a la ciudad de Villamontes (Ibupéyiti) con coordenadas latitud $21^{\circ}17'33.44''S$, longitud $63^{\circ}22'58.23''O$ – UTM 20 K 460290 7645418; en el cual, se ubicaron ladrilleras artesanales en mayor proporción las cuales por dicho estudio necesitábamos de diferentes lugares debido a que la flora es diferente en cada región y por ende sus propiedades.

Por último, se sacó muestras de la zona de San Josecito de las canteras de yeso.

Figura 14. Extracción de ceniza de Fondo



Fuente: Google Earth.

Figura 15. Extracción de Ceniza provincia Gran Chaco



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen se puede apreciar la extracción de la ceniza de fondo o ceniza de carbón que es proveniente de la quema de madera autóctona del lugar tales como de soto, cebil, lapacho, quina entre otras muchas variedades de flora que se usa para la combustión de estos hornos que producen ladrillos.

Figura 16. Extracción de arcilla zona San Jacinto



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17. Extracción de arcilla zona La Tablada



Fuente: Elaboración propia.

3.4. CARACTERIZACIÓN DE LA CENIZA DE FONDO

Según (Athar P. J., 2012) indica a las cenizas de carbón que se pueden fraccionar en cenizas de fondo, cenizas volates (definidas así por la norma ASTM) y combinados; las cenizas volante son residuos que se encuentran en el fondo de las calderas y poseen diámetros de partícula mayores a 0,075 mm (retenido malla N°200) característicos del carbón quemado, este restante es más usado en estudios como material de relleno; ya que, no posee un alto potencial puzolánico; las cenizas de fondo son residuos que quedan atrapados en los filtros de las calderas y poseen diámetros menores a los 0,075 mm (pasante malla N° 200), este ha demostrado lograr reacciones en microestructuras cristalinas y amorfas a partir de la síntesis de aluminosilicatos alcalinos con una solución activadora de hidróxido alcalino y silicato alcalino, a este producto se le llama geopolímero lo que quiere decir que puede lograr obtener propiedades puzolánicas similares a las del cemento Pórtland.

3.4.1. Propiedades químicas de la ceniza de fondo

Tabla 7. Rango normal de composición química para las cenizas producidas

Componente (wt%)	Bituminoso	Sub-bituminoso	Lignito
SiO ₂	20-60	40-60	15-45
Al ₂ O ₃	5-35	20-30	10-25
Fe ₂ O ₃	10-40	4-10	4-15
CaO	1-12	5-30	15-40
MgO	0-5	1-6	3-10
SO ₂	0-4	0-2	0-10
Na ₂ O	0-4	0-2	0-6
K ₂ O	0-3	0-4	0-4
LOI	0-15	0-3	0-5

Fuente: Ahmaruzzaman, 2010

Para el caso de las cenizas de fondo es el SiO₂ el compuesto con mayor presencia en las cenizas, con unos porcentajes en peso que varían entre aproximadamente un 30 % y un 50 %.

Tabla 8. Contenido en metales (mg/kg) de cenizas de fondo de incineración

	Hjelmar,1996	Taipei,2004	Waste and Recycled,2010
Cd	1,4-40	8,5-10,7	0,3-61
Cr	230-600	323-439	13-1400
Cu	900-4800	4139-4474	80-10700
Ni	60-190	216-242	9-430
Pb	1300-5400	2474-2807	98-6500
Zn	1800-6200	4261-4535	200-12400

Fuente: Ahmaruzzaman, 2010

3.5. CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

El cemento portland está formado básicamente por la molienda conjunta del producto de cocción de una mezcla de caliza y arcilla que recibe el nombre de Clinker; además, de un regulador de fraguado y en algunas ocasiones de una adición. El clinker como componente básico del cemento está compuesto por silicatos, aluminato y ferrito aluminato de cal; por esta razón, la materia prima ha de tener óxidos de sílice, aluminio, hierro y cal en proporciones adecuadas. Además de estos óxidos existen en las materias primas otros que no son tan deseables pero que se encuentran en proporciones menores que son los óxidos de magnesio, sodio, potasio, anhídrido sulfúrico y otros elementos.

Tabla 9. Composición En Óxidos de un Cemento Portland

Nombre	Composición	Peso molecular	Formula abreviada
Cal	CaO	56	C
Sílice	SiO ₂	60	S
Aluminio	AL ₂ O ₃	102	A
Hierro	Fe ₂ O ₃	160	F
Agua	H ₂ O	18	H
Anhidrido sulfúrico	SO ₃	80	Ŝ
Magnesia	MgO	40	M
Sodio	Na ₂ O	62	N
Potasio	K ₂ O	94	K

Fuente: Cánovas, 2010

Los cuatro primeros óxidos dan lugar a los componentes principales del cemento portland mientras que los demás son los componentes secundarios o no deseables.

Tabla 10. Límites entre los que oscila la composición en óxidos de un cemento Portland

Óxido	fórmula abreviada	Contenido
CaO	C	58-67
SiO ₂	S	17-25
Al ₂ O ₃	A	3-8.
Fe ₂ O ₃	F	0,5-6,0
MgO	M	0,1-4,0
Na ₂ O+K ₂ O	N	0,4--1,3
SO ₃		0,1-2,5
TiO ₂		0-0,5
Mn ₂ O ₃		0-0,3

Fuente: Cánovas, 2010

3.6. PREPARACIÓN Y ENSAYOS DEL MATERIAL

3.6.1. Ensayo del material a estabilizar

3.6.1.1. Análisis granulométrico de la arcilla

Este método permite, mediante tamizado, determinar la distribución por tamaños de las partículas mayores que 0,075 mm, de una muestra de suelo.

El análisis granulométrico que se realizó en esta investigación fue por el método de tamizado por vía seca bajo la norma AASHTO-88 bajo la serie normalizada ASTM N°4, N°10 Y 40.

- Análisis de la zona de San Jacinto

Tabla 11. Resultados de la granulometría correspondientes a la arcilla de San Jacinto

Análisis de tamices del suelo					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso retenido (g)	Retenido acumulado		% que pasa del total
			(g)	(%)	
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00

3/8"	9,53	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 10	2,00	0,74	0,74	0,20	99,80
N° 40	0,425	1,43	2,17	0,57	99,43
N° 200	0,075	14,87	17,04	4,49	95,51

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Resultados correspondientes a la textura del material (San Jacinto)

Composición porcentual del suelo	
Grava :	0,00
Arena :	Gruesa : 0,20
	Media : 0,38
	Fina : 3,92
Limo y Arcilla :	95,51

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Clasificación del material (San Jacinto)

<u>Clasificación del suelo</u>		<u>USCS</u>	<u>AASHTO</u>
normas de referencia:	Símbolo	CL	A - 7 - 6 (19)
ASTM D 2487 y ASTM D 3282	Nombre	Arcilla de media plasticidad	Suelo arcilloso plástico

Fuente: Elaboración propia.

En la clasificación realizada en laboratorio de suelos y geotecnia pudimos seleccionar el tipo de suelo; con el cual, se trabajó para la investigación de estabilización de arcillas inorgánicas dándonos un suelo sin grava, con 4,50 % de arena y 95,50 % de limos y arcillas; pudiendo también clasificar según la norma ASTM D 2487 y ASTM D 3282 como una arcilla de media plasticidad tipo CL, y según AASHTO A-6 suelo arcilloso plástico.

➤ Análisis de la zona de Tolomosa

Tabla 14. Resultados de la granulometría correspondientes a la arcilla de Tolomosa

Análisis de tamices del suelo					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso retenido (g)	Retenido acumulado		% que pasa del total
			(g)	(%)	
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,53	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 10	2,00	0,67	0,67	0,18	99,82
N° 40	0,425	1,46	2,13	0,56	99,44
N° 200	0,075	14,95	17,08	4,50	95,50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Resultados correspondientes a la textura del material (Tolomosa)

Composición porcentual del suelo	
Grava:	0,00
Arena: 4,50	Gruesa: 0,18
	Media: 0,38
	Fina: 3,94
Limo y Arcilla:	95,50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Clasificación del material (Tolomosa)

<u>Clasificación del suelo</u> normas de referencia: ASTM D 2487 y ASTM D 3282		<u>USCS</u>	<u>AASHTO</u>
	Símbolo	CL	A - 7 - 6 (19)
	Nombre	Arcilla de media plasticidad	Suelo arcilloso plástico

Fuente: Elaboración propia.

➤ Análisis de la zona de La Tablada

Tabla 17. Clasificación del material (Tolomosa)

Análisis de tamices del suelo					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso retenido (g)	Retenido acumulado		% que pasa del total
			(g)	(%)	
2"	50,80	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,53	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº 10	2,00	0,76	0,76	0,20	99,80
Nº 40	0,425	1,35	2,11	0,56	99,44
Nº 200	0,075	15,06	17,17	4,55	95,45

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Resultados correspondientes a la textura del material (La Tablada)

Composición porcentual del suelo			
Grava:		0,00	
Arena:	4,55	Gruesa:	0,20
		Media:	0,36
		Fina:	3,99
Limo y Arcilla:		95,45	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19. Clasificación del material (La Tablada)

<u>Clasificación del suelo</u>		<u>USCS</u>	<u>AASHTO</u>
normas de referencia: ASTM D 2487 y ASTM D 3282	Símbolo	CL	A - 7 - 6 (19)
	Nombre	Arcilla de media plasticidad	Suelo arcilloso plástico

Fuente: Elaboración propia.

En la clasificación realizada en laboratorio de suelos y geotecnia pudimos clasificar el tipo de suelo; con el cual, se trabajó para la investigación de estabilización de arcillas inorgánicas dándonos un suelo sin grava, con 4,55 % de arena y 95,45 % de limos y arcillas; pudiendo también clasificar según la norma ASTM D 2487 y ASTM D 3282 como una arcilla de media plasticidad tipo CL, y según AASHTO A-6 suelo arcilloso plástico, de las tres muestras tomadas de diferentes bancos pudimos observar que la clasificación es la misma variando muy poco o casi nada.

3.6.1.2. Límites de Atterberg

Determinación del límite líquido de los suelos (ASTM D4318-AASHTO T89). El límite líquido, es la humedad, expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados líquido y plástico. Corresponde a la humedad necesaria para que una muestra de suelo remoldeada, depositada en la taza de bronce de la máquina Casagrande y dividida en dos porciones simétricas separadas 2 mm entre sí, fluya y entren en contacto en una longitud de 10 mm, aplicando 25 golpes, a comparación del plástico la humedad expresada como porcentaje de la masa de suelo seco en horno, de un suelo remoldeado en el límite entre los estados plástico y semisólido. Corresponde a la humedad necesaria para que bastones cilíndricos de suelo de 3mm de diámetro se disgreguen en trozos de 0,5 a 1cm de largo y no puedan ser reamasados ni reconstituidos.

Para esta investigación obtuvimos los siguientes resultados para la arcilla pura:

Tabla 20. Resultados de los límites de Atterberg para arcillas

Límite líquido	39
Límite plástico	24
Índice de plasticidad	15

Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos de los límites líquido, plástico e índice de plasticidad nos muestran que se trata de una arcilla correspondiente a homogénea y de baja plasticidad.

Referido al índice de plasticidad podemos observar que el suelo sería de una categoría II y se trataría de un suelo franco arcilloso.

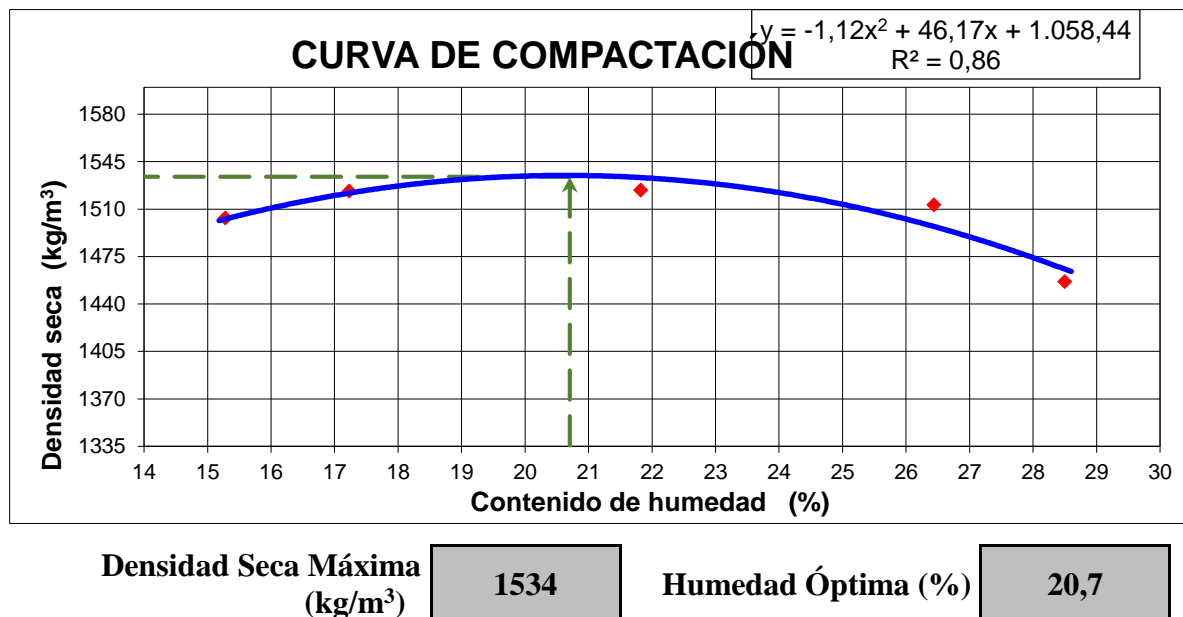
A medida que aumenta el límite líquido de los suelos; también, aumenta su plasticidad y compresibilidad lo que nos da a entender que de acuerdo a estos valores estaríamos trabajando con un suelo muy malo tanto por su estabilidad como por su expansibilidad.

3.6.1.3. Compactación Proctor Estándar AASHTO T-99 (ASTM D 698)

En este ensayo utilizamos método estándar t 99 de masa 2,5 Kg. Con una altura de caída de 305 mm. Con un volumen de molde con variación mínima de los 944 cm³. de volumen, con 3 capas y 25 golpes por cada una de ellas.

Los resultados fueron los siguientes:

Grafica 1. Curva de compactación para la arcilla



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al ensayo realizado de Proctor estándar nos muestra una densidad seca máxima elevada y una humedad óptima baja relativamente, lo cual nos dirige directamente a que se tratase de un suelo inestable y de bajas condiciones para la construcción de una subrasante por ejemplo.

3.6.1.4. Ensayo de Valor Soporte o CBR

Este método establece el procedimiento para determinar un índice de resistencia de los suelos, conocido como Razón de Soporte de California (CBR). El ensayo se realiza

normalmente a suelos compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de energía variables.

Este método se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de suelos de subrasante; como también, de materiales empleados en la construcción de terraplenes, subbases, bases y capas de rodadura granulares.

A fin de realizar los ensayos en cualquier laboratorio se realizó la prueba CBR, debido a su facilidad de uso y efectividad al momento de mostrar su expansión como su capacidad de soporte de los suelos.

Los valores obtenidos son al 97% de la densidad máxima.

Tabla 21. Resultados de CBR para la arcilla

CBR suelo puro	% Expansión
1,56	4,88

Fuente: Elaboración propia.

En estos resultados podemos observar que se trataría de un suelo expansivo debido a su bajo valor de soporte y su mayor expansión, ya que de acuerdo a las especificaciones técnicas la expansión debe ser menor a 4% y el CBR mayor al 3%.

3.6.2. Ceniza de la Provincia Cercado empleada como estabilizante para la arcilla

3.6.2.1. Límites de Atterberg

Los valores que fueron analizados en los límites líquidos, plásticos e índice de plasticidad nos mostraron un cambio muy notorio haciendo ver que la ceniza de fondo hace que se modifique su plasticidad traducida en una reducción del índice plástico por incremento del límite plástico; o dicho de otra manera, los suelos se hacen friables y consecuentemente más trabajables.

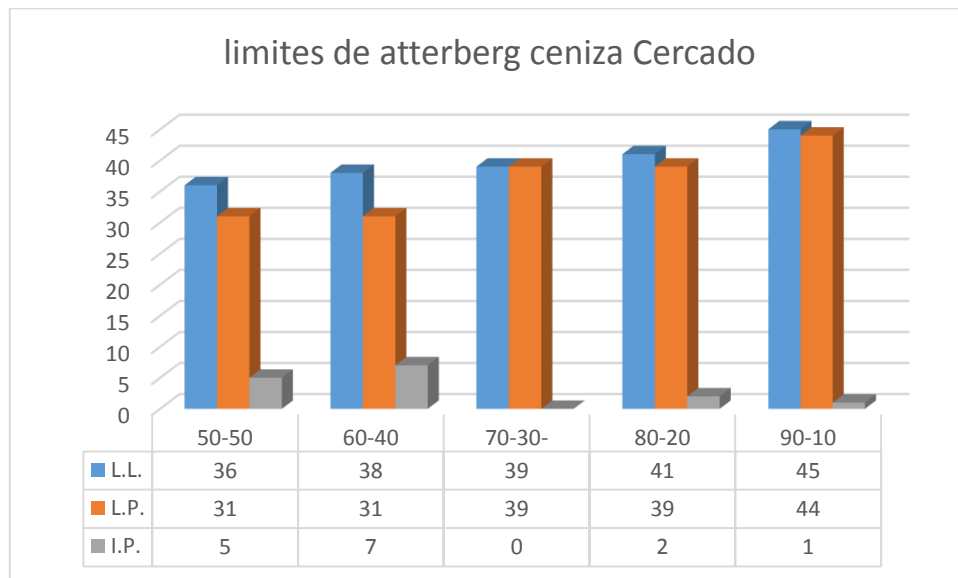
En las siguientes tablas se mostrará la diferencia entre las diferentes combinaciones de acuerdo en porcentajes arcilla – ceniza.

Tabla 22. Resultados de los límites de atterberg para arcillas-ceniza (Cercado)

% arcilla-ceniza	L.L.	L.P.	I.P.
50-50	36	31	5
60-40	38	31	7
70-30	39	39	0
80-20	41	39	2
90-10	45	44	1

Fuente: Elaboración propia.

Grafica 2. Valores de límites de Atterberg



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio observamos que con las diferentes proporciones de mezclas, el límite plástico es mayor al de la arcilla pura que nos dio un valor de 24, mejorando así las propiedades del suelo a estabilizar.

3.6.2.2. Compactación Proctor Estándar AASHTO T-99 (ASTM D 698)

En este ensayo utilizamos método estándar t 99 de masa 2.5 Kg. Con una altura de caída de 305 mm. Con un volumen de molde con variación mínima de los 944 cm³. de volumen, con 3 capas y 25 golpes por cada una de ellas.

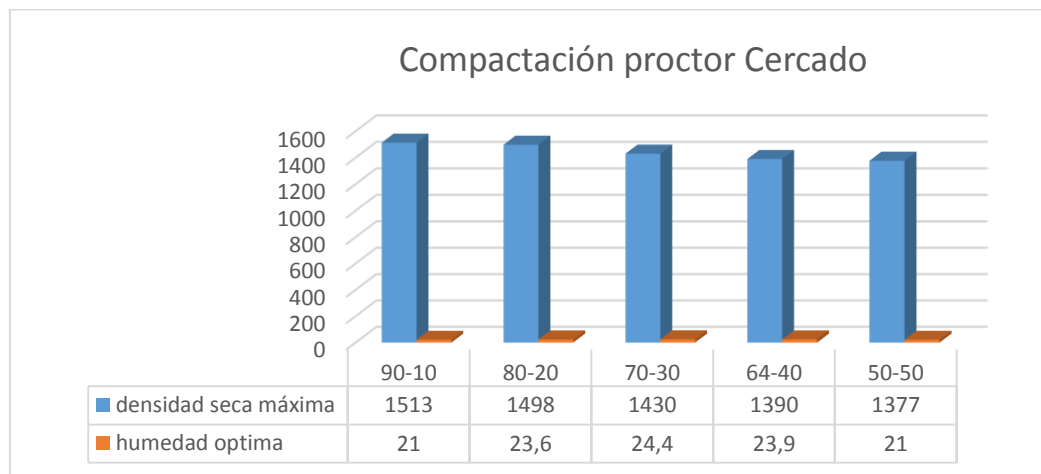
Con respecto a los procedimientos realizados para la determinación de la humedad óptima se debe partir con una humedad estimada; lo cual, se realizó dejando saturar por un periodo de 24 horas, con el propósito de que la humedad aplicada en el suelo penetre todos los vacíos. Los resultados obtenidos en laboratorio fueron los siguientes:

Tabla 23. Resultados de Proctor estándar para arcilla-ceniza (Cercado)

Arcilla-ceniza (%)	Densidad seca máxima	Humedad óptima
90-10	1513	21,0
80-20	1498	23,6
70-30	1430	24,4
60-40	1390	23,9
50-50	1377	21,0

Fuente: Elaboración propia.

Grafica 3. Valores de densidad seca máxima y humedad optima con ceniza de Cercado



Fuente: Elaboración propia.

3.6.2.3. Ensayo de Valor Soporte o CBR

Este método establece el procedimiento para determinar un índice de resistencia de los suelos; conocido como, Razón de Soporte de California (CBR). El ensayo se realiza normalmente a suelos compactados en laboratorio, con la humedad óptima y niveles de energía variables.

Este método se utiliza para evaluar la capacidad de soporte de suelos de subrasante; como también, de materiales empleados en la construcción de terraplenes, subbases, bases y capas de rodadura granulares.

A fin de realizar los ensayos en cualquier laboratorio se realizó la prueba CBR; debido, a su facilidad de uso y efectividad al momento de mostrar su expansión como su capacidad de soporte de los suelos.

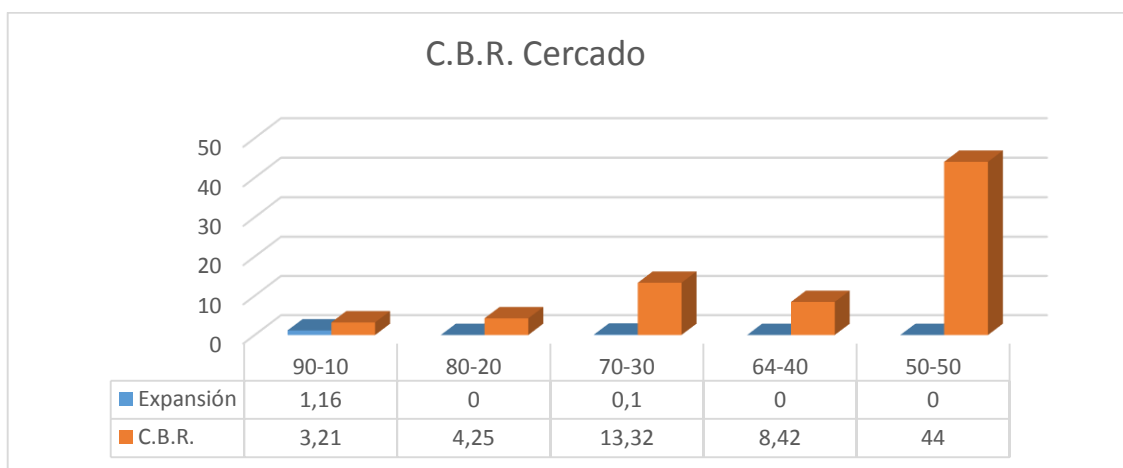
Los valores obtenidos son al 97% de la densidad máxima.

Tabla 24. Resultados de CBR para la arcilla-ceniza (cercado)

Arcilla-ceniza (%)	Expansión	C.B.R.
90-10	1,16	3,21
80-20	0,00	4,25
70-30	0,10	13,32
60-40	0,00	8,42
50-50	0,00	44,00

Fuente: Elaboración propia.

Grafica 4. Valores de C.B.R. y expansión con ceniza de Cercado



Fuente: Elaboración propia.

Estos valores demostraron que la ceniza incrementa grandemente la capacidad de soporte de los suelos cuando la mezcla suelo-ceniza de fondo es compactada inmediatamente después de realizado su mezclado y homogenización.

El hinchamiento del suelo se redujo prácticamente a 0, lo que efectiviza la trabajabilidad de dicho suelo.

3.6.3. Ceniza de la provincia Gran Chaco empleada como estabilizante para la arcilla

3.6.3.1. Límites de Atterberg

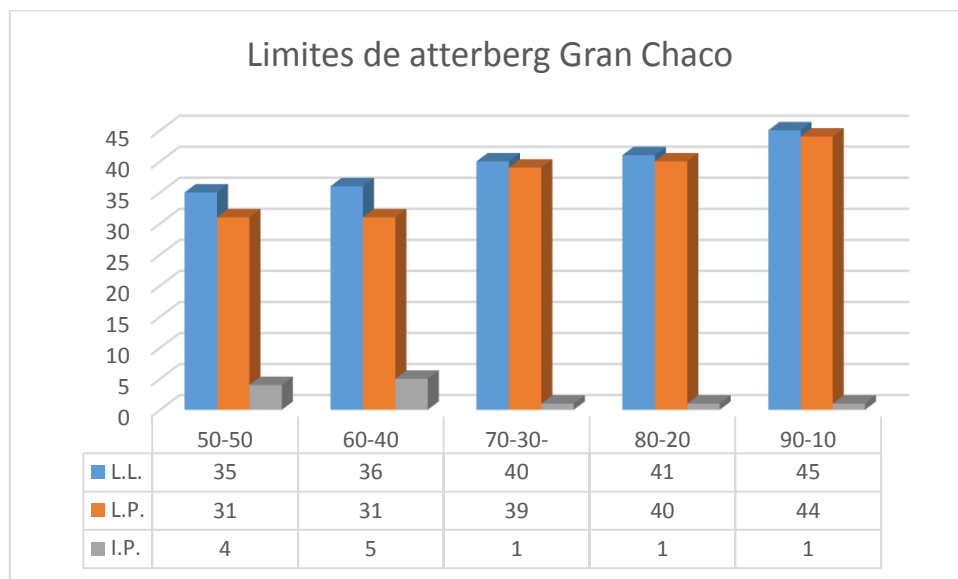
En las siguientes tablas se mostrará la diferencia entre las diferentes combinaciones de acuerdo en porcentajes arcilla – ceniza, estas provenientes de la región del Gran Chaco.

Tabla 25. Resultados de los límites de atterberg para arcillas-ceniza (Gran Chaco)

Arcilla-ceniza (%)	L.L.	L.P.	I.P.
50-50	35	31	4
60-40	36	31	5
70-30-	40	39	1
80-20	41	40	1
90-10	45	44	1

Fuente: Elaboración propia.

Grafica 5. Valores de límites de atterberg Gran Chaco



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio observamos que con las diferentes proporciones de mezclas el límite plástico es mayor al de la arcilla pura que nos dio un valor de 24; mejorando así, las propiedades del suelo a estabilizar, la diferencia entre las cenizas de la región de Cercado y la del Gran Chaco no es muy grande pero si analíticamente poseen diferencias en su color, textura, finura entre otros haciendo que

visualmente se vean diferente y parezcan tener otras propiedades; las cuales, se tuvieron que realizar forzadamente los ensayos y estudios de esta para así saber si sería diferente trabajar en la estabilización en una región o en la otra.

3.6.3.2. Compactación Proctor Estándar AASHTO T-99 (ASTM D 698)

En este ensayo utilizamos método estándar T-99 de masa 2,5 Kg. Con una altura de caída de 305 mm. Con un volumen de molde con variación mínima de los 944 cm³. de volumen, con 3 capas y 25 golpes por cada una de ellas.

Con respecto a los procedimientos realizados para la determinación de la humedad óptima se debe partir con una humedad estimada; lo cual, se realizó dejando saturar por un periodo de 24 horas, con el propósito de que la humedad aplicada en el suelo penetre todos los vacíos.

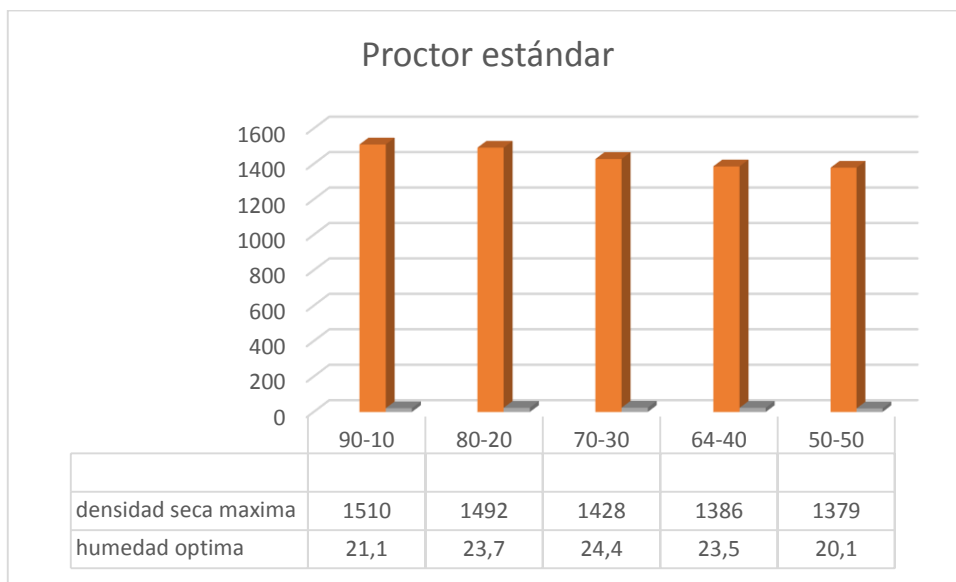
Los resultados obtenidos en laboratorio fueron los siguientes:

Tabla 26. Resultados de Proctor estándar para arcilla-ceniza (Gran Chaco)

Arcilla-ceniza (%)	Densidad seca máxima	Humedad óptima
90-10	1510	21,10
80-20	1492	23,70
70-30	1428	24,40
60-40	1386	23,50
50-50	1379	20,10

Fuente: Elaboración propia.

Grafica 6. Valores de Proctor estándar



Fuente: Elaboración propia.

De igual manera los resultados del ensayo Proctor estándar T-99 con la ceniza proveniente de las ladrilleras de la provincia Gran Chaco fueron similares a las de Cercado, pero reduciendo su densidad seca máxima; la cual, nos hace referencia de que este tipo de ceniza es mínimamente mejor, pero hace falta recalcar en sus cálculos.

El ensayo de compactación añadiendo la ceniza de fondo en proporciones de tenores bajos, provoca que la densidad máxima disminuya levemente mientras que la humedad óptima aumenta en pequeña cuantía.

3.6.3.3. Ensayo de Valor Soporte o CBR

A fin de realizar los ensayos en cualquier laboratorio se realizó la prueba CBR; debido, a su facilidad de uso y efectividad al momento de mostrar su expansión como su capacidad de soporte de los suelos.

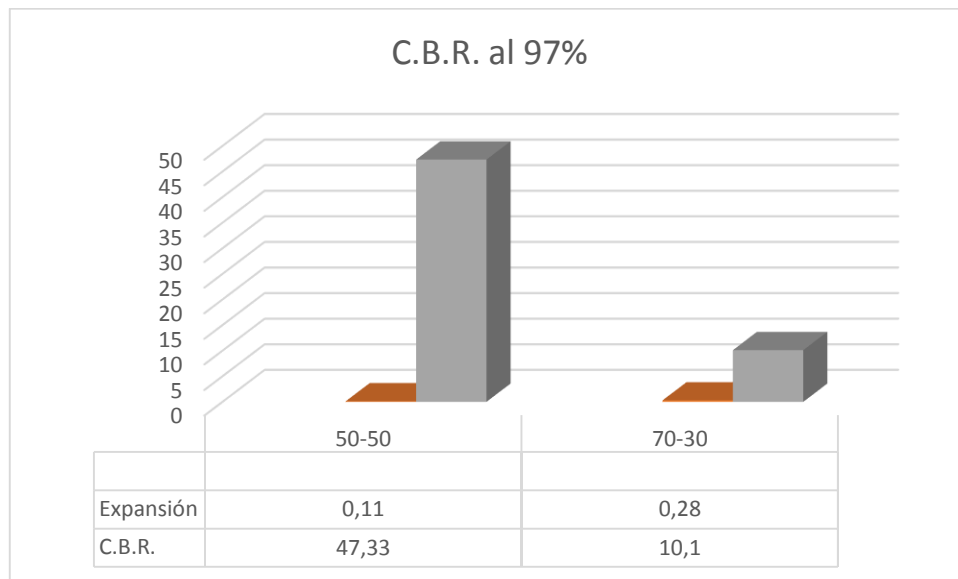
Los valores obtenidos son al 97% de la densidad máxima.

Tabla 27. Resultados de CBR para la arcilla-ceniza (Gran Chaco)

Arcilla-ceniza (%)	Expansión	C.B.R.
50-50	0,11	47,33
70-30	0,28	10,10

Fuente: Elaboración propia.

Grafica 7. Valores de C.B.R. y expansión con ceniza de (Gran Chaco)



Fuente: Elaboración propia.

Uno de los cambios más grandes y óptimos que sufre el suelo a estabilizar es el de su expansión referido a su insensibilidad al agua (por obturación de los poros); lo que hace, que reduzca grandemente la expansión o la anule como en nuestro caso que tanto en las cenizas de la Provincia Cercado como la del Gran Chaco sus expansiones fueron en su mayoría 0.

3.6.4. Estabilización de la arcilla con la adición de ceniza de fondo y cemento portland

3.6.4.1. Ensayo de valor soporte o CBR

A fin de realizar los ensayos en cualquier laboratorio se realizó la prueba CBR, debido a su facilidad de uso y efectividad al momento de mostrar su expansión como su capacidad de soporte de los suelos.

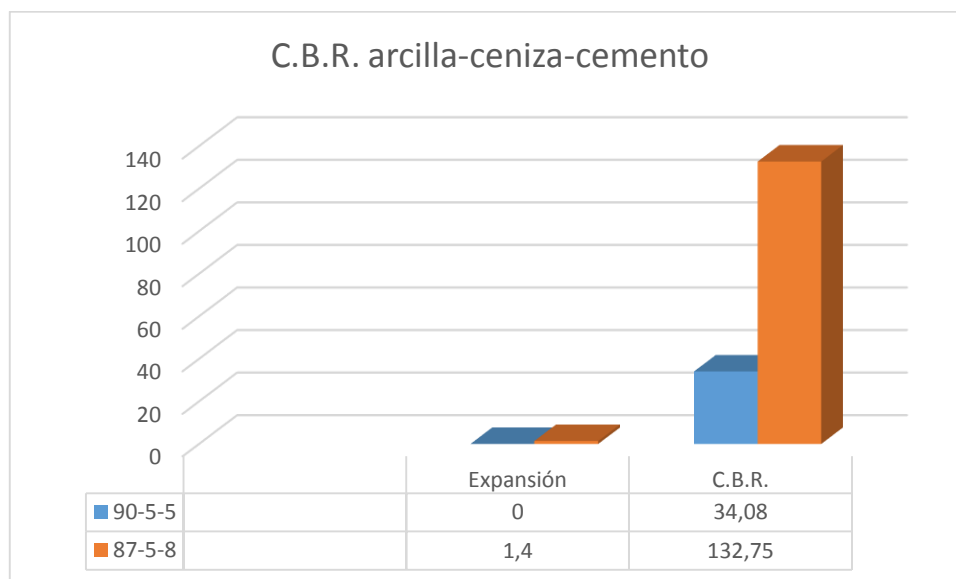
Los valores obtenidos son al 97% de la densidad máxima.

Tabla 28. Resultados de CBR para la arcilla-ceniza-cemento (Gran Chaco)

Arcilla-ceniza-cemento (%)	Expansión	C.B.R.
90-5-5	0,0	34,08
87-5-8	1,4	132,75

Fuente: Elaboración propia.

Grafica 8. Valores de C.B.R. y expansión con ceniza-cemento de (Gran Chaco)



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio observamos que con las diferentes proporciones de mezclas el límite plástico es mayor al de la arcilla pura que nos dio un valor de 24, mejorando así las propiedades del suelo a estabilizar.

La adición de cemento a bajos porcentajes de ceniza nos muestra una mayor capacidad portante; lo que significa, que su uso en obra sería bastante efectivo y el gasto económico muy bajo dándonos lo esperado en el proyecto de investigación.

3.7. PRECIOS UNITARIOS

Tabla 29. Precio unitario de la combinación 50% arcilla-50% ceniza

**Ítem: Compactación c/rodillo pata de
cabra**

1,00 m³

**Proyecto: estabilización de suelos
arcillosos con ceniza**

**Fecha:
09/mar/2022
Tipo de
cambio: 6,96**

Nº	P.	Insumo/Parámetro	Und.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIAL				
1	-	ceniza de fondo	m ³	0,50	15,00	7,50
	D	TOTAL MATERIALES			(A) =	7,50
	B	OBRERO				
1	-	ESPECIALISTA	Hr.	0,02	20,00	0,40
2	-	Albañil	hr	1,50	18,00	27,00
3	-	Ayudante	hr	2,00	10,00	20,00
	G	TOTAL MANO DE OBRA			(B+E+F) =	47,40
	C	EQUIPO				
1	-	Compactadora pata de cabra	hr	0,02	244,40	4,89
	H	Herramientas menores		5,00% de	(B) =	2,37
	I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO			(C+H) =	7,26
	J	SUB TOTAL			(D+G+I) =	62,16
	L	Gastos Generales		10,00% de	(J) =	6,22
	M	Utilidad		10,00% de	(J) =	6,22
	N	PARCIAL			(J+K+L+M) =	74,59
>	Q	TOTAL ÍTEM			(N+O+P) =	74,59
>		PRECIO ADOPTADO:				74,59
		Son: Setenta y Cuatro con 59/100 bolivianos				

Fuente: Elaboración propia.

Los precios unitarios asumidos en esta combinación tienen como único material la ceniza de fondo como materia prima para estabilizar el terreno, tomando como obreros un especialista en operación de la compactadora modo pata de cabra además de albañiles y ayudantes que son responsables de la homogenización del material con el suelo.

En todas las demás combinaciones se requiere el mismo equipo y obreros alterando únicamente el porcentaje o cantidad de ceniza.

Tabla 30. Precio unitario de la combinación 60% arcilla-40% ceniza

Ítem: Compactación c/rodillo pata de cabra

1,00 m³

Proyecto: estabilización de suelos arcillosos con ceniza

Fecha: 09/mar/2022

Tipo de cambio: 6,96

N°	P.	Insumo/Parámetro	Unid.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIAL				
1	-	ceniza de fondo	m ³	0,40	15,00	6,00
	D	TOTAL MATERIALES			(A) =	6,00
	B	OBRERO				
1	-	ESPECIALISTA	Hr.	0,02	20,00	0,40
2	-	Albañil	hr	1,50	18,00	27,00
3	-	Ayudante	hr	2,00	10,00	20,00
	G	TOTAL MANO DE OBRA			(B+E+F) =	47,40
	C	EQUIPO				
1	-	Compactadora pata de cabra	hr	0,02	244,40	4,89
	H	Herramientas menores		5,00% de	(B) =	2,37
	I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO			(C+H) =	7,26
	J	SUB TOTAL			(D+G+I) =	60,66
	L	Gastos Generales		10,00% de	(J) =	6,07
	M	Utilidad		10,00% de	(J) =	6,07
	N	PARCIAL			(J+K+L+M) =	72,79
>	Q	TOTAL ÍTEM			(N+O+P) =	72,79
>		PRECIO ADOPTADO:				72,79

Tabla 31. Precio unitario de la combinación 70% arcilla-30% ceniza

Ítem: Compactación c/rodillo pata de cabra

1,00 m³

Proyecto: estabilización de suelos arcillosos con ceniza

Fecha: 09/mar/2022

Tipo de cambio: 6,96

N°	P.	Insumo/Parámetro	Unid.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIAL				
1	-	ceniza de fondo	m ³	0,30	15,00	4,50
	D	TOTAL MATERIALES			(A) =	4,50
	B	OBRERO				
1	-	ESPECIALISTA	Hr.	0,02	20,00	0,40
2	-	Albañil	hr	1,50	18,00	27,00
3	-	Ayudante	hr	2,00	10,00	20,00
	G	TOTAL MANO DE OBRA			(B+E+F) =	47,40
	C	EQUIPO				
1	-	Compactadora pata de cabra	hr	0,02	244,40	4,89
	H	Herramientas menores		5,00% de	(B) =	2,37
	I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO			(C+H) =	7,26
	J	SUB TOTAL			(D+G+I) =	59,16
	L	Gastos Generales		10,00% de	(J) =	5,92
	M	Utilidad		10,00% de	(J) =	5,92
	N	PARCIAL			(J+K+L+M) =	70,99
>	Q	TOTAL ÍTEM			(N+O+P) =	70,99
>		PRECIO ADOPTADO:			=	70,99
		Son: Setenta con 99/100 Bolivianos				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Precio unitario de la combinación 80% arcilla-20% ceniza

Ítem: Compactación c/rodillo pata de
cabra

1,00 m³

Proyecto: estabilización de suelos
arcillosos con ceniza

Fecha: 09/mar/2022

Tipo de cambio: 6,96

N°	P.	Insumo/Parámetro	Un d.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIAL				
1	-	ceniza de fondo	m ³	0,20	15,00	3,00
	D	TOTAL MATERIALES			(A) =	3,00
	B	OBRERO				
1	-	ESPECIALISTA	Hr.	0,02	20,00	0,40
2	-	Albañil	hr	1,50	18,00	27,00
3	-	Ayudante	hr	2,00	10,00	20,00
	G	TOTAL MANO DE OBRA			(B+E+F) =	47,40
	C	EQUIPO				
1	-	Compactadora pata de cabra	hr	0,02	244,40	4,89
	H	Herramientas menores		5,00% de	(B) =	2,37
	I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO			(C+H) =	7,26
	J	SUB TOTAL			(D+G+I) =	57,66
	L	Gastos Generales		10,00% de	(J) =	5,77
	M	Utilidad		10,00% de	(J) =	5,77
	N	PARCIAL			(J+K+L+ M) =	69,19
>	Q	TOTAL ÍTEM			(N+O+P) =	69,19
>		PRECIO ADOPTADO:				69,19
		Son: Sesenta y Nueve con 19/100 Bolivianos				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33. Precio unitario de la combinación 90% arcilla-10% ceniza

Ítem: Compactación c/rodillo pata de
cabra

1,00 m³

Proyecto: estabilización de suelos
arcillosos con ceniza

Fecha: 09/mar/2022

Tipo de cambio: 6,96

N°	P	Insumo/Parámetro	Un d.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIAL				
1	-	ceniza de fondo	m ³	0,10	15,00	1,50
	D	TOTAL MATERIALES			(A) =	1,50
	B	OBRERO				
1	-	ESPECIALISTA	Hr.	0,02	20,00	0,40
2	-	Albañil	hr	1,50	18,00	27,00
3	-	Ayudante	hr	2,00	10,00	20,00
	G	TOTAL MANO DE OBRA			(B+E+F) =	47,40
	C	EQUIPO				
1	-	Compactadora pata de cabra	hr	0,02	244,40	4,89
	H	Herramientas menores		5,00% de	(B) =	2,37
	I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO			(C+H) =	7,26
	J	SUB TOTAL			(D+G+I) =	56,16
	L	Gastos Generales		10,00% de	(J) =	5,62
	M	Utilidad		10,00% de	(J) =	5,62
	N	PARCIAL			(J+K+L+ M) =	67,39
>	Q	TOTAL ITEM			(N+O+P) =	67,39
>		PRECIO ADOPTADO:				67,39
		Son: Sesenta y Siete con 39/100 bolivianos				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34. Precio unitario de la combinación 87% arcilla-5% ceniza-8% cemento

Ítem: Compactación c/rodillo pata de cabra

1,00 m³

Proyecto: estabilización de suelos arcillosos con ceniza

Fecha:
28/mar/2022

Tipo de cambio:
6,96

N°	P.	Insumo/Parámetro	Unid.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIAL				
1	-	ceniza de fondo	m ³	0,05	15,00	0,75
2	-	Cemento portland	kg	91,42	1,00	91,42
>	D	TOTAL MATERIALES			(A) =	92,17
	B	OBRERO				
1	-	Especialista	hr	0,02	20,00	0,40
2	-	Albañil	hr	1,50	18,00	27,00
>	G	TOTAL MANO DE OBRA			(B) =	47,40
	C	EQUIPO				
1	-	Compactadora pata de cabra	hr	0,02	244,40	4,89
	H	Herramientas menores		5,00% de	(B) =	2,37
>	I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO			(C+H) =	7,26
>	J	SUB TOTAL			(D+G+I) =	146,83
	L	Gastos Generales		10,00% de	(J) =	14,68
	M	Utilidad		10,00% de	(J) =	14,68
>	N	PARCIAL			(J+L+M) =	176,19
>	Q	TOTAL ÍTEM			(N) =	176,19
>		PRECIO ADOPTADO:				176,19
		Son: Ciento Setenta y Seis con 19/100 Bolivianos				

Fuente: Elaboración propia.

Los precios unitarios asumidos en esta combinación tienen como material, la ceniza de fondo como materia prima y el cemento portland como material secundario para la comparación de costos en relación de la ceniza pura.

Tabla 35. Precio unitario de la combinación 90% arcilla-5% ceniza-5% cemento

Ítem: Compactación c/rodillo pata de cabra **1,00 m³**
Proyecto: estabilización de suelos arcillosos con ceniza **Fecha: 28/mar/2022**
Tipo de cambio: 6,96

N ^o	P	Insumo/Parámetro	Un d.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIAL				
1	-	ceniza de fondo	m ³	0,05	15,00	0,75
2	-	Cemento portland	kg	57,00	1,00	57,00
>	D	TOTAL MATERIALES			(A) =	57,75
	B	OBRERO				
1	-	Especialista	hr	0,02	20,00	0,40
2	-	Albañil	hr	1,50	18,00	27,00
>	G	TOTAL MANO DE OBRA			(B) =	47,40
	C	EQUIPO				
1	-	Compactadora pata de cabra	hr	0,02	244,40	4,89
	H	Herramientas menores		5,00% de	(B) =	2,37
>	I	TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO			(C+H) =	7,26
>	J	SUB TOTAL			(D+G+I) =	112,41
	L	Gastos Generales		10,00% de	(J) =	11,24
	M	Utilidad		10,00% de	(J) =	11,24
>	N	PARCIAL			(J+L+M) =	134,89
>	Q	TOTAL ÍTEM			(N) =	134,89
>		PRECIO ADOPTADO:				134,89
		Son: Ciento Treinta y Cuatro con 89/100 Bolivianos				

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN

El trabajo de esta investigación nos arroja datos muy importantes y algo sorprendentes debido a que los valores obtenidos antes y después de estabilizarlos difiere mucho en rango tal es el valor desde su clasificación hasta su C.B.R.

El suelo a tratar fue obtenido de tres bancos tales como; Tolomosa que nos dio una clasificación de arcilla de media plasticidad tipo Cl según la norma ASTM D 2487 y según AASHTO se trataría de un suelo A-6 arcilloso plástico con una composición porcentual de arena del 4,50 % y de limos y arcillas de 95,50%; los 2 restantes ejemplares tales como San Jacinto y La Tablada nos dieron un resultado muy parecido debido a que las características del suelo y el ambiente son prácticamente semejantes.

En lo que hace referencia nuestros límites del suelo puro, ósea la arcilla plástica, nos muestra que sus valores son muy malos para la construcción de una subrasante teniendo en sus resultados como límite líquido 39, plástico 24 e índice de plasticidad 15; lo cual, nos representa que esta arcilla de baja plasticidad homogénea tiene muy malos valores en su expansión y compresión a comparación de la arcilla mezclada con ceniza de fondo proveniente de ladrilleras artesanales que mejoraron el suelo y lo estabilizaron de gran manera haciendo notoria la modificación en su plasticidad traducida en una reducción del índice plástico por incremento del límite plástico con valores del I.P. de 1, L.P. 44 y L.L. 45 en tan solo una combinación del 90% de arcilla y 10% de ceniza, mejorando notoriamente sus propiedades del suelo.

Este valor de los límites líquidos y plásticos mejora en ambas situaciones tanto con las cenizas de la Provincia Cercado como la del Gran Chaco.

Así mismo; las pruebas efectuadas para el ensayo de Valor Soporte C.B.R. de la arcilla nos mostró un valor de 1,56 y expansión del 4,88 % demostrando así los valores típicos de un suelo A-6, A-7 (limo-arcillosos); los cuales, serían de mala calidad para la ejecución de una subrasante a comparación de la mezcla suelo-ceniza que nos dio un valor de 17,59% con C.B.R. al 100% y una expansión de cero con las mezclas suelo 70%-ceniza 30%, lo que nos

demuestra que nos favorece en gran envergadura volviendo la arcilla no expansible lo que es beneficioso para mejorar las cualidades de la arcilla.

Los resultados de la ceniza de la provincia Gran Chaco fueron idénticos solo mejorando en un porcentaje ínfimo como es el caso de la mezcla 50% suelo-50% ceniza que tendría una diferencia de 4,26% en C.B.R. y 0,09 de expansión.

Para la mezcla suelo-ceniza-cemento obtuvimos un valor de C.B.R. al 100% de 132,75% y una expansión de 1,41 para 87% de arcilla-5% ceniza-8% cemento esta mezcla nos demuestra que con la adición de cemento a la arcilla más la ceniza nos da un valor de soporte muy elevado mejorando así su capacidad de soporte del suelo dando un óptimo suelo mejorado para la construcción de subrasantes.

Comparando estos resultados a pruebas ya realizadas en otros países tal es el caso de Perú, podemos observar que sus resultados son muy parecidos como es el caso de la prueba Proctor en las combinaciones 50% arcilla-50% ceniza dándonos un valor de densidad seca de 1428 y una humedad óptima de 20,1% comparada con la investigación de Mamani-Yataco(2017) que muestra un valor de 1422 como densidad seca y 23,25% de humedad pudiendo aseverar en sí que la investigación fue concretada como positiva ya que pudimos homologar los valores de ambas investigaciones.

4.2. PLANILLA DE RESULTADOS

4.2.1. Resultados de las pruebas en laboratorio para el suelo puro

Tabla 36. Planilla de resultados

Análisis granulométrico de la arcilla			
Ubicación	Grava(%)	Arena(%)	Limo y arcilla(%)
San Jacinto	0	4,49	95,51
La Tablada	0	4,55	95,45
Tolomosa	0	4,50	95,50

Ensayo de Límites de Atterberg			
Ubicación	Limite líquido(%)	Limite plástico(%)	Índice plástico(%)
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa	39	24	15

Ensayo Proctor estándar t-99		
Ubicación	Densidad seca máxima(Kg/m ³)	Humedad óptima(%)
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa	1534	20,70

Estudio de C.B.R.		
Ubicación	Expansión al 97%	C.B.R. al 97%
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa	4,88	1,56

4.2.2. Resultados de las pruebas en laboratorio para el suelo combinado con ceniza de fondo proveniente del departamento del Cercado

Ensayo de Límites de Atterberg			
Ubicación	Límite líquido(%)	Límite plástico(%)	Índice plástico(%)
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 50%-50%	36	31	5
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 60%-40%	38	31	7
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 70%-30%	39	39	0
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 80%-20%	41	31	10
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 90%-10%	45	44	1

Ensayo Proctor estándar t-99		
Ubicación	Densidad seca máxima(Kg/m ³)	Humedad óptima(%)
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 50%-50%	1377	21,0
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 60%-40%	1390	23,9
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 70%-30%	1430	24,4
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 80%-20%	1498	23,6
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 90%-10%	1513	21,0

Estudio de C.B.R.		
Ubicación	Expansión al 97%	C.B.R. al 97%
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 50%-50%	0,00	44,00
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 60%-40%	0,00	8,42
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 70%-30%	0,14	13,32
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 80%-20%	0,00	4,25
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 90%-10%	1,16	3,21

4.2.3. Resultados de las pruebas en laboratorio para el suelo combinado con ceniza de fondo proveniente del departamento del Chaco

Ensayo de Límites de Atterberg			
Ubicación	Límite líquido(%)	Límite plástico(%)	Índice plástico(%)
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 50%-50%	35	31	4
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 60%-40%	36	31	5
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 70%-30%	40	39	1
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 80%-20%	41	40	1
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 90%-10%	45	44	1

Ensayo Proctor estándar t-99		
Ubicación	Densidad seca máxima(Kg/m ³)	Humedad óptima(%)
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 50%-50%	1379	20,10
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 60%-40%	1386	23,50
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 70%-30%	1428	24,40
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 80%-20%	1492	23,70
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 90%-10%	1510	21,10

Estudio de C.B.R.		
Ubicación	Expansión al 97%	C.B.R. al 97%
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 50%-50%	0,11	47,33
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 70%-30%	0,28	10,10

4.2.4. Resultados de las pruebas en laboratorio para el suelo combinado con ceniza de fondo y cemento

Estudio de C.B.R.		
Ubicación	Expansión al 97%	C.B.R. al 97%
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa (arcilla90%-ceniza5%-cemento5%)	0,0	34,08
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa (arcilla87%-ceniza5%-cemento8%)	1,4	132,75

4.2.5. Precios unitarios para cada combinación

Precios unitarios para 1m ³ de arcilla y ceniza de fondo		
Combinación 50% arcilla-50% ceniza	74,59 Bs.	Setenta y Cuatro con 59/100
Combinación 60% arcilla-40% ceniza	72,79 Bs.	Setenta y Dos con 79/100
Combinación 70% arcilla-30% ceniza	70,99 Bs.	Setenta con 99/100
Combinación 80% arcilla-20% ceniza	69,19Bs	Sesenta y nueve con 19/100
Combinación 90% arcilla-10% ceniza	67,39Bs	Sesenta y siete con 39/100

Precios unitarios para 1m ³ de arcilla-ceniza de fondo-cemento		
Combinación 87%arcilla-5%ceniza-8% cemento	176,19 Bs.	Ciento setenta y seis con 19/100
Combinación 90%arcilla-5%ceniza-5% cemento	134,89 Bs.	Ciento treinta y cuatro con 89/100

4.2.6. Resultados de los valores más óptimos para la combinación arcilla-ceniza y arcilla-ceniza-cemento

Estudio de C.B.R.		
Ubicación	Expansión al 97%	C.B.R. al 97%
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa 70%-30%	0,14	13,32
San Jacinto-La Tablada-Tolomosa (arcilla90%-ceniza5%-cemento5%)	0,00	34,08

Precios unitarios para 1m ³ de arcilla y ceniza de fondo		
Combinación 70% arcilla-30% ceniza	70,99 Bs.	Setenta con 99/100
Combinación 90%arcilla-5%ceniza-5% cemento	134,89 Bs.	Ciento treinta y cuatro con 89/100

Fuente: Elaboración propia

4.3. CONFIABILIDAD MEDIANTE TRATAMIENTO ESTADÍSTICO

- El análisis estadístico nos informa acerca de las cualidades básicas de los datos.
- Un análisis descriptivo incluye estadígrafos (o estadísticos) como el rango, el mínimo, el máximo y la frecuencia.
- También incluyen medidas de tendencia central como: la media, mediana, moda, desviación estándar y algunos otros que nos dicen acerca de la forma que tienen nuestros datos.
- Hay muchas maneras de describir los datos, y podemos usar el análisis descriptivo para que nos diga cómo son esos datos.

Resultados obtenidos de CBR.

Tabla 37. Resultados obtenidos de la prueba C.B.R.

Arcilla-ceniza (%)	C.B.R.
90-10	3,21
80-20	4,25
70-30	13,32
60-40	8,42
50-50	44,00

Fuente: Elaboración propia.



➤ Medidas de tendencia central

Las medidas de tendencia central son medidas estadísticas que pretenden resumir en un solo valor a un conjunto de valores. Representan un centro en torno al cual se encuentra ubicado el conjunto de los datos. Las medidas de tendencia central más utilizadas son: media, mediana y moda. Las medidas de dispersión en cambio miden el grado de dispersión de los valores de la variable. Dicho en otros términos las medidas de dispersión pretenden evaluar en qué medida los datos difieren entre sí. De esta forma, ambos tipos de medidas usadas en conjunto permiten describir un conjunto de datos entregando información acerca de su posición y su dispersión.

Tabla 38. Datos para el cálculo de la estadística descriptiva

Arcilla-ceniza (%)	C.B.R.
90-10	3,21
80-20	4,25
70-30	13,32
60-40	8,42
50-50	44,00

Fuente: Elaboración propia.

Resultados de la estadística descriptiva

Tabla 39. Resultados de la estadística descriptiva

C.B.R.	
Media	14,64
Error típico	7,553268829
Mediana	8,42
Moda	#N/A
Desviación estándar	16,88962255
Varianza de la muestra	285,25935
Curtosis	3,878680668
Coefficiente de asimetría	1,941601501
Rango	40,79
Mínimo	3,21
Máximo	44
Suma	73,2
Cuenta	5

Fuente: Elaboración propia.

4.4. PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.4.1. Hipótesis

El suelo arcilloso más ceniza de carbón es más óptimo en el C.B.R. que el suelo arcilloso con ceniza de carbón más cemento portland.

4.4.2. Hipótesis alternativa

$\hat{X}1$ = Media óptima de suelo más ceniza de carbón

$\hat{X}2$ = Media óptima de suelo más ceniza de carbón y cemento portland

$$\hat{X}1 < \hat{X}2$$

4.4.3. Hipótesis nula

$$\hat{X}1 > \hat{X}2$$

Tabla 40. Aumento del C.B.R. con adición de ceniza

Proporciones	C.B.R. Arcilla-ceniza
mezcla 50%A-50%C	44
mezcla 70%A-30%C	13,32
Proporciones (%)	C.B.R. mezcla ceniza-arcilla-cemento
90-5-5	34,08
87-5-8	132,75

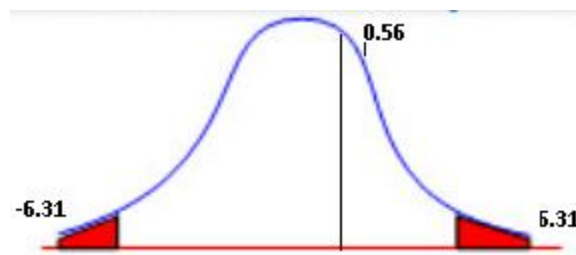
Fuente: Elaboración propia.

Prueba de T student para el calculo de $P(T \leq t)$

En la prueba de T student se optó por T y no así por Z debido a que nuestra muestra es menor a 30, los datos propuestos fueron tomados de los resultados de los ensayos realizados.

El nivel de significancia o error se considera como 0.05 debido a que es recomendable para un proyecto de investigación asumir este valor en tanto que el nivel de confianza para esta prueba es de 95%.

Curva de distribución “t” de dos colas



Prueba t para medias de dos muestras emparejadas

	Variable 1	Variable 2
Media	28,715	83,415
Varianza	693,03645	4867,88445
Observaciones	2	2
Coefficiente de correlación de Pearson	-1	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	1	
	-	
Estadístico t	0,80500368	
$P(T \leq t)$ una cola	0,28425448	
Valor crítico de t (una cola)	6,31375151	
$P(T \leq t)$ dos colas	0,56850897	
Valor crítico de t (dos colas)	12,7062047	

Con una confianza del 95% se acepta la hipótesis nula o hipótesis de trabajo entonces se rechaza la hipótesis alternativa por lo tanto podemos concluir que la hipótesis fue bien planteada.

4.5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROYECTO

“COMPARACIÓN DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS INORGÁNICOS APLICANDO CENIZA DE MADERA DE FONDO Y/O CEMENTO PORTLAND”

1. Extracción de la ceniza

A. Definición

Este ítem consiste en la extracción de la ceniza de madera de fondo; la cual, se obtiene de ladrilleras artesanales ubicadas en nuestro medio en diferentes provincias del departamento de Tarija.

Este ítem también comprende en el traslado del material al lugar de ejecución.

B. Materiales, herramientas y equipo

La ceniza que se empleara en este proyecto es netamente de madera de fondo excluyendo así cualquier tipo de otros materiales siendo una de sus propiedades con mayor presencia la del (SiO₂) anhídrido silícico en las cenizas, con unos porcentajes en peso que varían entre aproximadamente un 20 % y un 40 %.

Para su extracción se necesitará de:

- palas
- bolsas

Las bolsas deberán ser lo suficientemente resistentes para poder transportarlas, o de otra manera cargar directamente a la volqueta transportadora de materiales.

C. Procedimiento para la ejecución

La ceniza se deberá extraer de una ladrillera u horno donde se cumpla con las características y condiciones antes mencionadas.

Se debe retirar la ceniza con cuidado para evitar desmoronar partes de material con el que está hecho el horno y posteriormente cargar a las bolsas; las cuales, serán llevadas al lugar de obra siendo esta una opción para su traslado, pero la mejor elección sería la de acopiar

esta ceniza en un lugar seco y limpio para poder cargar posteriormente directamente a una volqueta para su debida mudanza a obra.

Esta ceniza debe ser propia de carbón o madera para que cumpla las propiedades requeridas; evitando así, extraer ceniza húmeda para evitar que cambie su composición a la hora de realizar la mezcla y agregar humedad en cuanto se realice la decantación con la arcilla.

2. Análisis del suelo

A. Definición

Un suelo estable y firme permite ejecutar carreteras más firmes y seguras; por eso, es importante que antes de ejecutar una obra, se realicen estudios de suelo para poder conocer sus propiedades físicas y mecánicas, así como también las características que lo componen.

Por ejemplo, antes de construir una carretera, se necesita que la subrasante sea lo suficientemente estable para poder soportar el desliz, aguantar las cargas del pavimento y darle sustentación.

La subrasante debe ser capaz de mantener sus propiedades bajo la acción de los cambios o fenómenos del clima.

Uno de los suelos más comunes en nuestro medio son los arcillosos, que en este proyecto es el que se requiere estabilizar siendo este suelo arcilla inorgánica.

B. Materiales, herramientas y equipo

Los materiales para realizar el estudio del suelo a estabilizar son los siguientes:

➤ Granulometría

Balanza con capacidad de 1kg y 0.1g. de precisión.

Juego de mallas o tamices N 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N° 4, N° 10, N° 40, N° 200

Charola de lámina galvanizada.

Brocha de cerda y cepillo de alambre.

Horno.

Muestra de arcilla

- Límites de consistencia
 - Plato de vidrio
 - Balanza
 - Contenedores para muestras (taras).
 - Plato de porcelana para mezclar.
 - Espátula de 120mm

- Limite liquido

Aparato Casa Grande

Cápsula

Espátula

Contenedores para muestras (taras)

- Ensayo Proctor estándar

Molde con variación mínima de los 944 cm³

Pisón o martillo de 2,5Kg.

Recolector de muestras o taras

Balanza de 1gr de aproximación

Regla enrasadora

Herramientas de mezcla tales como cucharas, mezclador, paletas, etc.

Tamices o mallas

- Ensayo C.B.R.

Moldes cilíndricos de acero de 6 plg. de diámetro con collarín de 2plg. de alto.

Martillo de 4,54Kg

Disco separador

Regla para enrasar

Plato y vástago

Trípode y extensómetro

Pesas de sobrecarga

Papeles filtro

Taras

Balanza de 1gr de aproximación

Horno

C. Procedimiento para la ejecución

Para evaluar el suelo a tratar en este caso la subrasante, debemos conocer sus propiedades físico-mecánicas.

Es necesario tomar muestras a lo largo del tramo donde se determinará sus propiedades, para ello se debe realizar los ensayos en laboratorios de suelo donde se determinará las cualidades y deficiencias del estrato a estabilizar. Dichos ensayos son los siguientes:

- Granulometría.- Nos permite conocer la distribución del tamaño de las partículas que conforman el suelo y por ende la clasificación que se realiza mediante AASHTO y SUCS.
- Límites de Atterberg. - Debemos realizar la prueba de plasticidad para conocer las propiedades del suelo para deformarse indefinidamente sin romperse al ser sometido a un esfuerzo que supere un nivel dado.

Con varias muestras de suelo se fabrican cilindros de 3mm. de diámetro dejándolos secar hasta que se resquebrajen en toda su longitud y entonces se les halla la humedad. Se calcula la media de humedades obteniéndose así el límite plástico.

Para el límite líquido se coloca una muestra húmeda sobre la cuchara casa grande.

Se realiza una hendidura longitudinal con la espátula normalizada.

La leva deja caer la cuchara repetidas veces desde una altura de 1 cm, anotándose el número de golpes necesarios para que la ranura se cierre en una longitud de 12 mm.

- Proctor estándar T99.- Consideramos por cada punto de la curva densidad-humedad 2500 gr de material seco, debiéndose tomar lo suficiente para seis puntos.

Se toman las medidas del molde, volumen y peso.

Una vez colocada la muestra en una bandeja metálica se incorpora humedad (para materiales finos 6% aprox.), se mezcla de forma homogénea.

Con el auxilio de la cuchara de almacenero se procede a colocar una porción de muestra húmeda a un poco más de 1/3 de la altura del molde sumado a la del collarín.

Se procede compactar con el pisón de compactación hasta el número de 25 golpes, distribuidos de forma conveniente en el centro y perímetro.

De igual manera se compacta capas hasta llegara a un número de tres y se extrae el collarín, enrasando la superficie.

Se toma P(molde+suelo) y se extrae una porción de la muestra compactada para determinar %H, ambos resultados se registra en planilla.

El procedimiento se repite hasta obtener cinco puntos tres en la rama ascendente y dos en la rama descendente, considerando que para cada punto se incorpora un 2% de agua más por cada determinación.

- Ensayo C.B.R.. - Compacte al menos 3 probetas en un rango de 90% a 100% de la densidad máxima compactada seca determinada anteriormente.

Mezcle homogéneamente con agua cada una de las tres o más porciones de suelo por ensayar, previo secado en horno a 60o C hasta masa constante. Agregue la cantidad de agua necesaria para alcanzar la humedad óptima determinada en “Relación humedad-densidad”. Luego proceda a curar la mezcla, colocandola en un dispositivo tapado hasta obtener una distribución uniforme de humedad.

Para cada molde coloque el disco espaciador sobre la placa base. Fije el molde con su collar de extensión sobre dicha placa y coloque un disco de papel filtro grueso sobre el espaciador.

Compacte cada una de las porciones de suelo húmedo en el molde, en un número de capas igual al de las probetas usadas en el ensaye de humedad - densidad. Cada probeta se debe compactar con distinta energía; de tal manera, que la densidad en la cual se desee determinar la razón de soporte quede entre las densidades de dos probetas.

Si las muestras van a ser sometidas a inmersión, determine el contenido de humedad al comienzo y al final del procedimiento de compactación (2 muestras). Cada una de ellas debe pesar como mínimo 500g.

Retire el collar de extensión y enraste cuidadosamente el suelo compactado con una regla al nivel del borde del molde. Rellene con material fino bajo 5mm cualquier hueco que pueda haber quedado en la superficie por eliminación de material grueso. Saque la placa base perforada y el disco espaciador y pese el molde con el suelo compactado.

Determine la masa del suelo compactado (m), restando la masa del molde. Registre aproximando a 1g.

Coloque un disco de papel filtro grueso sobre la placa base perforada, invierta el molde y fíjelo a dicha placa, con el suelo compactado en contacto con el papel filtro.

Coloque el vástago ajustable y la placa perforada sobre la probeta de suelo compactado y aplique las cargas hasta producir una sobrecarga igual a la ejercida por la estructura del pavimento sobre el material en estudio, redondeando a múltiplos de 2,27Kg. (5 lb). En ningún caso debe ser menor que 4,54Kg (10 lb).

Si la muestra va a ser sometida a inmersión, coloque los moldes con sus respectivas cargas en el recipiente sin agua y acomode el aparato de expansión a cada uno de los moldes, tomando lecturas iniciales de expansión o hinchamiento. Luego agregue el agua lentamente para no producir movimientos que desajusten el trípode de expansión, permitiendo el libre acceso de esta a las probetas, las que debe dejar sumergidas durante 96 h. Durante este periodo mantenga la muestra sumergida a un nivel de agua constante, sin producir vibraciones que puedan alterar las mediciones de expansión.

Al término del periodo de inmersión, tome las lecturas finales de expansión a cada una de las probetas y calcule el porcentaje de expansión refiriendo dichas lecturas a la altura inicial de estas.

Saque el agua libre dejando drenar la probeta a través de las perforaciones de la placa base durante 15 min. Cuide de no alterar la superficie de la probeta mientras se extrae el agua. Puede ser necesario inclinar la probeta para eliminar el agua superficial.

Retire las cargas y la placa base perforada. Pese el molde con el suelo. Determine la masa de suelo compactado después de la inmersión (m_i), restando la masa del molde. Registre aproximando a 1 g.

- Penetración. - Coloque sobre la probeta la cantidad suficiente de cargas para producir una sobrecarga igual a la ejercida por la estructura del pavimento sobre el material en estudio, redondeando a múltiplos de 2,27 Kg. (5 lb) y en ningún caso menor que 4,54 Kg. (10 lb). Si la probeta ha sido previamente sumergida, la sobrecarga debe ser igual a la aplicada durante el periodo de inmersión.

Para evitar el sollevamiento del suelo en la cavidad de las cargas ranuradas, coloque en primer lugar la carga anular sobre la superficie del suelo, antes de apoyar el pistón de penetración. Luego coloque las cargas restantes.

Apoye el pistón de penetración con la carga más pequeña posible; la cual, no debe exceder en ningún caso de 45 N. Coloque los calibres de tensión y deformación en cero. Esta carga inicial se necesita para asegurar un apoyo satisfactorio del pistón y debe considerarse como carga cero para la determinación de la relación carga - penetración.

Aplique la carga en el pistón de penetración de manera que la velocidad sea de 1,27 mm/min.

Anote las lecturas de carga en los siguientes niveles de penetración: 0,64; 1,27; 1,91; 2,54; 3,18; 3,81; 4,45; 5,08; 7,62; 10,16 y 12,7mm.

Anote la carga máxima alcanzada, registrando la penetración a la que se produce, si esto ocurre para una penetración menor que 12,7mm.

Saque el suelo del molde y determine su humedad considerando la totalidad de la muestra.

3. Preparación del terreno

A. Definición

Tiene como objetivo principal homogeneizar la zona a estabilizar para facilitar la acción de los equipos de mezclado. Esto permite el aprovechamiento al máximo del material y agilizar el proceso de extendido.

Lo primero es retirar la materia orgánica que hay en la superficie. En las zonas en terraplén se deberá añadir, además, material procedente de algún desmote de la traza o bien de préstamos.

B. Materiales, herramientas y equipo

Los materiales que se necesitaran para realizar la preparación del suelo a estabilizar son los siguientes:

➤ Remoción de materia vegetal

Machetes

Picos

Palas

Rastrillos

Bolsas de yute

➤ Escarificación del suelo, mezcla y nivelado

Motoniveladora, camión de agua

➤ Estabilizante del suelo

Ceniza

Agua

C. Procedimiento para la ejecución

Se debe retirar todo material orgánico (arbustos, hojas, etc.) que impidan la reacción química entre el suelo y la ceniza.

Posteriormente se debe escarificar el suelo con el espesor a trabajar por medio de maquinarias como la motoniveladora con el propósito de desunir los elementos que conforman el terreno.

La aireación y humectación deben estar acordes a la humedad óptima que para este proyecto será de 24,4% siendo aconsejable llevar la humedad 3% arriba del óptimo para evitar que se evapore el agua debido al tiempo necesario para su mezclado y compactación.

Se requiere una mezcla preliminar para distribuir la ceniza dentro del suelo y para pulverizar inicialmente el suelo para preparar la adición de agua que inicie la reacción química para la estabilización. Esta mezcla puede iniciar con la escarificación.

La escarificación puede realizarse aún sin mezcladoras modernas. Durante este proceso o inmediatamente después, el agua deberá agregarse.

La ceniza debe ser aplicada geoméricamente de forma que pueda ser esparcida en el área a trabajar, conociendo la densidad o peso aparente de la arcilla con un valor promedio de 1150 Kg/m³ para una mezcla de 70% arcilla-30% ceniza ocuparemos 345 Kg/m³ de ceniza de fondo.

Para su aplicación puede ser manualmente trasponiendo las bolsas de yute por secciones o de otra manera con bolsas especiales que resisten pesos mayores y son esparcidas con la retroexcavadora.

Finalmente se debe volver a mezclar con el escarificador para que posteriormente la maquina motoniveladora lo enrase o nivele para homogenizar la superficie.

4. Compactación mecánica del suelo

A. Definición

La mezcla suelo-ceniza deberá ser compactada a la densidad requerida por la especificación, 1430 Kg/m³ densidad máxima obtenida en el ensayo AASHTO T99 (Proctor estándar). El valor de densidad deberá basarse en la curva Proctor de una muestra representativa de la mezcla de suelo-ceniza y no del suelo sin tratar. La compactación deberá iniciar inmediatamente después de la mezcla final. Si esto no es posible, los retrasos de hasta cuatro días no deberían ser un problema si la mezcla es ligeramente compactada y se mantiene húmeda mientras se lleva a cabo la compactación. Para demoras más largas, puede ser necesario incorporar una pequeña cantidad adicional de ceniza en el suelo.

B. Materiales, herramientas y equipo

Compactador pesado de neumáticos o rodo vibratorio

También se puede usar una combinación de pata de cabra y un compactador ligero de almohadilla.

C. Procedimiento para la ejecución

Para asegurar una compactación adecuada, el equipo deberá adaptarse a la profundidad de la capa. La compactación puede lograrse utilizando compactador pesado de neumáticos o rodo vibratorio o una combinación de la “pata de cabra” y un compactador ligero” de almohadilla”. Comúnmente, la superficie final de compactación se completa utilizando un rodo liso.

Se recomienda usar un rodillo pata de cabra de 10 Ton. para la compactación realizando de 10 a 12 pasadas dobles para una capa de 25 cm.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se estudió el suelo como arcilla y las propiedades que tiene dicho estrato, llegando a la conclusión de que este suelo es muy malo para la construcción de subrasantes; ya que, de acuerdo a los resultados obtenidos tenemos que este suelo puro obtenido de los tres bancos Tolomosa, San Jacinto y La Tablada nos clasifican a un suelo A-6 y tipo CL de acuerdo a la clasificación unificada y AASHTO ambos dándonos como resultado que se tratase de una arcilla de media plasticidad; la cual, por sus propiedades físicas nos hace hincapié a que se trata de un suelo muy malo para la construcción de una subrasante.

De los tres bancos obtenidos, la similitud en sus propiedades nos hace referencia a que toda esta zona de estudio cuenta con el mismo suelo, diferenciando solo en ciertos bancos que encontramos arena.

Conociendo el déficit de capacidad portante y la gran expansión de la arcilla hemos encontrado la manera y el método para convertir estos suelos aptos para construir excelentes subrasantes, aun subbases y con un poco más de porcentaje de estos estabilizantes también bases, incorporándoles materiales correctivos y mejoradores de sus propiedades ingenieriles naturales.

Dentro de la comparación de sus límites en los valores que fueron analizados nos mostraron un cambio muy notorio haciendo ver que la ceniza de fondo hace que se modifique su plasticidad traducida en una reducción del índice plástico por incremento del límite plástico; lo que, nos hace un suelo mejorado con el cual podemos trabajar de una mejor manera, la diferencia entre la ceniza del Chaco y la de Cercado no llegaron a ser muy variables pero su respectivo estudio fue de vital importancia dentro su estudio.

En el ensayo de compactación añadiendo la ceniza de fondo provoca que la densidad máxima disminuya levemente mientras que la humedad óptima aumenta en pequeña cuantía tal es el caso de las combinaciones 80% suelo-20% ceniza que cambia de un valor de densidad seca máxima 1534 a 1498 y de una humedad óptima de 20,7 a 23,6, se debe tomar en cuenta que este estudio es muy importante para poder establecer el contenido de humedad óptimo para posteriormente calcular el C.B.R.

Con el conjunto de las mezclas estudiadas llegamos a la conclusión que el suelo a ser mejorado o tratado nos da un resultado esperado aumentando su capacidad portante y disminuyendo su expansión tal es el caso que con una combinación de suelo de 90% y ceniza 10 % nuestro C.B.R. aumenta de 1,56 a 3,21 pasando de un suelo muy pobre a un suelo pobre-regular según los valores de (J., 1980).

Con todas estas combinaciones de arcilla-ceniza llegamos a identificar una dosificación óptima para la estabilización de una subrasante dándonos como mejor combinación la de 70% suelo y 30% arcilla llegando a demostrar que estos valores cumplen con los valores requeridos para una buena construcción de subrasantes siendo estos valores de 7 a 20 en C.B.R; el cual, con nuestra combinación obtuvimos un valor de 13,32 y para valores de expansión nuestro suelo se volvió nulo mejorando así todas las propiedades y llegando a estabilizar de una manera efectiva.

A estos valores ya conciliados con el suelo se le añadió un aglomerante tal es el caso del cemento; el cual, por estudios realizados se determina una mejora de estos suelos a estabilizar, de acuerdo a los estudios realizados en laboratorio nos manifiesta que con valores de 90% suelo-5% ceniza-5% cemento, su capacidad portante nos da un valor de 34,08, valor virtuoso para la construcción de una base-subbase.

Los valores obtenidos con cemento solo nos demuestran que podemos llegar a mejorar el suelo aún más con pequeñas proporciones tal es el caso de 90% Suelo-5% Ceniza-5% cemento, no siendo necesario la adición de cemento ya que con solo la ceniza llegamos a los valores requeridos para subrasantes.

Cabe recalcar que durante la práctica en las combinaciones suelo 60%-ceniza 40% la muestra sufrió congelamiento debido a factores climáticos, pudiendo afectar a los resultados obtenidos ya que por congelamiento el suelo sufre hinchamiento alterando en si los resultados normales.

Gracias a la arcilla y sus propiedades bondadosas se puede fraccionar a cenizas volantes; el cual se encuentran en el fondo de estas canteras y poseen diámetros de partículas mayores a 0,075mm; son usados comúnmente como relleno pero en este estudio se enfocó en sus propiedades físicas que a partir de la síntesis de aluminosilicatos alcalinos con una solución activadora de hidróxido alcalino y silicato alcalino llegamos a contener un geo polímero; por lo mismo, se puede obtener propiedades puzolánicas similares a las del cemento portland.

Conociendo las propiedades geo polímeras de la ceniza llegamos a la conclusión que con la adición optima de un 30% alcanzamos una estabilización del suelo estudiado (Arcilla tipo A-6) volviéndolo apto para la construcción de una subrasante mejorando su capacidad portante y su expansión permitiendo así ejecutar la obra sin ninguna falla por estabilización y lo que es más importante con un gasto económico muy bajo; debido a que, en la actualidad no existe un valor determinado de la ceniza pero que se lo encuentra en grandes volúmenes en dichas fábricas, aportando así a la sociedad para una mejor calidad de vida.

Cabe mencionar que la reducción de precios es muy considerable tomando en cuenta que en nuestro medio la ceniza se puede conseguir a precios muy económicos e incluso gratis en las diferentes canteras; ya que, estas ladrilleras artesanales en su mayoría lo desechan directamente al medio ambiente.

El mejor precio al cual podemos estabilizar una arcilla es de 70,99 Bs. (Setenta con 99/100 bolivianos), el cual en comparación de los otros aglomerantes es relativamente el más económico tomando para este precio, el costo de materiales, mano de obra y como maquinaria una compactadora pata de cabra.

Para realizar una comparación entre ceniza pura comparada con ceniza-cemento nos enfocaremos a su resistencia de C.B.R. al 100% dándonos como resultado 132,75% y una expansión de 1,41 para 87% de arcilla-5% ceniza-8% cemento, esta mezcla nos demuestra que con la adición de cemento a la arcilla más la ceniza nos da un valor de soporte muy elevado, mejorando así su capacidad de soporte optimo del suelo para la construcción de subrasantes. Pero como hace mención la ingeniería no sería el más adecuado debido a un valor más elevado de 134,89 Bs. (Ciento Treinta y Cuatro con 89/100), tomando como resultado final de este estudio un valor óptimo de 70% de suelo mejorado con un valor de 30% de ceniza haciendo estos valores los más efectivos tanto en su esfuerzo físico mecánico, como en su economía.

5.2. RECOMENDACIONES

- Investigar tecnologías para la captación de las emisiones de la quema de madera de eucalipto más carbón, producto de las ladrilleras artesanales.
- Profundizar los estudios sobre la utilización de las cenizas de Fondo.
- Realizar ensayos triaxiales y de CBR, con combinaciones de arcilla – ceniza de fondo y evaluar el comportamiento de ellas.
- Efectuar investigaciones respecto a la estabilización de suelos arcillosos, aplicando combinaciones de ceniza de fondo – cemento.
- Se estableció que, al adicionar ciertos tipos de aditivos, no necesariamente se ven mejoradas todas las propiedades, algunas de ellas pueden ser afectadas.
- Dentro del ámbito vial se debe profundizar la investigación del uso de estos materiales como ligantes, con características especiales como fraguado lento y continuo con el tiempo.
- Realizar estudios con limos e investigar el porcentaje de cenizas actual.
- Se recomienda continuar las investigaciones de este estudio para diferentes regiones del departamento y así coadyuvar al progreso de la región.