



## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN AL TEMA.**

#### **1.1. INTRODUCCIÓN**

Cuando en el ámbito de la construcción de pavimentos se encuentra suelos débiles, lo primero que se piensa es la manera de como solventar este problema.

En gran parte del departamento de Tarija se pudo observar este problema que perjudica al crecimiento de la comunidades que se encuentran conectadas por caminos de tierra, es de tal manera que se han ido realizando algunas alternativas que puedan mejorar la resistencia del terreno, como un tratamiento superficial simple con la formación de una capa de material granular en las calles y avenidas para poder mejorar la transpirabilidad debido a que hay una mayor facilidad de poder contar con este tipos de materiales.

La estabilización de suelos finos aplicada al mejoramiento vial, es una técnica que constituye distintas alternativas desde el punto de vista funcional, ambiental y económico, favoreciendo la utilización del suelo de la zona como parte de la estructura del pavimento, modificando la resistencia característica en su comportamiento inicial del suelo.

Este trabajo pretende realizar un análisis mediante un estudio de los suelos desfavorables (finos) que pueden presentar en los caminos de las zonas a formar parte de una red vial, realizando el mejoramiento de los suelos mediante el uso de la arena triturada en diferentes porcentajes de dosificación que pueda aportar un mejoramiento de su característica natural de resistencia que presentan este tipo de caminos.

De tal forma así brindar una plataforma estable para evitar problemas de fallas estructurales que se pueden presentar en el pavimento debido a la subrasante conformada con suelos inadecuados presentes en la zona de estudio, y así tener una mejor condición del paquete estructural.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

A medida que transcurre el tiempo y el aumento de población, se ve la necesidad de ampliar los caminos de nuestro departamento, en estos últimos años se ha podido observar que el crecimiento de la población fue aumentando, lo que genera mayor necesidad de rutas de comunicación

Gran parte de las zonas rurales presentan problemas de suelo débil con gran presencia de limos y arcillas en la subrasante, el cual llega a ser un problema para el diseño y construcción del pavimento en sus caminos, entonces se debe mejorar el suelo para garantizar un estabilidad del pavimento y así brindar un flujo seguro y rápido de los vehículos y personas que se trasladan a través de sus vías.

No obstante estos caminos constituyen gran parte de los terrenos del departamento de Tarija y son los más adecuados para realizar un proceso de mejoramiento, por lo que el empleo de esta técnica puede resultar siendo una solución adecuada para la zona en estudio.

Debido a estos problemas el presente proyecto realiza un análisis del uso de la arena triturada que brinde solución a los problemas de suelos débiles de fácil aplicación en los caminos de tierra que pasen a ser pavimentados.

Tomando en cuenta que se cumplan los requisitos indispensables del mejoramiento de caminos y así evitar problemas constructivos y estructurales que pueden generarse en el pavimento.

## **1.3. DISEÑO TEÓRICO**

### **1.3.1. Planteamiento del problema**

#### **1.3.1.1. Situación problemática**

Podemos mencionar que la gran mayoría de los caminos de tierra pertenecientes al departamento de Tarija presentan una mala condición de resistencia.

El principal impacto ambiental directo que se asocia a los caminos de tierra, es la erosión. En efecto, en zonas muy empinadas y con muchas precipitaciones es frecuente que el mantenimiento de sistemas de drenaje provoque inundaciones locales y erosión en los bordes del camino, por otro lado en zonas planas, puede cortar el flujo natural del agua.

El impacto acústico también es un problema en caminos de tierra, ya que ocasiona una incomodidad a las personas

En época seca favorece que el paso de los vehículos forme auténticas nubes de polvo en suspensión, provenientes de los finos que van disociándose del grueso del camino al ir perdiendo su cohesión. Esto puede representar un peligro para la salud ya que las partículas pueden ser tan pequeñas que pasan a través de las vías nasales y viajan hasta las partes más profundas de nuestros pulmones y causan daños, se puede mencionar que ocasiona daños a la vegetación a lado del camino.

Lo que busca esta investigación realizando una serie de ensayos de laboratorio de suelos, es mejorar la capacidad soporte para que el suelo que conforma el camino tenga una mejor condición y así obtener una alternativa más para mejorar los caminos de tierra y que sirva de solución para diferentes situaciones de estabilización

Los resultados de la investigación podrán ser de conocimiento público en las diferentes ramas de profesionales y la sociedad académica que así lo requiera y sea una alternativa viable para problemas particulares que presentan los caminos de tierra.

### **1.3.1.2. Problema**

¿Aplicando arena triturada a suelos finos, se mejorará la resistencia del suelo?

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Objetivo general**

- Mejorar la capacidad soporte de las subrasantes teniendo en cuenta las propiedades de resistencia de los suelos finos cuando se le añaden diferentes porcentajes de arena triturada.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Seleccionar los tramos de los caminos de tierra que presenten suelos finos.
- Determinar las propiedades de resistencia que presentan los suelos finos estudiados en base a ensayos de laboratorio.
- Plantear los porcentajes de la dosificación suelo-arena triturada, para ver si esta combinación logra mejorar la propiedad de resistencia del suelo natural.
- Analizar los resultados ya sean negativos o positivos que arroje la investigación
- Validar la investigación según normas de diseño establecidas y asumidas en nuestro ámbito departamental.
- Realizar una verificación estadística de los valores finales de CBR, para ver si estos son asociables entre sí mediante regresión lineal.
- Realizar el análisis de costos para cada tramo.

## **1.5. HIPÓTESIS**

Si se aplica un procedimiento de dosificación de la mezcla suelo-arena triturada, modificando la resistencia del suelo, entonces aumentara la capacidad de soporte (CBR) del suelo de la subrasante, en los tramos seleccionados pertenecientes en zonas aledañas a la ciudad de Tarija.

## **1.6. DEFINICIÓN DE VARIABLES**

### **1.6.1 Variable independiente**

Arena triturada que pase el tamiz 4 y retenido en el 10 que será el responsable de o el causante de mejorar el suelo.

### **1.6.2. Variable dependiente**

- Baja capacidad de soporte del suelo debido a la mala calidad de las características de suelos finos.
- Suelos finos que conforman la sub rasante de caminos sin mejoramiento.

### **1.6.3 Variable interviniente**

La capacidad soporte adecuada basada en una dosificación de la mezcla suelo-arena triturada.

## **1.7. DISEÑO METODOLÓGICO**

### **1.7.1. Componentes**

#### **1.7.1. Unidades de estudio y decisión muestral**

##### **1.7.1.2. Unida de estudio**

Los suelos finos que constituyen la subrasante

##### **1.7.1.3. Población**

Los materiales de la sub-rasante que presentan condiciones malas de capacidad soporte (limos y arcillas).

##### **1.7.1.4 Muestra**

Los materiales de subrasante con bajas características de resistencia:

Subrasante de suelo fino (limos, arcillas y limo-arcillosos arcillas-arenosas)

La muestra es una representación significativa de las características de una población, estudiamos las características de un conjunto poblacional mucho menor que la población global, según la mecánica de suelos se ha demostrado que los tipos de suelo seleccionados presentan serios problemas de resistencia, constituyéndose en factores que debilitan el paquete estructural de una carretera, por esa razón es una buena elección para su estudio.

##### **1.7.1.5. Muestreo**

El muestreo (análisis y elección de la muestra) es de tipo discrecional, es una técnica de muestreo no probabilístico donde el investigador selecciona las unidades que serán muestra en base a su conocimiento y juicio profesional.

- Disponibilidad del material en la ciudad de Tarija
- Las arena triturada que según sus propiedades y características se cree que pueda tener mejor efecto en sub-rasante de suelos finos

## **1.8. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS**

### **1.8.1. Método**

En el presente Proyecto de Grado se empleará el método científico experimental puesto que se busca determinar la adecuación o no de la hipótesis planteada a la realidad mediante la observación y experimentación a través de un conjunto de manipulaciones, procedimientos y operaciones de control.

Este método trata de demostrar de forma simple que con la manipulación de una variable independiente en nuestro caso identificado como arena triturada, se produce un cambio en la variable dependiente (subrasante) en caminos de tierra.

Además el recurrir al método experimental nos permite repetir la observación bajo las mismas condiciones para verificarla, en nuestro caso realizaremos los ensayos requeridos a diferentes dosificaciones de la variable independiente en laboratorio para ver el comportamiento de la capacidad soporte del suelo.

### **1.8.2. Técnica**

Para desarrollar la investigación experimental se realizarán ensayos en el laboratorio característicos de clasificación de suelos y de verificación de resistencia, luego se hará el posterior análisis de datos para comprobar si la hipótesis del inicio cumple o no.

Puesto que lo ideal sería hacer los ensayos en campo pero las condiciones no lo permiten, estos experimentos tendrán la finalidad de reproducir y simular lo que sucedería en campo.

## **1.9. PROCEDIMIENTOS DE APLICACIÓN**

Para desarrollar esta investigación se pretende llevar a cabo las siguientes actividades:

- Seleccionar seis tramos del departamento de Tarija, cada tramo deberá tener dos diferentes tipos de suelo.
- Realizar la extracción de las muestras por debajo de los 30 cm para evitar extraer desechos orgánicos.

- Las distintas muestras deben ser identificadas adecuadamente por medio de ensayos de clasificación en laboratorio (granulometría, límites, compactación y CBR)
- En cada tramo se identificara dos puntos de estudio, los cuales se debe analizar el efecto del suelo al aplicar arena triturada.
- A cada muestra de suelo obtenida después de realizar su caracterización, se le aplicara arena triturada diferentes proporciones (15%,20%,30% y 40%)
- Una vez mezclada la muestra más la arena triturada se debe realizar los ensayos de granulometría, compactación y CBR.
- Finalmente se ejecutarán los cálculos numéricos del caso, cuyos resultados permitirán verificar la incidencia de la arena triturada si es positiva o negativa en la subrasante.

#### **1.10. ALCANCE**

En este proyecto se contempla el análisis de los suelos de seis tramos pertenecientes al departamento de Tarija con características de suelos finos (arcillas y limos) cuyas características son las que presentan menores resistencias, por lo cual se busca mejorar el incremento de esa propiedad con el incremento de la arena triturada mediante un estudio geotécnico con ensayos básicos cuyo procedimiento y equipos a ser utilizados en laboratorio estarán regidos bajo las especificaciones de la norma ASTM o AASHTO, que están plasmados en el manual técnico para el diseño de carreteras en Bolivia (volumen 4 “Manual de ensayo de suelos y materiales”), y con el equipo disponible en el Laboratorio de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho Se clasificara el suelo de acuerdo al método AASHTO ya que este método está destinado a clasificar los suelos según su adaptabilidad para ser usados en las construcciones caminos.

El alcance principal del trabajo de investigación es el de verificar si con la implementación de arena triturada a suelos finos este mejorara la capacidad soporte, para el uso en temporadas desfavorables (lluvias) donde el usuario tiende a sacar sus productos a la venta.



## CAPÍTULO II

### SUELO FINO, ARENA TRITURADA Y SUBRASANTE

#### 2.1. SUELO

Se dice que un suelo es un agregado de partículas orgánicas e inorgánicas, que no presentan ninguna organización; pero en realidad se trata de un conjunto de partículas con organización definida y propiedades que varían según un tipo de suelo.

##### 2.1.1. Suelos finos

Se puede entender a los materiales finos como aquéllos que poseen una parte relevante de suelos cohesivos y que como tales condicionan su comportamiento, frente a los restantes materiales existentes en las obras o en el terreno.

##### 2.1.2. Arcillas y limos

En general el estudio de suelos en la ingeniería civil incluye mineralogía y comportamiento bajo condiciones diversas.

La determinación mineralógica es importante porque permite predecir su comportamiento y la forma de controlarlo. La mineralogía permite estimar características de un suelo pero no calcular los valores absolutos representativos de su comportamiento actual. De aquí que se hagan una serie de pruebas características entre las cuales se encuentran:

Tamaño del grano: El orden del tamaño arcilloso varía desde 0.005mm hasta dimensiones coloidales, teniendo muchas partículas arcillosas un diámetro inferior a 0.0002mm.

En el cuadro que se adjunta se destaca la división adoptada para los distintos sistemas de clasificación que actualmente utilizamos los ingenieros en nuestros proyectos.

**Tabla 1. Definición del tamaño de partículas**

Nombre de la Organización	Tamaño de los granos (mm)			
	Grava	arena	limo	arcilla
Massachusetts Institute of Tec.	> 2	2 a 0,06	0,06 a 0,002	<0,002
U.S. Dep. of Agriculture	> 2	2 a 0,05	0,05 a 0,002	<0,002
AASHTO	76,2 a 2	2 a 0,075	0,075 a 0,002	<0,002
Sistema Unificado de Clasif. US Army Corp. Of Engineering US Bureau of Reclamation ASTM	76,2 a 4,75	4,75 a 0,075	<0,075	

**Nota:** El tamaño correspondiente a 76,2 mm corresponde al tamiz US de 3".  
 El tamaño correspondiente a 4,75 mm corresponde al tamiz US N° 4.  
 El tamaño correspondiente a 2 mm corresponde al tamiz US N° 10.  
 El tamaño correspondiente a 0,075 mm corresponde al tamiz US N° 200.

*Fuente: <http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/distribucion-del-tamano->*

## 2.2. HUMEDAD DE LOS SUELOS

Se define como contenido de humedad de suelos, a la cantidad de agua que posee una determinada muestra de suelo, expresada en porcentaje y referida al peso seco de la misma.

La fórmula para encontrar dicha humedad es la siguiente:

$$W (\%) = (Pa/P * 100)$$

Dónde: W (%)= Contenido de humedad

Pa = Peso del agua

Pss = Peso del suelo seco

### **2.2.1. Formas de agua presentes en el suelo**

#### **Agua libre**

Es el agua que circula a través de del suelo sin dificultad alguna y por la acción de la gravedad puede ser drenada.

#### **Agua retenida**

Se encuentra retenida dentro del suelo y la causa de su formación se define:

- **Agua higroscópica**  
Es la que absorbe un suelo de la humedad del aire.
- **Agua capilar**  
Es la retenida por efecto de la tensión superficial.

### **2.2.2. Métodos para determinar el contenido de humedad**

Los métodos para determinar el contenido de humedad tienen el principio de conocer el peso de una muestra de suelo en su estado húmedo y también en su estado seco, entonces, con solo conocer la diferencia de estos valores, podemos conocer el contenido de humedad de los diferentes suelos.

#### **2.2.2.1. Método estándar**

Este método utiliza consiste en realizar el secado de la muestra de suelo en un horno estandarizado, manteniendo una temperatura de 100° C por un tiempo de 24 horas, es un método que da resultados muy precisos.

#### **2.2.2.2. Método de la hornalla**

Este método consiste en realizar el secado del material utilizando una hornalla por un tiempo de 30 minutos, se considera que la muestra ya está totalmente seca cuando al

instalar un vidrio encima de la muestra, esta no adquiere vapor, si se utiliza este procedimiento se deberá realizar una corrección por el método estándar.

#### **2.2.2.3. Método del alcohol**

Consiste en aplicar alcohol a la muestra de suelo hasta saturarle completamente, entonces se le prende fuego y esperar que la muestra se seque, este procedimiento se debe repetir por lo menos dos veces.

### **2.3. GRANULOMETRÍA DE LOS SUELOS**

En los comienzos de la investigación de las propiedades de los suelos se creyó que las propiedades dependían directamente de la distribución de las partículas constituyentes según tamaños; por ello era preocupación especial de los ingenieros la búsqueda de métodos adecuados para obtener tal distribución.

Solamente en suelos gruesos, cuya granulometría puede determinarse por mallas, la distribución por tamaños puede revelar algo de lo referente a las propiedades físicas del material, la experiencia indica que los suelos gruesos bien graduados, es decir, con amplia gama de tamaños, tienen comportamiento ingenieril más favorable, en lo que se refiere a algunas propiedades importantes, que los suelos de granulometría muy uniforme presentan.

#### **2.3.1. Sistemas de clasificación de suelos basados en criterios de granulometría**

Los límites de tamaño de las partículas que constituyen un suelo, ofrecen un criterio obvio para una clasificación descriptiva del mismo.

Tal criterio fue usado en mecánica de suelos desde un principio e incluso antes de la etapa moderna de esta ciencia. Originalmente, el suelo se dividía únicamente en tres o cuatro fracciones debido a lo engorroso de los procedimientos disponibles de separación por tamaños.

Posteriormente, con la aparición de la técnica del cribado, fue posible efectuar el trazo de curvas granulométricas, contando con agrupaciones de las partículas del suelo en mayor número de tamaños diferentes. Actualmente se pueden ampliar notablemente las curvas en los tamaños finos, gracias a la aplicación de técnicas de análisis de suspensiones.

- **Clasificación internacional**

**Tabla 2 Tamaño de partículas del suelo finos**

Tamaño en mm				
2.0	0.2	0.02	0.002	0.0002
<i>Arena gruesa</i>	<i>Arena fina</i>	<i>Limo</i>	<i>Arcilla</i>	<i>Ultra-Arcilla (coloides)</i>

*Fuente: G.Gilboy y adoptada por Massachusetts Institute of Technology*

**Tabla 3 Clasificación de suelos finos.**

Tamaño en mm								
2.0	0.6	0.2	0.06	0.02	0.006	0.002	0.0006	0.0002
<i>Gruesa</i>	<i>Media</i>	<i>Fina</i>	<i>Grueso</i>	<i>Medio</i>	<i>Fino</i>	<i>Gruesa</i>	<i>Media</i>	<i>Fina (coloides)</i>
<b>ARENA</b>			<b>LIMO</b>			<b>ARCILLA</b>		

*Fuente: G.Gilboy y adoptada por Massachusetts Institute of Technology*

### 2.3.2. Análisis mecánico del suelo

El análisis mecánico es la determinación del rango del tamaño de partículas presentes en un suelo, expresado como un porcentaje del peso (o masa) seco total. El análisis con cribado se usa para tamaños de partículas mayores de 0.075 mm de diámetro. El análisis por cribado consiste en sacudir la muestra de suelo a través de un conjunto de mallas

que tienen aberturas progresivamente más pequeñas, este proceso se utilizará para realizar la caracterización de las muestras o suelos a utilizar en el proyecto.

**Fig. 1 Juego de tamices para el análisis granulométrico del suelo**



*Fuente: Elaboración propia*

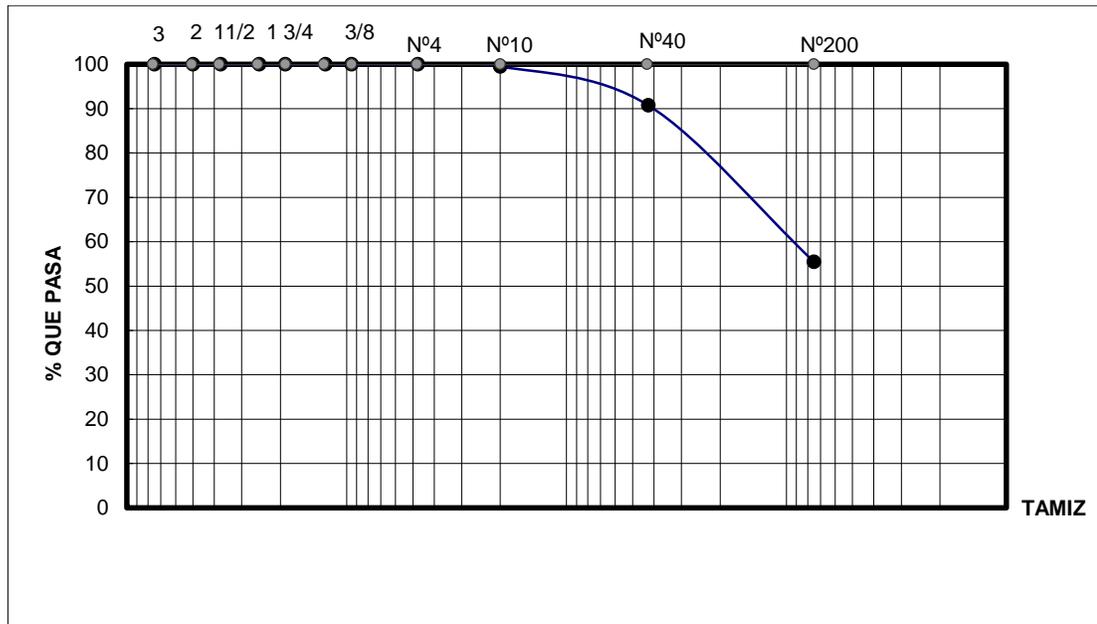
### **2.3.2.1. Curva de distribución granulométrica**

Los resultados del análisis mecánico (análisis por cribado) se presentan generalmente en gráficas semilogarítmicas como curvas de distribución granulométrica (o de tamaño de grano). Los diámetros de las partículas se grafican en escala logarítmica y el porcentaje correspondiente de finos en escala aritmética.

Se utilizarán estas gráficas o curvas también para caracterizar el material que se va a utilizar.

Siempre que se cuente con suficiente número de puntos, la representación gráfica de la distribución granulométrica debe estimarse preferentemente en tablas.

**Fig. 2 Ejemplo de curva granulométrica**



*Fuente: Elaboración Propia*

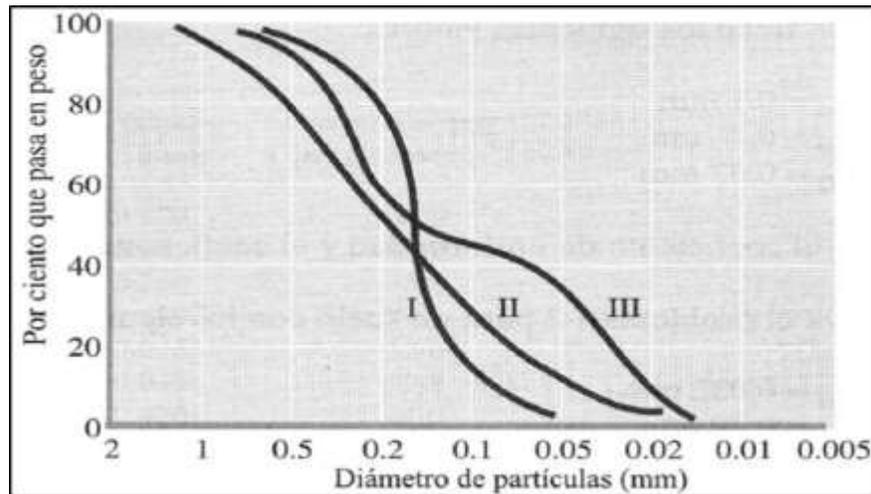
La curva de distribución granulométrica muestra no sólo el rango de los tamaños de partículas presentes en un suelo, sino también la distribución de varios tamaños de partículas.

Esas curvas se muestran en la figura 3. La curva I representa un tipo de suelo en el que la mayoría de los granos son del mismo tamaño, y se le llama **suelo mal graduado**.

La curva II representa un suelo en el que los tamaños de las partículas están distribuidos sobre un amplio rango y se le llama **bien graduado**.

Un suelo puede tener una combinación de dos o más fracciones uniformemente graduadas.

La curva III representa tal suelo y se le llama de **granulometría discontinua**.

**Fig. 3 Tipos de curvas granulométricas**

*Fuente: Braja M. Das*

#### 2.4. LÍMITES DE ATTERBERG

Existen suelos que al ser remodelados, cambiando su contenido de agua si es necesario, adoptan una consistencia característica, que desde épocas antiguas se ha denominado Plástica.

Estos suelos han sido llamados arcillas, originalmente por los hombres dedicados a la cerámica; este término pasó a la mecánica de suelos, en épocas más recientes, con idéntico significado.

La plasticidad es, en este sentido, una propiedad tan evidente que ha servido para clasificar suelos en forma puramente descriptiva, pronto se reconoció que existía una relación específica entre la plasticidad y las propiedades fisicoquímicas determinantes del comportamiento mecánico de las arcillas.

En este momento la plasticidad se convirtió en una propiedad ingenieril de interés científico estricto, dejando de ser una cualidad puramente descriptiva o de trabajabilidad en cerámica, las investigaciones posteriores han probado que la

plasticidad de un suelo es debida a su contenido de partículas más finas de forma laminar.

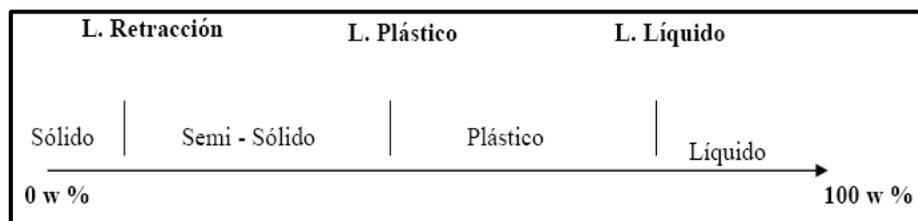
#### 2.4.1. Definición de límites

Los límites de Atterberg o también llamados límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan.

Un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico y líquido o viscoso. La arcilla, por ejemplo, si está seca se encuentra muy suelta o en terrones, añadiendo agua adquiere una consistencia similar a una pasta, y añadiendo más agua adquiere una consistencia fluida.

Cada uno estos cambios o estados varían según el contenido de humedad.

**Fig. 4 Variación de plasticidad según el contenido de humedad**



*Fuente guía de laboratorio*

#### 2.4.2. Estados de consistencia

Para medir la plasticidad de las arcillas se han desarrollado varios criterios, de los cuales uno solo, el debido a Atterberg, se mencionara.

Atterberg hizo ver que, en primer lugar, la plasticidad no era una propiedad permanente de las arcillas, sino circunstancial y dependiente de su contenido de agua. Una arcilla

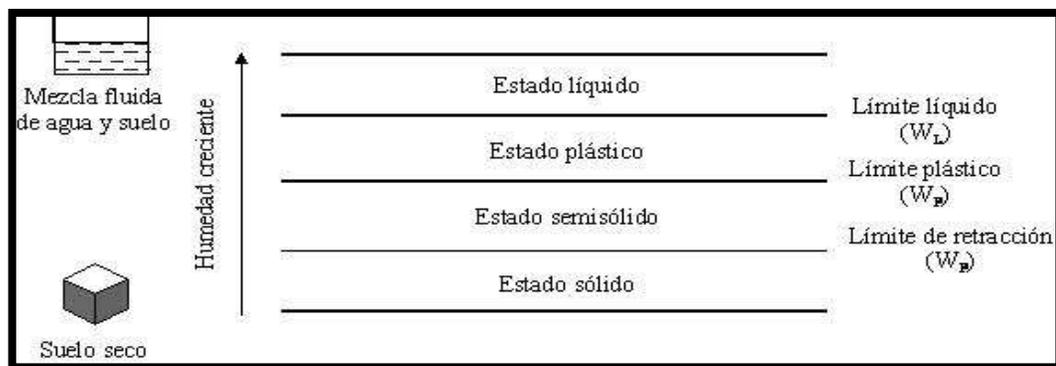
muy seca puede tener la consistencia de un ladrillo, con plasticidad nula, y esa misma, con gran contenido de agua, puede presentar las propiedades de un lodo semilíquido o, inclusive, las de una suspensión líquida.

Entre ambos extremos, existe un intervalo del contenido de agua en que la arcilla se comporta plásticamente, en segundo lugar, Atterberg hizo ver que la plasticidad de un suelo exige, para ser expresada en forma conveniente, la utilización de dos parámetros en lugar de uno solo, como hasta su época se había creído, además, señaló esos parámetros y un modo tentativo, hoy perfeccionado, de evaluarlos.

Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados de consistencia, definidos por Atterberg.

- Estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
- Estado plástico, en que el suelo se comporta plásticamente
- Estado semisólido, en el que el suelo tiene la apariencia de un suelo, pero aun disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- Estado sólido, en que el volumen del suelo no varía con el secado.

**Fig. 5 Estados de consistencia**



*Fuente: Braja M. Das*

### 2.4.3. Plasticidad de los suelos

Se denomina plasticidad de suelos al rango de contenido de humedad de un suelo, el cual soporta deformaciones pero sin agrietarse, también es llamado índice de plasticidad y su cálculo se determina mediante la diferencia entre el límite líquido y límite plástico.

#### 2.4.3.1. Límite líquido

A la frontera entre el límite plástico y líquido se le llama límite líquido y se determina midiendo la humedad que contiene el suelo cuando con 25 golpes se cierra una ranura hecha a una muestra humedad de suelo en el aparato de Casagrande normalizado.

**Fig. 6 Copa de casa grande**



*Fuente: Elaboración propia*

#### 2.4.3.2. Límite plástico

La frontera entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico, y se obtiene midiendo el contenido de humedad del suelo cuando comienzan a agrietarse pequeños cilindros de suelo de 3 mm de diámetro.

**Fig. 7 Prueba del límite plástico**



*Fuente: Elaboracion propia*

#### 2.4.3.3. Índice de plasticidad

Es la diferencia entre el límite líquido y límite plástico, es un valor que nos da una referencia del rango de plasticidad que presentan los suelos.

#### 2.4.4. Utilización práctica de los límites de Atterberg

Los límites de Atterberg pertenecen, junto al análisis granulométrico, al tipo de ensayos de identificación. Pero, si el análisis granulométrico nos permite conocer la magnitud cuantitativa de la fracción fina, los límites de Atterberg nos indican su calidad, completando así el conocimiento del suelo. Frecuentemente se utilizan los límites directamente en las especificaciones para controlar los suelos a utilizar en terraplenes.

## 2.5. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

La clasificación de los suelos se realiza para diferenciar un suelo de otro, ya sea mediante el tamaño de sus partículas, el comportamiento plástico que presentan y otras características, las clasificaciones usadas en el proyecto fueron, clasificación SUCS Y AASHTO puesto que son normas internacionales adoptadas en nuestro sistema por la NORMAL BOLIVIANA DE CARRETERAS (ABC)

### 2.5.1. Clasificación SUCCS.

El **Sistema Unificado de Clasificación de Suelos - SUCS (Unified Soil Classification System (USCS))** es un sistema de clasificación de suelos usado en ingeniería y geología para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se representa mediante un símbolo con dos letras. Cada letra es descrita debajo (con la excepción de **Pt**). Para clasificar el suelo hay que realizar previamente una granulometría del suelo mediante tamizado u otros. También se le denomina clasificación modificada de Casagrande. Dicha clasificación se vale de unos símbolos de grupo, consistentes en un prefijo que designa la composición del suelo y un sufijo que matiza sus propiedades. En el siguiente esquema se muestra dichos símbolos y su significación:

**Tabla 4 Símbolos de grupo según clasificación SUCS**

Símbolos de grupos (SUCS)			
Tipo de suelo	Prefijo	Subgrupo	Sufijo
Grava	G	Bien graduado	W
Arena	S	Pobrementemente graduado	P
Limo	M	Limoso	M
Arcilla	C	Arcilloso	C
Orgánico	O	Limite liquido alto(>50)	L
Turba	Pt	Limite liquido bajo(<50)	H

*Fuente: Guía de laboratorio de suelos.*

En función a estos símbolos, pueden establecerse diferentes combinaciones que definen uno y otro tipo de suelo, como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 5 Tipología de suelos según SUCS**

Símbolo	Características generales		
GP	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias	Bien graduadas
GM		(Finos<5%)	Pobrementemente graduadas
GC		Con finos	Componente limoso
GC		(Finos>12%)	Componente arcilloso
SW	ARENASS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias	Bien graduadas
SP		(Finos<5%)	Pobrementemente graduadas
SM		Con finos	Componente limoso
SC		(Finos>12%)	Componente arcilloso
ML	LIMOS	Baja plasticidad (LL<50)	
MH		Alta plasticidad (LL>50)	
CL	ARCILLAS	Baja plasticidad (LL<50)	
CH		Alta plasticidad (LL>50)	
OL	SUELOS ORGANICOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH		Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	RURBA	Suelos altamente orgánicos	

*Fuente: guía de laboratorio*

Como puede deducirse de la anterior tabla, existe una clara distinción entre tres grandes tipos de suelos:

- Suelos de grano grueso (G y S): Formados por gravas y arenas con menos del 50% de contenido en finos, empleando el tamiz #200 ASTM
- Suelos de grano fino (M y C): Formado por suelos con al menos el 50% de limos y arcillas.
- Suelos orgánicos (O, Pt): Constituidos fundamentalmente por materia orgánica. Son inservibles como terreno de cimentación.

Asimismo, dentro de la tipología expuesta pueden existir casos intermedios, empleándose una doble nomenclatura; por ejemplo, una grava bien graduada que contenga entre un 5 y un 12% de finos se clasificara como GW-GM.

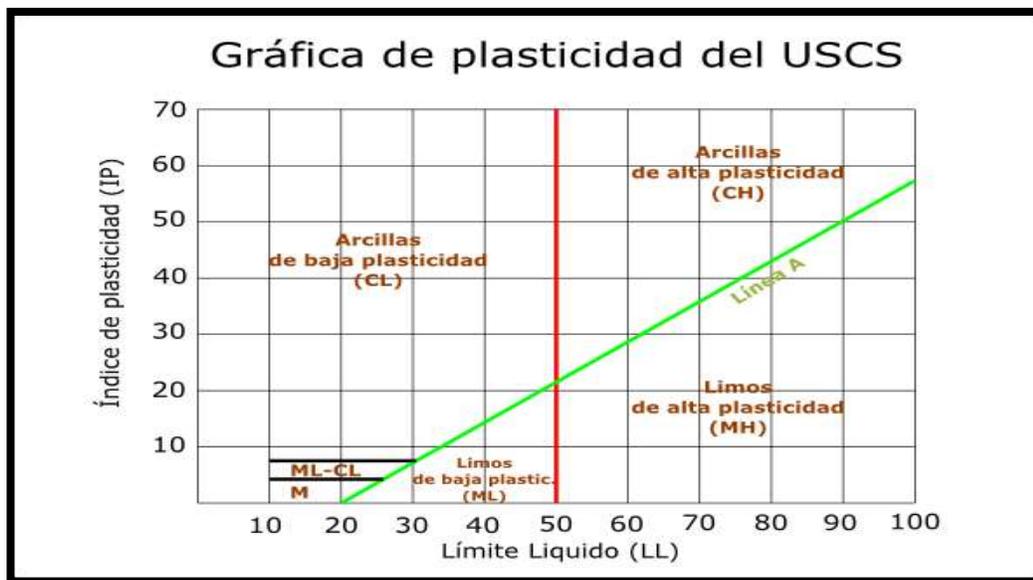
Tras un estudio experimental de diferentes muestras de suelo de grano fino. Casagrande consigue ubicarlos en un diagrama que relaciona el límite líquido (LL) con el índice de plasticidad (IP). En este diagrama, conocido como la **carta de Casagrande** de los suelos cohesivos, destacan dos grandes líneas que actúan a modo de límites:

Línea A:  $IP=0.73*(LL-20)$

Línea B:  $LL=50$

Como muestra la siguiente gráfica:

**Grafica. 1** Gráfica de plasticidad SUCS



*Fuente guía de laboratorio.*

### **2.5.2. Sistema de clasificación AASHTO**

De acuerdo con éste sistema de clasificación, el suelo se clasifica en siete grupos mayores: A-1 al A-7.

Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares, donde 35% o menos de las partículas pasan por la malla No. 200.

Los suelos de los que más del 35% pasan por la criba No. 200 son clasificados en los grupos A4, A-5, A-6 Y A-7. La mayoría están formados por materiales tipo limo y arcilla.

El sistema de clasificación se basa en los siguientes criterios:

#### **2.5.2.1. Tamaño del grano**

**Grava:** fracción que pasa la malla de 75 mm y es retenida en la malla No. 10 (2 mm)

**Arena:** fracción que pasa la malla No. 10 (2 mm) y es retenida en la malla No. 200 (0.075 mm)

**Limo y arcilla:** fracción que pasa la malla No. 200

#### **2.5.2.2. Plasticidad**

El término limoso se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor.

Si cantos rodados y boleas (tamaños mayores que 75 mm) están presentes, éstos se excluyen de la porción de la muestra de suelo que se está clasificando. Sin embargo, el porcentaje de tal material se registra.

**Tabla 6 Clasificación para suelos granulares mediante el sistema AASHTO**

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla No. 200)						
	A-1			A-2			
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b	A-3	A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis por cribado (porcentaje que pasa las mallas)							
No. 10	50 máx.						
No. 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
No. 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa la malla No. 40							
Límite líquido				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos							
	Fragmentos de piedra grava y arena		Arena fina	Grava y arena limosa o arcillosa			
Tasa general de los subrasantes				De excelente a bueno			

*Fuente: Guía de laboratorio de suelos*

**Tabla 7 Clasificación para suelos finos mediante el sistema AASHTO**

Clasificación general	Materiales limo-arcilla (más del 35% de la muestra que pasa la malla No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7.5* A-7.6†
Análisis por cribado (porcentaje que pasa por las mallas)				
No. 10				
No. 40				
No. 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características de la fracción que pasa por la malla No. 40				
Límite líquido	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Tipos usuales de materiales componentes significativos				
	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Tasa general de los sobrantes			De mediano a pobre	
*Para A-7-5, $PI \leq LL - 30$				
†Para A-7-6, $PI > LL - 30$				

*Fuente: Guía de laboratorio de suelos*

Para clasificar un suelo de acuerdo con las anteriores tablas, los datos de prueba se aplican de izquierda a derecha. Por un proceso de eliminación, el primer grupo desde la izquierda en el que los datos de prueba se ajusten, es la clasificación correcta.

### **2.5.2.3. Índice de grupo**

Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras, se incorpora también un número llamado índice de grupo (GI) junto con los grupos y subgrupos del suelo. Este número se escribe en paréntesis después de la designación de grupo o de subgrupo.

El índice de grupo está dado por la ecuación:

$$GI = (F - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01 (F - 15) (PI - 10)$$

Dónde:

F = por ciento que pasa la malla No. 200

LL = límite líquido

P = índice de plasticidad

El primer término de la ecuación anterior, es decir,  $(F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)]$ , es el índice de grupo parcial determinado a partir del límite líquido.

El segundo término, es decir  $0, 01(F - 15)* (PI - 10)$ , es el índice de grupo parcial determinado a partir del índice de plasticidad.

#### **A continuación se dan algunas reglas para determinar el índice de grupo:**

1. Si la ecuación del índice de grupo da un valor negativo para GI, éste se toma igual a 0.
2. El índice de grupo calculado se redondea al número entero más cercano (Por ejemplo, GI = 3.4 se redondea a 3; GI = 3.5 se redondea a 4).
3. No hay un límite superior para el índice de grupo.

4. El índice de grupo de suelos que pertenecen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5, Y A-3 siempre es 0.

5. Al calcular el índice de grupo para suelos que pertenecen a los grupos A-2-6 y A-2-7, use el índice de grupo parcial para PI, o  $GI = 0.01 (F - 15) (PI - 10)$

En general, la calidad del comportamiento de un suelo como material para subrasantes es inversamente proporcional al índice de grupo.

### 2.5.3. Características de los suelos clasificados según el sistema AASHTO:

Toma en cuenta los materiales granulares Y finos, y son específicamente los siguientes:

- **Grupo A-1:**

Son mezclas bien graduadas, compuestas por piedra, grava, arena y poco o casi nada de material fino. Estos se subdividen a su vez en:

A-1-a.- Estos suelos son compuestos principalmente por gravas, con o sin partículas finas de granulometría bien definidas.

A-1-b.- Son arenas con o sin partículas finas de granulometría bien definidas.

- **Grupo A-2:**

Contiene menos del 35% de material fino, este se sub divide a su vez en:

#### **Subgrupo A-2-4 y A-2-5**

El contenido de material fino es menor o igual al 35%, la fracción que pasa el tamiz N°40, se comporta igual a los grupos A-4 y A-5 respectivamente.

Son gravas y arenas (arenas gruesas), que contienen limo y arcilla en cantidades reducidas, cuya plasticidad es baja, pero que excede al Grupo A-1, también incluye la arena fina con limos no plásticos.

**Subgrupo A-2-6 y A-2-7**

La única diferencia de los anteriores, es que la fracción que pasa el tamiz N°40, se comporta en plasticidad igual a los grupos A-5 y A-7.

- **Grupo A-3:**

Son arenas finas conteniendo limos no plásticos, algunas veces pueden contener poca grava y arena gruesa.

- **Grupo A-4:**

Son suelos limosos, poco o nada plásticos, puede contener más de un 75% del material que pasa el tamiz N°200.

- **Grupo A-5:**

Son suelos similares al anterior, pero contiene un material micáceo, que hace que el límite líquido a veces sea elevado, además de aparecer una propiedad elástica rara en los suelos.

- **Grupo A-6:**

Predomina la arcilla, más del 75% del material pasa el tamiz N°200, este suelo suele contener pequeños porcentajes de arena fina y limo, cuyas características son absorbidas por el gran porcentaje de arcilla.

- **Grupo A-7:**

Se parecen mucho al A-6, pero estos tienen propiedades elásticas, además su límite líquido casi siempre es elevado.

**Subgrupo A-7-5:** Sus índices de plasticidad no son muy altos con respecto a sus límites líquidos.

**Subgrupo A-7-6:** Sus índices de plasticidad son muy elevados con respecto a sus límites líquidos, además presentan grandes cambios de volumen entre sus estados seco y húmedo.

## **2.6. COMPACTACIÓN DE SUELOS**

### **2.6.1. Generalidades**

En la construcción de terraplenes para carreteras, presas de tierra y muchas otras estructuras de la ingeniería, los suelos sueltos deben ser compactados para incrementar sus pesos específicos. La compactación incrementa las características de resistencia de los suelos, aumentando así la capacidad de carga de las cimentaciones construidas sobre ellos.

La compactación disminuye también la cantidad de asentamientos indeseables de las estructuras e incrementa la estabilidad de los taludes de los terraplenes. Los rodillos de ruedas lisas, los rodillos patas de cabra, los rodillos con neumáticos de hule y los rodillos vibratorios son usados generalmente en el campo para la compactación del suelo. Los rodillos vibratorios se usan principalmente para la densificación de los suelos granulares.

Cuando se agrega agua al suelo durante la compactación, ésta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo, que hace que se deslicen entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso. El peso específico seco después de la compactación se incrementa primero conforme aumenta el contenido de agua.

Cuando el contenido de agua es gradualmente incrementado y se usa el mismo esfuerzo compactador para la compactación, el peso de los sólidos del suelo en un volumen unitario crece en forma gradual.

Más allá de un cierto contenido de agua, cualquier incremento en el contenido de agua tiende a reducir el peso específico seco, debido a que el agua toma los espacios que

podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas. El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo peso específico seco se llama contenido de agua óptimo.

### **2.6.2. Definición**

Se entiende por compactación de suelos a un proceso mecánico al cual se somete un determinado suelo para mejorar algunas características, como la resistencia, compresibilidad, y disminuir la deformación de dichos suelos provocados a causa de las cargas que puede llegar a soportar, esta compactación se la realiza expulsando el aire que se encuentra en el suelo y de esta manera reducir la cantidad de vacíos y lograr un acomodamiento de todas las partículas que conforman el suelo, aumentando su densidad, al realizar la compactación se eliminan los vacíos del suelo y generalmente no el agua que contiene el suelo.

### **2.6.3. Finalidad de la compactación.**

Una compactación puede seguir muchos objetivos, como ser que el suelo compactado adquiera una resistencia suficiente para resistir con seguridad el propio peso de alguna estructura civil o las cargas que transmiten las ruedas al suelo en una construcción vial.

También el suelo compactado no debe deformarse tanto, por efecto de las cargas que resiste, de manera que no se dañe dicho suelo ni la estructura que soporta, es decir, no debe retraerse ni exenderse excesivamente.

### **2.6.4. Grado de compactación.**

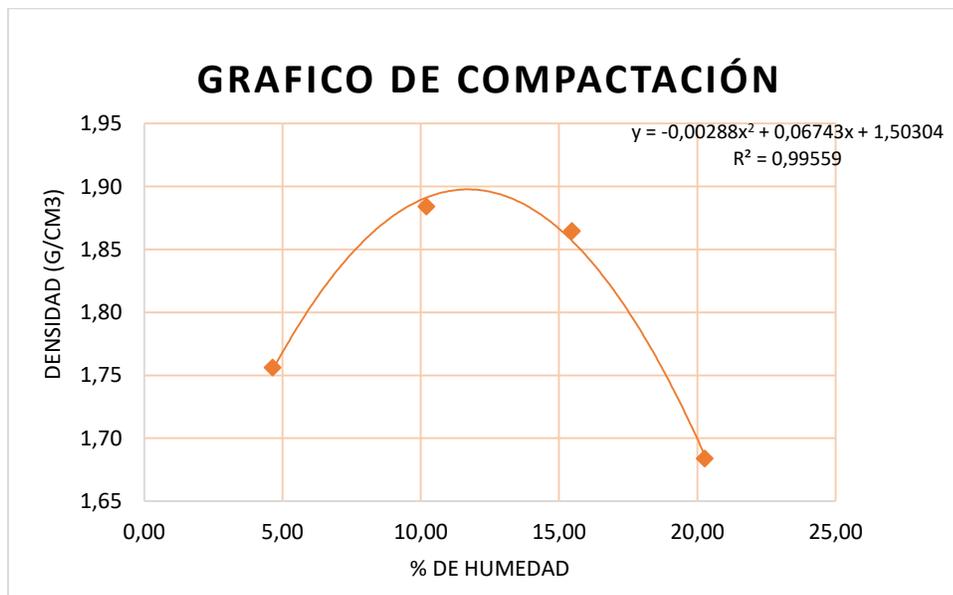
El grado de compactación de un suelo es la relación, en porcentaje, entre la densidad seca alcanzada en obra y la densidad máxima seca obtenida en laboratorio, esto para un mismo suelo, es decir, si nosotros realizamos la compactación en una vía y sacamos la densidad in situ de esa vía ya compactada, esa densidad deberá ser muy cercana o igual a la densidad máxima obtenida en laboratorio, el control en obra se hace generalmente realizando ensayos de determinación del grado compactación y comparando esos resultados con el porcentaje de requisito en las especificaciones de

una vía, como 90%,95%,100%,etc, esto depende del destino y la importancia de la obra.

### 2.6.5. Curva de compactación.

La curva de compactación de suelos es una gráfica que se dibuja en un eje de coordenadas, en la cual el eje de las abscisas van los valores de contenido de humedad de los suelos expresado en porcentaje y en el eje de las ordenadas van los valores correspondientes a la densidad seca máxima, dicha grafica es útil para conocer los valores máximos de humedad y densidad de un determinado suelo, una vez ya se haya realizado la compactación por métodos estandarizados, dicha grafica es la siguiente:

**Grafica. 2 Curva de compactación**



*Fuente: Elaboración propia*

#### 2.6.5.1. Humedad óptima

Es el contenido de agua bajo el cual un suelo alcanza la máxima densidad seca, un contenido de humedad mayor del óptimo tiende a reducir el peso específico seco,

debido a que el agua toma los espacios que podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas.

#### **2.6.5.2. Densidad seca máxima**

Es la densidad a la cual una muestra de suelo puede llegar a adquirir, siempre y cuando la compacten a la humedad óptima de dicho suelo.

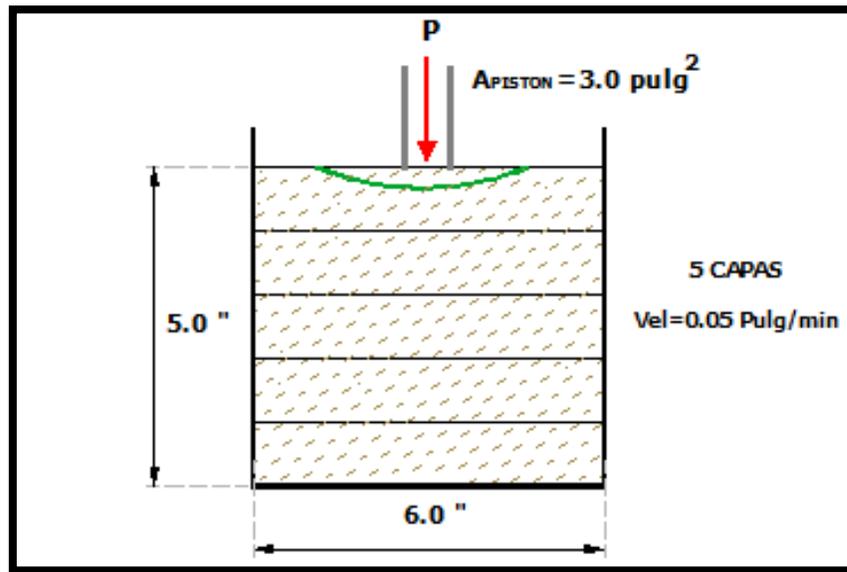
#### **2.6.5.3. Procedimientos para encontrar los valores máximos de la curva de compactación.**

Los valores máximos de la curva de compactación se pueden encontrar gráficamente por simple visualización, siempre y cuando las escalas utilizadas en cada uno de los ejes estén de acuerdo a los valores de dicha curva.

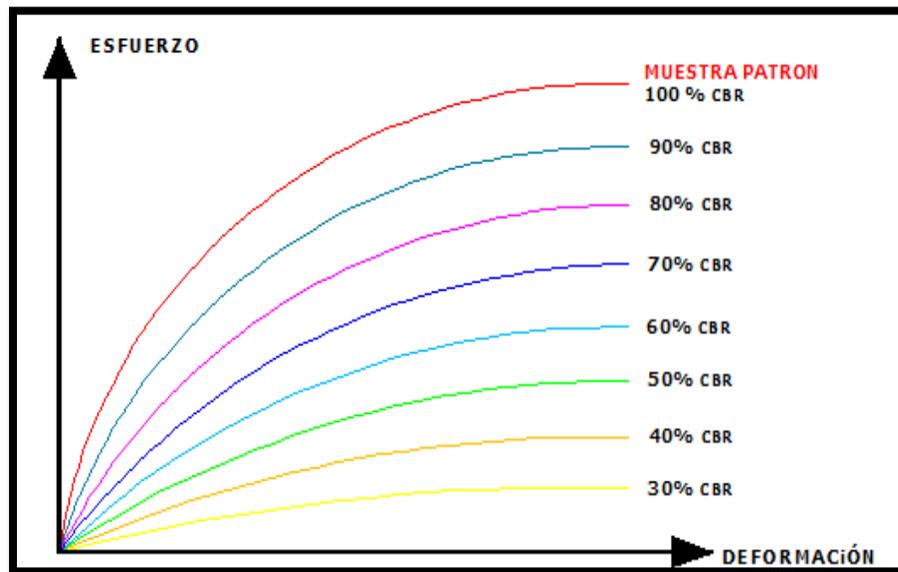
Para una mayor precisión se puede recurrir a la utilización de las derivadas, para ello es imprescindible conocer la ecuación de la curva de compactación, entonces por simple procedimiento de derivadas, donde la pendiente sea cero se encontrará el punto máximo.

### **2.7. ENSAYO CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)**

Es una medida indirecta de la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones controladas de densidad y humedad, valor que se expresa como una relación porcentual entre el esfuerzo requerido para penetrar un pistón de 3 Pulg<sup>2</sup> de área dentro de una probeta de suelo de 6 pulgadas de diámetro y 5 pulgadas de altura, la cual se penetra a una velocidad de 0.05 pulg/min; Y el esfuerzo requerido para introducir el mismo pistón hasta la misma profundidad en una **muestra patrón**.

**Fig. 8 Dimensiones del molde y del pistón**

*Fuente: Explanaciones y firmas*

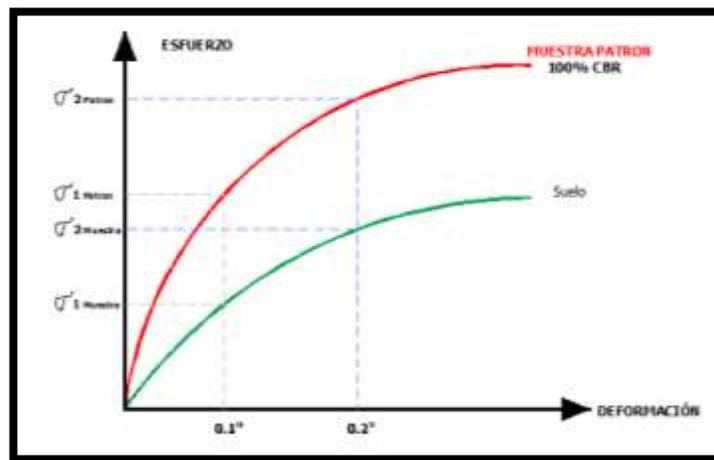
**Fig. 9 Esfuerzo y deformación**

*Fuente: Explanaciones y firmas*

Se toma como deformación máxima en el ensayo CBR, 0.5 pulgadas (1.25 mm), debido a que a esta magnitud de deformación plástica o mayor, se considera que el suelo ha fallado.

El valor de CBR en suelos no estabilizados, se determina a 0.1" y 0.2" de deformación, porque a esos niveles son las sollicitaciones normales que soportan los suelos

**Fig. 10 Esfuerzo y deformación del suelo**



*Fuente: Explanaciones y firmes*

$$CBR = \frac{\sigma_{0.1''} \text{ SUELO}}{\sigma_{0.1''} \text{ MUESTRA PÀTRON}} \qquad CBR = \frac{\sigma_{0.2''} \text{ SUELO}}{\sigma_{0.2''} \text{ MUESTRA PÀTRON}}$$

El ensayo de CBR (California Bearing Ratio), es el ensayo más importante en esta investigación ya que nos determina de forma directa los parámetros de resistencia del suelo, y los expresa en porcentaje.

## **2.8. ARENA TRITURADA**

### **2.8.1. Definición**

Se llama arena al conjunto de las partículas de rocas silíceas y de otro tipo de material que se suelen acumular a orillas de las costas y ríos. Estas partículas disgregadas, que miden entre 0.063 a 2 milímetros, reciben el nombre de granos de arena. En la investigación se utilizó arena triturada obtenida de la chancadora Erika.

En nuestra región se obtiene arena triturada también llamada piedra chancada de un proceso de trituración de piedra caliza que se obtiene de bancos ubicados a orillas de los ríos que conforman el departamento de Tarija.

En la investigación realizada, se usó ARENA TRITURADA RETENIDA EN EL TAMIZ #10. Dicha arena se clasifica como arena gruesa de un tamaño nominal de 2mm, sometido a tratamiento de trituración, dosificación por tamaños y/o lavado en operaciones mecanizadas. En la fragmentación artificial, las rocas son chancadas o trituradas en lugares llamados plantas de áridos. Las rocas utilizadas para la arena gruesa son normalmente de caliza, granito, basalto, dolomita y cuarzo, entre otras. En nuestro caso fue de piedra caliza.

### **2.8.2. Proceso de Trituración**

Partiendo desde su entorno, el área de estudio para el respectivo muestreo se ubica dentro del departamento de Tarija (Bolivia) en la zona sur (área rural) del Departamento de Tarija.

El banco de extracción se encuentra en la comunidad de Rancho Sur, en las riveras del río Guadalquivir, al lado del surtidor Moto Méndez, banco que pertenece a la empresa constructora “ERIKA”.

De este banco (CHANCADORA) se extrajo la arena triturada, material que la empresa comercializa para diferentes proyectos de construcción, en la siguiente figura se puede apreciar la ubicación satelital del banco de extracción de la arena Triturada.

**Tabla 8 Ubicación chancadora Erika**

Banco	Este	Norte
<b>Erika</b>	318167	7624482

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 11 Chancadora “Erika”**



*Fuente: Elaboración propia*

- **Acopio del Material:** El acopio del material es realizado en un banco ubicado a orillas del río Guadalquivir lado de la chancadora. Se selecciona en material bruto donde se procesa para distintos materiales que ofrece a la venta dicha chancadora “Erika”

- **Almacenamiento de la arena:**

El almacenamiento es realizado en un área destinada para la “ARENA TRITURADA” donde puede ser apreciada por el interesado en adquirirla.

- **Trituración**

El proceso de trituración es realizado en diferentes fases. Se inicia con el acopio luego se tritura por la chancadora y separa por una “zaranda” de 3/4” y 3/8” donde el material pasado por la malla 3/8” es lavado en un piscina y de ahí es dirigida a una chancadora llamada “dosificadora” la cual separa la arena de la gravilla.

**Fig. 12 Arena triturada**



*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 13 Dosificadora**

*Fuente: Elaboración propia*

## **2.9. SUBRASANTE**

Se define como la parte de la corteza terrestre, que le va a servir de soporte a la estructura del pavimento; puede ser sub-rasante natural (en el caso de los cortes), o constituirse en el sitio (artificial, para los terraplenes).

### **2.9.1. Estabilización del suelo**

Es de todos conocido la variabilidad y complejidad de los suelos. Sin embargo, debido a sus diversas utilidades, el ingeniero tiene grandes oportunidades para desarrollar sus habilidades, al utilizar a los suelos como un material ingenieril. (Del Castillo, 2008).

Desafortunadamente, en Bolivia existen muchos suelos que en su estado natural no son adecuados para su utilización en las obras por no reunir los requisitos especificados. En estos casos los ingenieros deberán tomar una de las tres decisiones siguientes

- Aceptar el material tal y como esta y efectuar el diseño de acuerdo con las restricciones impuestas por la calidad de la materia.
- Remover y desechar el suelo del lugar y sustituirlo por un suelo de características adecuadas.
- Alterar o cambiar las propiedades del material existente de tal manera que se obtenga un material que reúna la mejor forma los requisitos impuestos, o cuando menos que la calidad obtenida será adecuada.

El objetivo del presente trabajo es considerar solamente lo que representa a la **tercera decisión**, es decir, que nos referimos solamente a la que se conoce como Estabilización de Suelos.

Por tanto se denomina estabilización de suelos al proceso de someter a los suelos naturales a ciertos tratamientos para aprovechar sus mejores cualidades, siempre buscando una mejoría sustancial en el comportamiento esfuerzo-deformación de los suelos y/o de la estructura que se coloque sobre ellos, a lo largo de su vida útil ; obteniéndose una capa de asiento del firme estable y durable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones del clima más severas y por ende asegure geotécnicamente el comportamiento de la explanada.

Para el proceso de estabilización de los suelos existen dos opciones de ejecución, mezcla en central o plantas móviles y mezclas in situ.

Se define un suelo estabilizado “in situ” a la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con un agente estabilizante, y eventualmente agua, en la propia traza de la carretera, la cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua o aumentar su resistencia, para su uso en la formación de explanadas.

## **2.10. IMPORTANCIA DE LA ESTABILIZACIÓN DE LOS SUELOS**

Es importante la estabilización para mejorar varias propiedades esenciales de los suelos; pero también puede aparecer el caso de que algunas de estas propiedades lleguen a deteriorarse inmediatamente o con el paso del tiempo. Para evitar esta situación, es importante elegir o especificar un sistema de estabilización y ver que sea el más correcto posible. Además, es necesario determinar el porcentaje óptimo de estabilizante, y tener la seguridad que sea el adecuado para cada caso particular. Por otro lado es importante realizar la investigación del comportamiento de los materiales estabilizados, analizando a corto y largo plazo las propiedades que se mejoran y se mantienen al paso del tiempo, estando consientes del costo que implica la tarea, de las múltiples propiedades del suelo, las más importantes que se buscan mejorar con las estabilizaciones son las siguientes:

### **a) Disminuir la Plasticidad**

La plasticidad del suelo está relacionada con el concepto de límites de Atterberg, término conocido en la mecánica de suelos. Estos parámetros relacionan la capacidad que tienen los suelos cohesivos para adsorber agua sobre la superficie de sus partículas, ya que cuanto mayor es la cantidad de agua que contiene un suelo, menor es la interacción entre sus partículas adyacentes y más se aproxima el suelo en su comportamiento al de un material líquido; por lo tanto, una alteración en los valores de estos límites indicara una modificación del agua adsorbida por el suelo.

El término limoso se aplica cuando las fracciones de finos del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menor. El término arcilloso se aplica cuando las fracciones de finos tienen un índice de plasticidad de 11 o mayor (BRAJA M. DAS).

### **b) Estabilidad Volumétrica**

Esta propiedad se refiere al apreciable cambio de volumen que sufren los suelos, debido al cambio de humedad y los esfuerzos internos afectados por el agua.

Cuando un suelo saturado se seca, cambia su volumen (retracción). Esta pérdida de volumen se debe a la desecación ocurrida en el suelo, que provoca una modificación en la tensión capilar del menisco formado en cada, poro de la superficie. Luego se produce una tracción en el agua del suelo y la correspondiente compresión en la estructura del mismo, siendo ésta última bastante considerable e inclusive actúa como una carga en el mismo.

Se produce la expansión o hinchamiento cuando un suelo seco, cohesivo aumenta su humedad; este fenómeno se debe a diversos factores como la atracción del agua por los minerales arcillosos, la repulsión eléctrica de las partículas de arcilla y de sus cationes absorbidos.

La estabilidad volumétrica está íntimamente relacionada con la composición mineralógica de los suelos y los cambios climatológicos de la región, esta propiedad es propia de los suelos que contienen un alto porcentaje de minerales arcillosos.

La estabilidad volumétrica se modifica cementando el material de modo que disminuya la capacidad del material de absorber agua, siendo más efectivos en las arcillas profundas.

### **c) Compresibilidad**

La compresibilidad es una propiedad que está relacionada íntimamente con el cambio volumétrico del suelo, el cual se manifiesta a través de un asentamiento. Este asentamiento es producido por el peso propio del material o por cargas externas superficiales que originan un cambio en la relación de vacíos, flexión y la distorsión o, cambio de formas de la fase sólida del suelo inmediatamente debajo de la carga. Asimismo, la estructura de los sólidos especialmente en los puntos de contacto de un factor irreversible con la compresibilidad de todos los suelos no cohesivos. Sin embargo, en las arcillas el factor más importante de la compresibilidad es la repulsión eléctrica entre sus partículas que tienen cargas

iguales o, que están rodeadas de cationes con cargas semejantes que las mantienen apartadas.

La reducción de la compresibilidad del suelo puede lograrse llenando los poros del mismo, es decir, cementando los granos con un material rígido. Pero también, es posible reducir esta propiedad cambiando las fuerzas del agua absorbida por el mineral de arcilla.

En términos generales, todos los métodos de estabilización revisados en anteriores secciones pueden incluir en esta propiedad, pero frecuentemente la compactación y la estabilización química son las que más se utilizan.

#### **d) Resistencia o Capacidad Portante**

Esta propiedad se refiere a la capacidad que tiene el suelo de soportar cargas continuas de tráfico, para no sufrir fallas y deformaciones inadmisibles en su estructura.

En general, todas las formas de estabilización revisadas, pueden mejorar en mayor y menor grado de resistencia del suelo; pero mucho depende de la cantidad de materia orgánica que contiene el mismo.

### **2.11. TIPOS DE ESTABILIZACIÓN.**

Son muchos los procedimientos que pueden seguirse para lograr esa mejoría de las propiedades de los suelos, con vistas a hacerlos apropiados para algún uso específico, lo que constituye la estabilización. La siguiente lista de técnicas de estabilización no agota seguramente la amplia gama existente, aunque resume las más conocidas en nuestro medio.

- Estabilización mecánica
- Estabilización Física o granulométrica
- Estabilización química o por medios químicos

- Estabilización Físico-Química
- Estabilización por medios eléctricos

La gran variabilidad de los suelos y sus composiciones hacen que cada técnica de estabilización resulte sólo aplicable a un número limitado de tipo de ellos; en muchas ocasiones esa variabilidad se manifiesta a lo largo de algunos metros, en tanto que en otras a lo largo de algunos kilómetros, pero en cualquier caso suele ser frecuente que para aplicar una técnica de estabilización económicamente hayan de involucrarse varios tipos de suelos.

De esta manera una optimizada estabilización de suelos, abre la posibilidad de una utilización eficaz de los materiales locales, para la construcción y conservación de una vía

#### **2.12. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS FINOS DE LA SUBRASANTE**

La clasificación de los suelos se realiza en laboratorio, para lo cual se procede a la extracción de muestras. A tales efectos, se realiza una primera inspección visual para valorar la homogeneidad del tramo. Se determina la existencia de zonas heterogéneas o contaminadas con otros materiales. De resultar homogéneo el tramo, se extraerá como mínimo una muestra de cada doscientos a cuatrocientos metros. La cantidad de muestras a extraer, aumentará en tramos heterogéneos.

En nuestra investigación estudiaremos los suelos de subrasantes que se encuentran ubicados en el barrio Monterrey final colon donde se está haciendo la apertura de caminos y nuevas urbanizaciones y barrios, donde se apreció bastante suelo arcilloso y limoso con las características que abarcan nuestro estudio.

**Fig. 14 Extracción de muestras**



*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 15 Calicata realizada en camino yesera sud – calderas muestra 1**



*Fuente: Elaboración propia*

## **2.13. MEJORAMIENTO DE SUBRASANTES DE SUELOS FINOS.**

### **2.13.1. Procesos de Tratamiento de Suelos Finos**

Los dos primeros grandes grupos de soluciones citados anteriormente incluyen todas las posibles actuaciones que conllevan la manipulación de los suelos para su adaptación a las necesidades constructivas. En estos grupos se centra el presente documento y por tanto, el contenido que se detalla a continuación.

Los principales mecanismos que se aplican para el tratamiento de los suelos arcillosos y la reducción de sus efectos perjudiciales sobre las construcciones se pueden agrupar en actuaciones mediante procesos físicos o procesos químicos.

Los más frecuentes son los siguientes:

#### **Procesos físicos:**

- Sustitución por materiales menos sensibles
- Mezcla con otros materiales
- Re compactación de los suelos
- Control de las condiciones de humedad

A continuación se describen someramente los procesos mencionados como paso de entrada al tema que afecta en más profundidad este documento que es la estabilización de suelos mediante arena triturada basándonos en la estabilización mediante procesos físicos, mezcla de otros materiales.

#### **2.13.1.1. Mezcla con Otros Suelos o Materiales**

Una segunda solución frecuente para la problemática de los suelos arcillosos es su mezcla mecánica con otro tipo de suelo o material para modificar sus características.

Estas mezclas suelen realizarse con suelos arenosos o en general, granulares, en nuestro caso utilizaremos arena triturada retenida en el tamiz °N 10, ya que tienen propiedades similares. El proceso se basa fundamentalmente en la alteración granulométrica del suelo mediante la adición de partículas de arena gruesa y la consiguiente dilución del efecto de las partículas finas características de los suelos finos.

Con estas mezclas, convenientemente estudiadas, se eliminan fundamentalmente los efectos de plasticidad y de higroscopicidad que afectan al comportamiento mecánico de los suelos arcillosos, en especial, a su dependencia del nivel de humedad. También se aumenta con este efecto la componente de fricción o rozamiento entre partículas que contribuye a la capacidad portante o resistente de los suelos. Esta componente es menos sensible a la presencia de agua que la cohesión entre partículas, por lo que otro de los efectos conseguidos es una mayor resistencia y más estabilidad de la misma.

#### **2.14. ANÁLISIS DE REGRESIÓN ESTADÍSTICA**

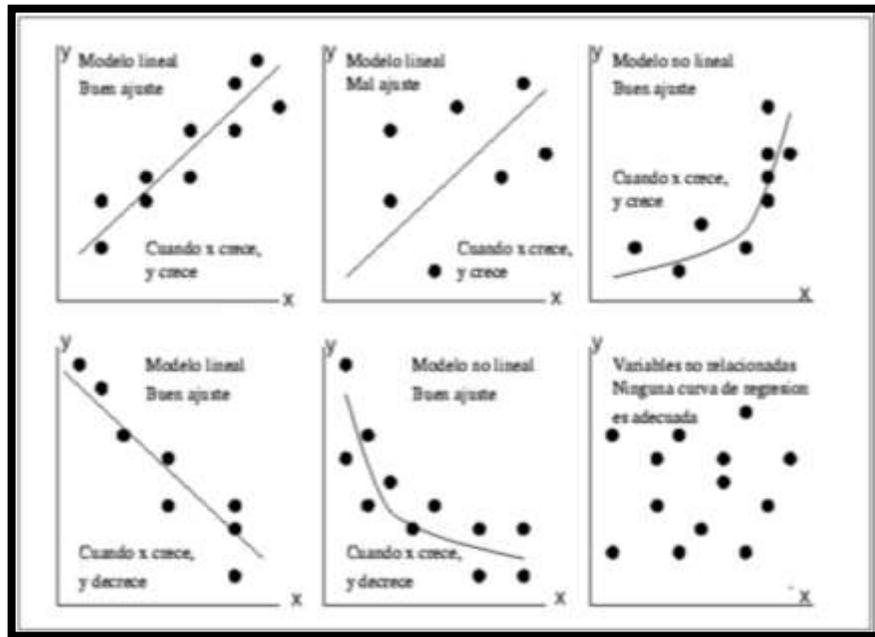
“El análisis de regresión es una técnica estadística para investigar y modelar la relación entre variables. En nuestro caso las variables fueron definidas como las 2 muestras de cada tramo.

El análisis de regresión emplea diferentes métodos que permiten determinar la mejor relación funcional entre variables, estudiando el grado de asociación entre estas y su forma de relación. La forma más intuitiva de formarse una primera impresión sobre el tipo de relación que existe entre dos variables es a través del diagrama de dispersión.

El objetivo de la regresión es determinar una función matemática sencilla (modelo) que describa el comportamiento de una variable dados los valores de otra u otras variables. En esta investigación se utiliza modelos de regresión para determinar el

comportamiento del valor de CBR a partir de los valores de CBR de sub rasantes de 2 muestras de suelo diferente de un tramo en estado natural y sometido a 4 diferentes dosificaciones con arena triturada.

**Fig. 16 Diagramas de dispersión.**



*Fuente: William Albeiro Rivero Mena (Correlacion del valor de CBR con la resistencia a la compresion inconfnada y la plasticidad del suelo)*

### 2.14.1. Regresion lineal simple

El modelo de regresión lineal simple es un modelo con un solo regresor o una sola variable independiente , que tiene relación con una respuesta , donde la relación es una línea recta. Este modelo está dado por la ecuación:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i$$

Donde

$\beta_0$ = Ordenada al origen

$\beta_1$ = Pendiente de la recta

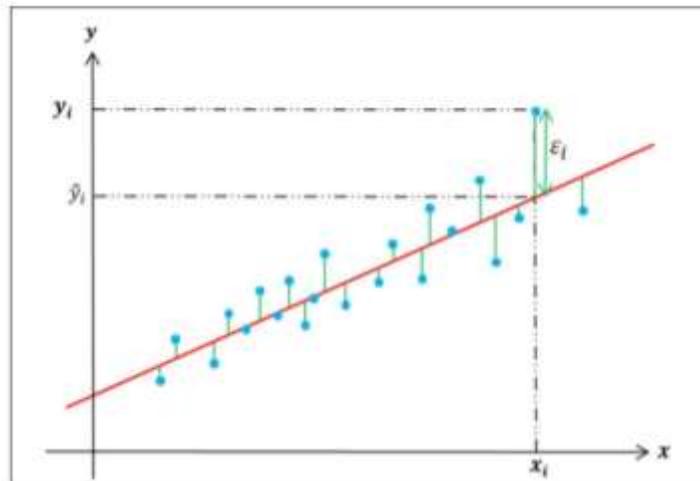
$\varepsilon_i$  = Componente o predictora

y  $y_i$ = Variable dependiente o respuesta

- Criterio de mínimos cuadrados

Es el procedimiento para ajustar una línea recta a un conjunto de datos presentados en un diagrama de dispersión, para estimar los valores  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  de tal manera que la suma de los cuadrados de las diferencias entre las observaciones  $y_i$  y la línea recta sea mínima.

**Fig. 17 Métodos mínimos cuadrados.**



*Fuente: William Albeiro Rivero Mena (Correlacion del valor de CBR con la resistencia a la compresion inconfiada y la plasticidad del suelo)*

Los estimadores por mínimos cuadrados de  $\beta_0, \beta_1$  se designan como  $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1$  y se obtienen:

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$$

$$a) \quad \hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i)}{n}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}} = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

Donde  $\bar{x}, \bar{y}$  son las medias muestrales de cada grupo de datos (promedio aritmético) y son definidas como.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

n=es la cantidad de datos de cada muestra

Simplificando la ecuación a)

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Por lo tanto la recta ajustada es:

$$\hat{y}_i = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \bar{x}_i$$

La diferencia entre el valor observado  $y_i$  y el valor ajustado  $\hat{y}_i$  se llama residual o error y se expresa:

$$e = y - \hat{y}$$

Por lo tanto, la suma de cuadrados total es

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 + \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

$$SCT = SCR + SCE$$

Donde:

SCT= suma de cuadrados del total, mide la dispersión (variación total) en los valores observados de  $y$

SCR= suma de cuadrados debido a la regresión, mide la variabilidad total en los valores observados de  $y$  en consideración a la relación lineal entre  $x$  e  $y$ .

SCE= suma de cuadrados residual (suma de cuadrados del error,) mide la dispersión de los valores  $y$  observados respecto a la recta de regresión.

### 2.14.2. Coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

El coeficiente  $R^2$  mide el porcentaje de variación en la variable respuesta, explicada por la variable independiente y está dado por la siguiente ecuación:

$$R^2 = \frac{SCR}{SCT} = 1 - \frac{SCE}{SCT}; 0 \leq R^2 \leq 1$$

Donde  $Cov(x,y)$  es la covarianza, definida por

$$Cov_{(x,y)} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}$$

$S_x$ ,  $S_y$  son las desviaciones estándar muestrales, definidas así:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n - 1}}$$

Si  $r = -1$  existe una relación lineal negativa perfecta entre  $x$  e  $y$ , si  $r = 1$  existe una relación lineal positiva perfecta entre  $x$  e  $y$ , si  $r = 0$  no existe ninguna relación lineal entre  $x$  e  $y$ .

### **CAPÍTULO III**

#### **ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE UN SUELO FINO AL COMBINARLO CON DEFERENTES PORCENTAJES DE ARENA TRITURADA**

##### **3.1 TRAMOS EN ESTUDIO**

Para el proyecto de investigación se seleccionó tramos que se encuentren en el área rural del departamento de Tarija, esto debido a que estos tramos presentan dificultades de transpirabilidad en épocas más desfavorables (época de lluvias), estos caminos de tierra sufren cambios debido a su composición de suelos finos no permiten la transpirabilidad vehicular en esta época del año.

Se seleccionó 6 tramos en el área rural cercanas a la ciudad de Tarija, los mismos que presentan ciertos grados inestabilidad en épocas de lluvia.

A continuación se describirá los tramos seleccionados para el estudio de investigación con el cual se pretende mejorar sus propiedades mecánicas de los suelos inestables.

**Tabla 9 Tramos para el estudio de investigación**

Nº Tramo	Comunidades donde se ubica el tramo
1	Sella Méndez-Sella Quebrada
2	Chaupicancha- Cirminuelas
3	San Pedro- Rumicancha
4	Yesera Sud- Calderas
5	Carlazo – Hoyaditas
6	Chocloca – Huayco Grande

*Fuente: Elaboración propia*

Cabe hacer notar que la selección de los tramos se lo realizo después de hacer una inspección visual a varios tramos cercanos a la ciudad de Tarija, de los cuales se selección aquellos que presentaron visualmente composición de suelos finos, o arcillosos expansivos, los cuales sabemos que por teoría son desfavorables en época de lluvias.

### 3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRAMOS EN ESTUDIO

A continuación se procederá a describir los tramos que serán sujetos a estudios en laboratorio de suelos, estos tramos de caminos de tierras descritos anteriormente se procederá a describirlos, empezando por la ubicación, longitud de tramo y las coordenadas exactas del punto de extracción de muestra para analizar en laboratorio.

Los tramos seleccionados para nuestro trabajo de investigación en el momento de la inspección visual presentan ciertos deterioros superficiales, de tal motivo se los considero como tramos que en un futuro se los podría mejorar con nuestro trabajo de investigación, siempre y cuando este estudio resulte favorables a la hipótesis planteada.

También resaltar que los tramos seleccionados son caminos rurales en los cuales en su mayoría de los casos están distantes del centro de la ciudad por lo cual son olvidados por las autoridades encargadas del mantenimiento correspondiente, esto hace que con el pasar del tiempo sufran deterioros mayores y no permitan la transpirabilidad en épocas de mucha lluvia, perjudicando al usuario de trasportar sus productos de cosecha en la temporada más abundante del año.

Para cumplir este requisito se izó uso del software llamado Google earth, para medir la longitud aproximada del tramo de la comunidad, como también la captura correspondiente del sector donde se ubica.

Para la obtención de coordenadas del punto donde se extrajo la muestra se utilizó un navegador GPS, el cual nos da coordenadas aproximadas del punto de nuestro interés

### **3.2.1 Tramo N° 1 (Sella Méndez- Sella Quebradas)**

Este tramo se encuentra ubicado en la provincia Méndez de la ciudad de Tarija, comunica a sella Méndez con la comunidad de Sella Quebradas, cuenta con una longitud de 4.30 km, según consulta a comuneros del lugar pudimos establecer el punto de inicio en la iglesia de San Antonio de la comunidad de sella Méndez, siendo este nuestra progresiva 0+000.

En este tramo se levantó dos muestras para el análisis en laboratorio las cuales esta ubicadas según la siguiente descripción en tabla.

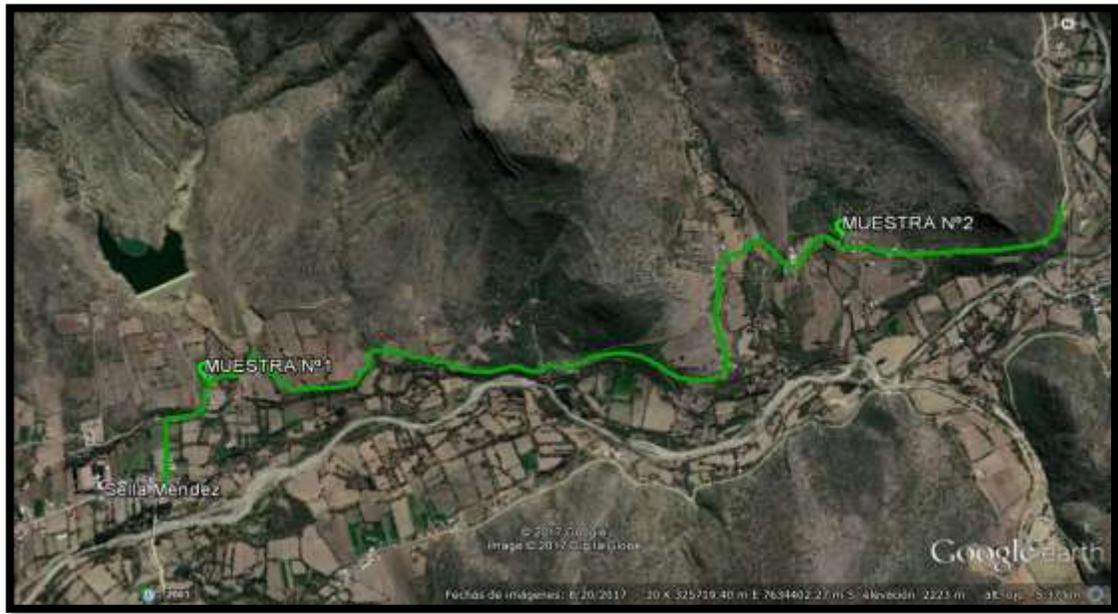
**Tabla 10 Ubicación de muestras tramo Sella Méndez-Sella Quebradas**

Muestra	Progr.	Este	Norte
<b>Muestra N.º 1</b>	0+230	324468	7634245

<b>Muestra N.º 2</b>	3+212	326666	7634527
----------------------	-------	--------	---------

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 18 Tramo Sella Méndez-Sella Quebradas**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.2 Tramo N° 2 (Chaupicancha- Cirminuelas)

Este tramo se encuentra ubicado en la provincia Méndez de la ciudad de Tarija, es la continuación del tramos de Sella Las Quebradas, para distinguirlo establecimos la progresiva 0+000 en el cruce del río sella quebradas.

Este tramo de camino de tierra tiene una longitud promedio de 6.633 km desde el cruce del río sella hasta empalmar con la comunidad de Cirminuelas.

En este tramo se levantó dos muestras para el análisis en laboratorio las cuales esta ubicadas según la siguiente descripción en tabla.

**Tabla 11 Ubicación de muestras tramo Chaupicancha - Cirminuelas**

Muestra	Progr.	Este	Norte
---------	--------	------	-------

<b>Muestra N.º 1</b>	3+305	328028	7639400
<b>Muestra N.º 2</b>	5+442	328386	7640899

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 19 Tramo Chaupicancha - Cirminuelas**



*Fuente: Elaboración propia*

### **3.2.3 Tramo N° 3 (San Pedro – Rumicancha)**

Este tramo tiene su inicio en la comunidad de monde sud, a unos 500 metros de la parada de micros de la línea D, es una derivación del a carretera asfaltada que comunica a las comunidades de monte sud, monte centro y al mismo tiempo comunica a sella cercado con la ciudad de Tarija.

Este tramo de camino de tierra tiene una longitud aproximada de 14.582 km desde el cruce de la carretera asfaltada hasta el cementerio de sella quebradas.

En este tramo se levantó dos muestras para el análisis en laboratorio las cuales esta ubicadas según la siguiente descripción en tabla.

**Tabla 12 Ubicación de muestras tramo San Pedro - Rumicancha**

Muestra	Progr.	Este	Norte
<b>Muestra N°1</b>	2+642	324575	7623646
<b>Muestra N°2</b>	4+523	325562	7625367

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 20 Tramo San Pedro - Rumicancha**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.4 Tramo N° 4 (Yesera Sud- Calderas)

Este tramo se encuentra ubicado en la provincia Cercado de la ciudad de Tarija, este tramo tiene su inicio en la comunidad de yesera sud a la altura de pampa grande de la nueva carretera que comunica a las comunidades de yesera centro y yesera norte.

Este tramo de camino de tierra tiene una longitud promedio de 7,76 km desde la carretera asfaltada hasta la comunidad de Calderas al centro.

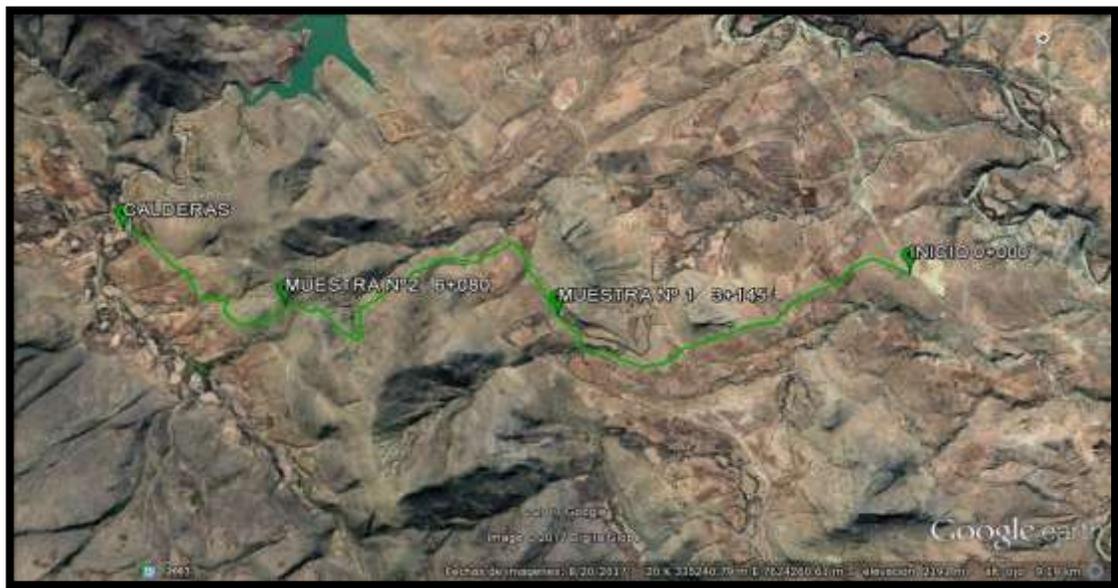
En este tramo se levantó dos muestras para el análisis en laboratorio las cuales esta ubicadas según la siguiente descripción en tabla.

**Tabla 13 Ubicación de muestras tramo Yesera Sud- Calderas**

Muestra	Progr.	Este	Norte
<b>Muestra N°1</b>	3+145	335088	7624201
<b>Muestra N°2</b>	6+080	333953	7625809

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 21 Tramo Yesera Sud- Calderas**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.5 Tramo N° 5 (Carlazo- Hoyaditas)

Este tramo se encuentra ubicado en la provincia Ocoonor de la ciudad de Tarija, este tramo de camino de tierra comunica a las comunidades de Carlazo con la comunidad de Hoyaditas, las mismas que se ubican al margen derecho de la carretera al Chaco.

Este tramo de camino de tierra tiene una longitud promedio de 5,642 km desde el cruce de la carretera que va al chaco hasta empalmar con la comunidad de Hoyaditas.

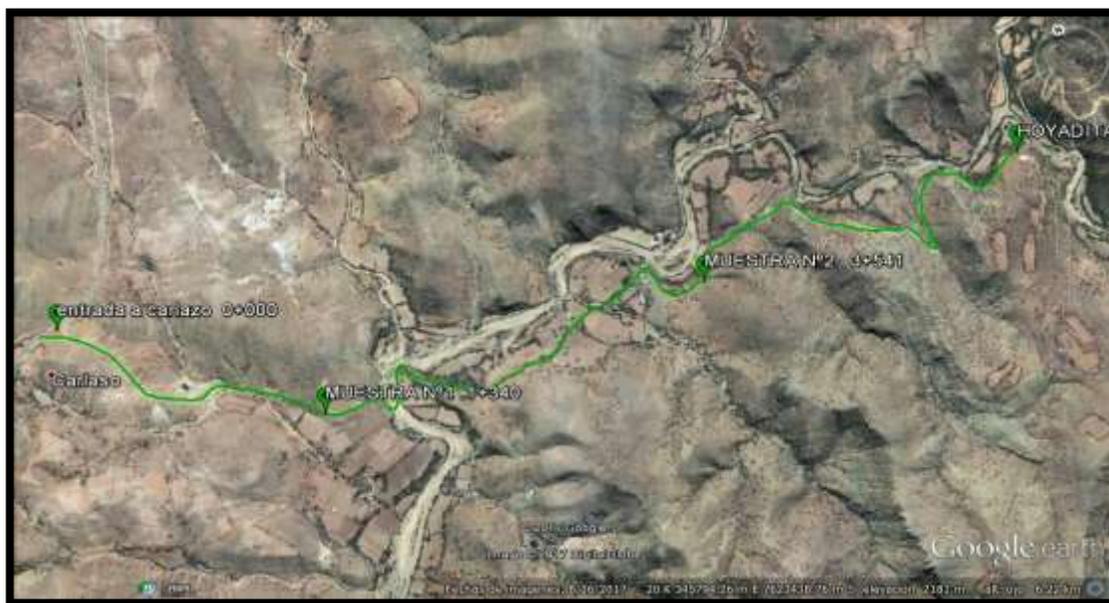
En este tramo se levantó dos muestras para el análisis en laboratorio las cuales esta ubicadas según la siguiente descripción en tabla.

**Tabla 14 Ubicación de muestras tramo Carlazo- Hoyaditas**

Muestra	Progr.	Este	Norte
<b>Muestra N°1</b>	1+340	3446700	7623345
<b>Muestra N°2</b>	3+541	346386	7623332

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 22 Tramo Carlazo- Hoyaditas**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.6 Tramo N° 6 (Chocloca – Huayco Grande)

Este tramo se encuentra ubicado en la provincia Avilés de la ciudad de Tarija, este tramo de camino de tierra comunica a las comunidades de Chocloca con la comunidad de Huayco Grande distante a 5+972 km, considerando como inicio a la carretera a Chaguaya.

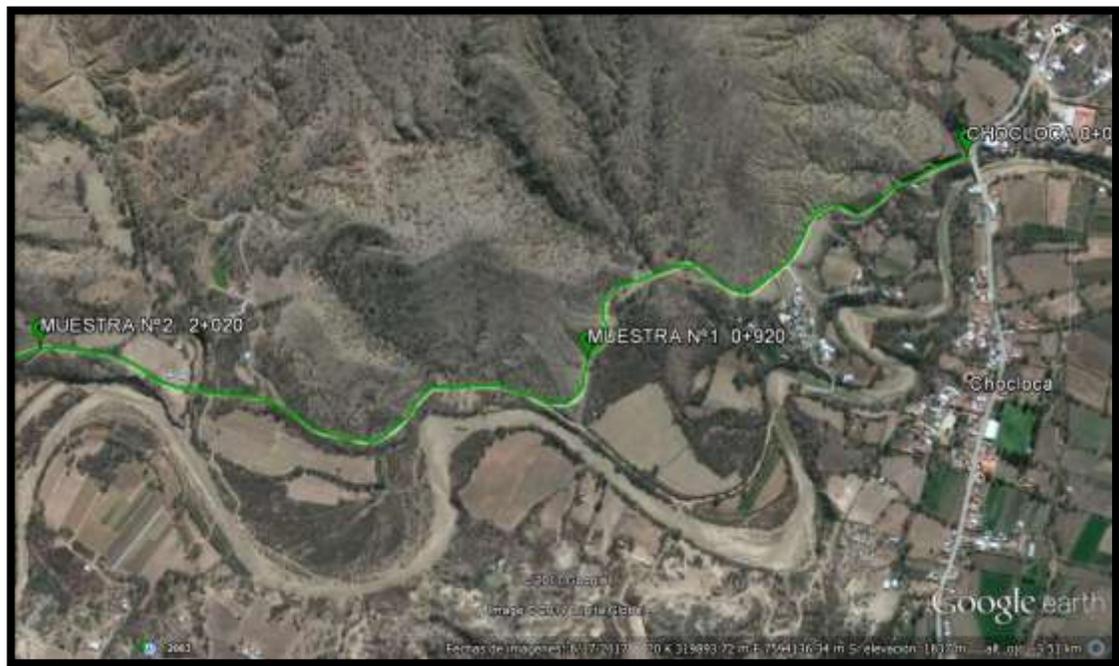
En este tramo se levantó dos muestras para el análisis en laboratorio las cuales esta ubicadas según la siguiente descripción en tabla.

**Tabla 15 Ubicación de muestras tramo Chocloca – Huayco Grande**

Muestra	Progr.	Este	Norte
<b>Muestra N°1</b>	0+920	319913	7594082
<b>Muestra N°2</b>	2+020	319045	7594491

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 23 Tramo Chocloca – Huayco Grande**



*Fuente: Elaboración propia*

### **3.3 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL A MEJORAR**

Para conocer las propiedades de los suelos en el proyecto de investigación, se procedió a tomar 2 muestras de cada tramo descritos anteriores, posteriormente en el Laboratorio de suelos perteneciente a la universidad autónoma Juan Misael Saracho, se procedió a realizar todos los ensayos necesario para poder clasificar y determinar sus propiedades físico-mecánicas y clasificación de las mismas según la norma AASHTO (ver Anexo) Clasificación de suelos según SUCS).

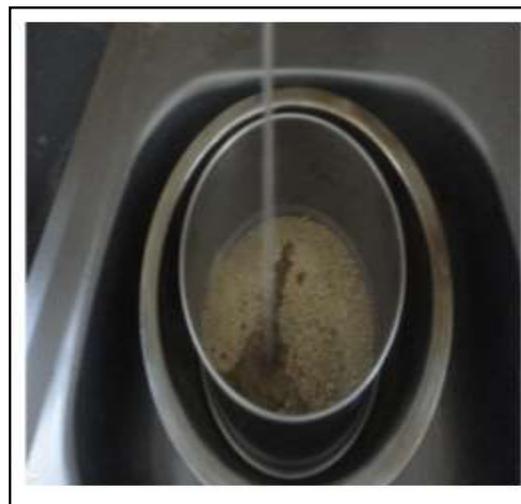
Hacer notar que solo se analizara el TRAMO N°1 MUESTRA 1 (SELLA MÉNDEZ – SELLA QUEBRADAS), esto debido a que el restos mantiene el mismo procedimiento de ensayo en laboratorio de Suelos.

### **3.3.1 Análisis granulométrico (Astm D 422 Aashto T88) tramo (Sella Méndez – Sella Quebradas), muestra N° 1**

La prueba de granulometría sirve para determinar el porcentaje en peso de las partículas de diferentes tamaños, teniendo una visión de la distribución del tamaño de los granos presentes en un suelo, al ver que la muestra de suelo pasa todos los tamices (3” hasta el número 10), se opta por hacer el método de lavado

El ensayo de análisis granulométrico por tamizado se realizó mediante el método del lavado en el cual se pesa 500 gr como peso total, se procede a realizar el lavado por la malla número 200 de acuerdo a la norma AASHTO-T88 (Ver Fig.3.8 ). Después que el suelo está seco se pesa y se procede al tamizado por la malla N° 40 y 200, desde arriba hacia abajo. El primer tamiz, es el de mayor tamaño y es donde inicia el tamizado. Se tapa con el fin de evitar pérdidas de finos; el ultimo tamiz está abajo y descansa sobre un recipiente (base) de forma igual a uno de los tamices, y recibe el material más fino no retenido por ningún tamiz. Luego proceder a realizar el pesaje del material retenido en cada malla.

**Fig. 24 Lavado de la muestra por el tamiz N° 200**



*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 25. Tamizado y pesado del suelo después del lavado**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 16 Resultado del análisis granulométrico del suelo natural muestra 1**

Peso Total (gr.)			464,30	A.S.T.M.	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% Que Pasa del Total
3"	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº10	2,00	14,70	14,70	3,17	96,83
Nº40	0,425	27,00	41,70	8,98	91,02
Nº200	0,075	48,80	90,50	19,49	80,51

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.2 Límites de Atterberg (ASTM D4318 AASHTO T90-T89)

Los límites de plasticidad se realizaron conforme a la norma y éste corresponde a la humedad, o sea el porcentaje de agua respecto al peso de los sólidos en que los finos de los materiales pasan de una consistencia a otra.

- Límite Líquido:** Se determina mediante el método de la cuchara de casa grande (NLT-105). El ensayo se basa en la determinación de la cantidad de agua mínima que se puede contener en una pasta formada de maso menos 100 gr de suelo seco que haya pasado el tamiz Nº40. Para ello, se coloca sobre el mencionado Casa Grnde y se acciona el mecanismo de este, contándose el número de golpes necesario para cerrar un surco (realizado previamente con un ranurador normalizado) en una longitud alrededor de 12mm. El ensayo se dará por valido cuando se obtengan determinaciones entre 15-20; 20-25; 25-30; 30-35 golpes. La humedad correspondiente al límite líquido será la correspondiente a 25 golpes, y se determinara interpolando en una gráfica normalizada las cuatro determinaciones obtenidas experimentalmente.

- **Límite Plástico (NLT-106):** Se determina en base de la menor humedad de un suelo que permite realizar con el cilindros de 3 mm de diámetro que presenten fisuras sin que se desmoronen, realizándose 4 determinaciones y hallando la media .Este ensayo se realiza con aproximadamente 200 gr. De muestra seca y filtrada a través tamiz N°40 ,como en el caso anterior

A la diferencia entre ambos limites se denomina “índice de plasticidad” (IP), y da una idea del grado de plasticidad que presenta el suelo; un suelo muy plástico tendrá un alto índice de plasticidad. En las Figuras se puede observar parte del desarrollo del ensayo del límite líquido y plástico.

**Fig. 26 Realización del ensayo de límites de Atterberg**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 17 Resultados de los Límites de Atterberg**

<b>Límite líquido (LL)</b>	51
<b>Límite plástico (LP)</b>	36
<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	16
<b>Índice de grupo (IG)</b>	13

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.3 Contenido de humedad y clasificación del suelo

El ensayo de contenido de humedad natural (ASTM D2216) se realizó de acuerdo a lo especificado en el Vol.4C del manual de carreteras.

**Tabla 18 Tabla de Resultados del contenido de humedad**

Suelo	%
Contenido de humedad	7,69

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 19 Tabla de Resultados de la Clasificación del suelo**

SUCS:	MH	Limo inorgánico de alta plasticidad
AASHTO:	A-7-5(13)	

*Fuente: Elaboración propia*

Según SUCS “MH” y según AASTHO A-7-5 (13) Limo inorgánico de alta plasticidad, además se aprecia que tiene in índice de grupo de (13).

### 3.3.4 Compactación (AASHTO T-99/ ASTM D1557)

El ensayo de proctor se realizó por el método de la norma (AASHTO T-99/ ASTM D1557) modificado y permite conocer el grado de humedad de un suelo para alcanzar una densidad máxima aplicando una energía de compactación determinada.

El agua, al actuar como lubricante de las partículas de un suelo facilita la compactación de un suelo seco y encontrar la humedad óptima para alcanzar una densidad máxima seca con una misma energía de comparación. La prueba es importante para controlar la calidad de los procesos de compactación que se le dan a las capas de bases y sub-bases varían entre el 95% y el 100%.

El procedimiento de ensayo consiste en apisonar en 3 capas consecutivas una cantidad aproximadamente de 3 kg de suelo previamente tamizada por el tamiz N°4 y dividida por cuarteo en 3 partes aproximadamente iguales. La muestra se humecta y se introduce en un molde metálico de dimensiones normalizadas (968.4 cm<sup>3</sup>).

Para llevar a cabo el apisonado se emplea un pistón también normalizado, de forma que su peso y altura de caída no varíen, lo que asegura una energía de compactación

constante. La normativa estipula una cantidad de 56 golpes con el pistón por cada capa de suelo. Se realizan alrededor de 4 a 5 determinaciones con diferente grado de humedad construyendo la curva “humedad-densidad seca”.

En las siguientes Figura se muestra la realización del ensayo de compactación para el proyecto en estudio.

**Fig. 27 Proceso del ensayo de compactación.**

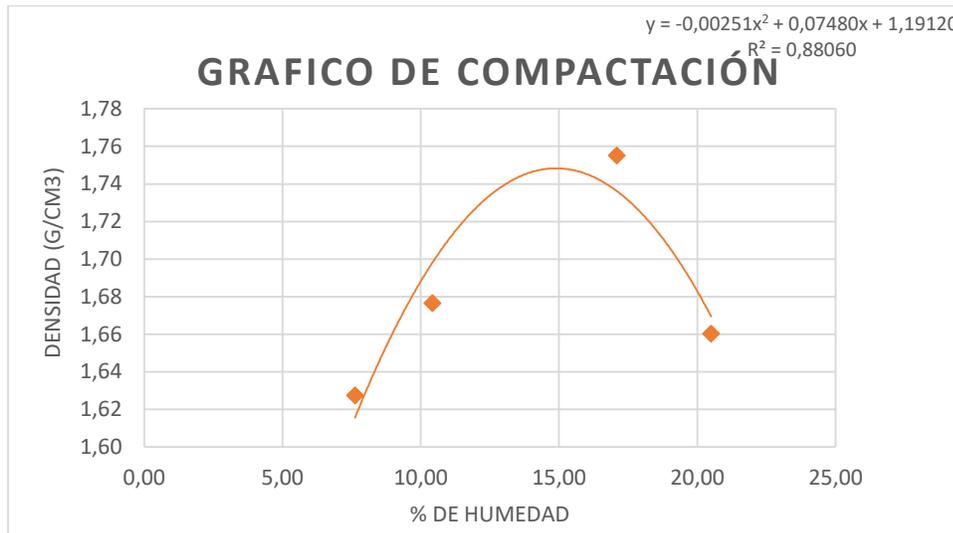


*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 20 Tabla de resultados de la Compactación del suelo**

Densidad máxima	1,75	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad optima	<b>14,90</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 3 Densidad vs humedad**

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.5 Relación de soporte de california CBR (ASTM de 1883\_ AASHTO t-193)

El ensayo C.B.R, se realizó de acuerdo a la norma AASHTO T-193, para obtener la resistencia del suelo, y así evaluar la capacidad de soporte del suelo en la capa de subrasante camino de tierra.

Para la obtención de los diferentes CBR se efectuaron tres moldes con distinta energía de compactación; la primera con 12 golpes, la segunda con 25 golpes y la tercera, con 56 golpes por cada ensayo de CBR. Las muestras elaboradas bajo estos procedimientos, se sometieron a un proceso de inmersión en agua para simular las condiciones de saturación a las cuales podrían estar sometidos los suelos como es la subrasante de una carretera, y en esta forma, obtener los C.B.R de los suelos bajo las condiciones más críticas ; esto durante un período mínimo de 96 horas donde se colocan pesas sobre las mismas, con el objeto de simular las cargas tanto vehiculares , como de la estructura de pavimento y por otro lado determinar su expansión efectuando 4 lecturas empleando un extensómetro debidamente calibrado. El ensayo de penetración se basa en la aplicación de una presión a una velocidad normalizada creciente efectuada mediante la prensa a la que va acopiada un pistón de sección circular sobre la muestra de suelo compactado con la humedad óptima. Luego de realizar el ensayo de penetración se

procede a sacar humedades de cada molde del fondo, superficie y 2" de superficie para determinar sus densidades.

A continuación se gráfica el proceso del ensayo de CBR.

**Fig. 28 Proceso de inmersión y penetración del ensayo de CBR**



*Fuente: Elaboración propia*

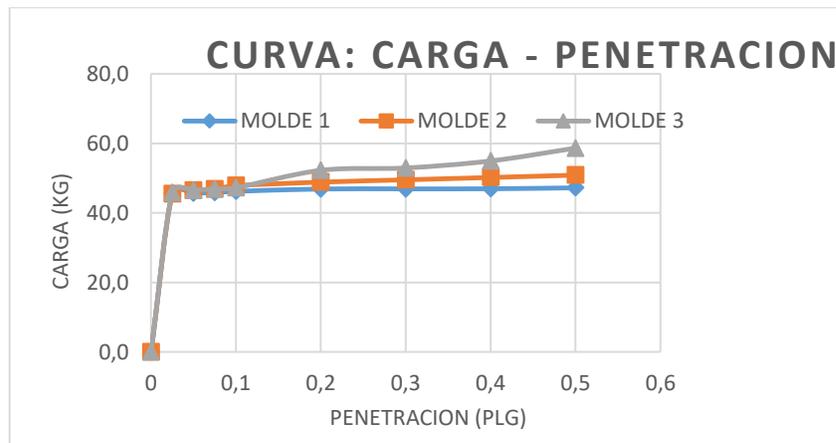
**Tabla 21 Resultados del ensayo CBR sin estabilizar**

Suelo puro			
N°	CBR (100%)	CBR (%) al 95% Dmax	% Expansión
1	3	3	4

*Fuente: Elaboración propia*

Se realizaron uno ensayos de CBR con el suelo sin estabilizar para caracterizar la resistencia del suelo y se observa que es un material expansivo y con un valor bajo de CBR por lo que necesita ser mejorado.

**Grafica. 4 Curva: carga vs penetración**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4 CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA A DIFERENTES (%)

#### 3.4.1 Al 15 % de arena triturada y 85 % suelo

**Fig. 29 Mezcla 15 % arena triturada y 85% suelo**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.2 Análisis granulométrico de la mezcla al 15% residuo y 85% suelo

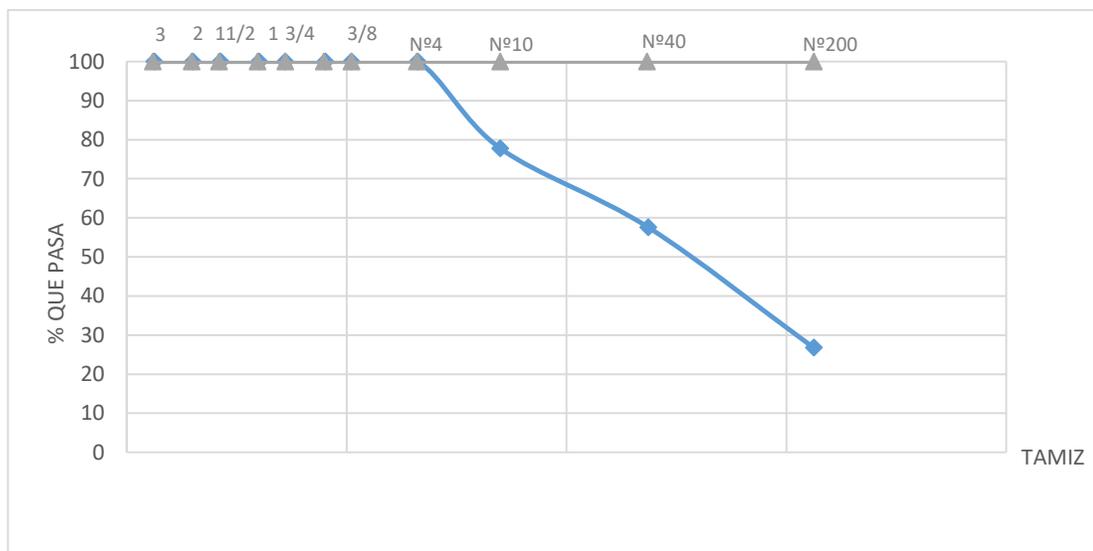
Se realizó el análisis granulométrico controlando los pesos retenidos en cada tamiz tanto de arena triturada como del suelo natural, teniendo en cuenta sus respectivos porcentajes de 15% residuo y 85% suelo.

**Tabla 22 Resultados del análisis granulométrico de la mezcla al 15%**

Tamices	% Que Pasa
	del Total
3"	100,00
2"	100,00
1 1/2"	100,00
1"	100,00
3/4"	100,00
1/2"	100,00
3/8"	100,00
Nº4	100,00
Nº10	77,79
Nº40	57,61
Nº200	26,77

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 5 Curva granulométrica de la mezcla 15% arena y 85% suelo**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.3 Compactación (AASHTO T-99/ ASTM D1557)

Para la determinación de la humedad óptima y la densidad máxima en laboratorio se realizó mediante una combinación entre la compactación estándar y modificado, por tratarse de un suelo fino se realizó el molde de T-99 y la energía que se empleó fue la de T-180 de compactación modificada por ser un ensayo que representa mejor las condiciones de campo o zonas en estudio, las características de ambos ensayos fueron descritas en el capítulo anterior.

Se procedió a mezclar 15% de arena triturada con el debido control de la granulometría patrón con el 85% de suelo natural, para posteriormente se procedió a compactar en 3 capas, cada capa de 25 golpes, con diferentes porcentajes de humedad, para poder obtener la densidad máxima a una humedad óptima.

**Fig. 30 Mezcla y molde compactado**



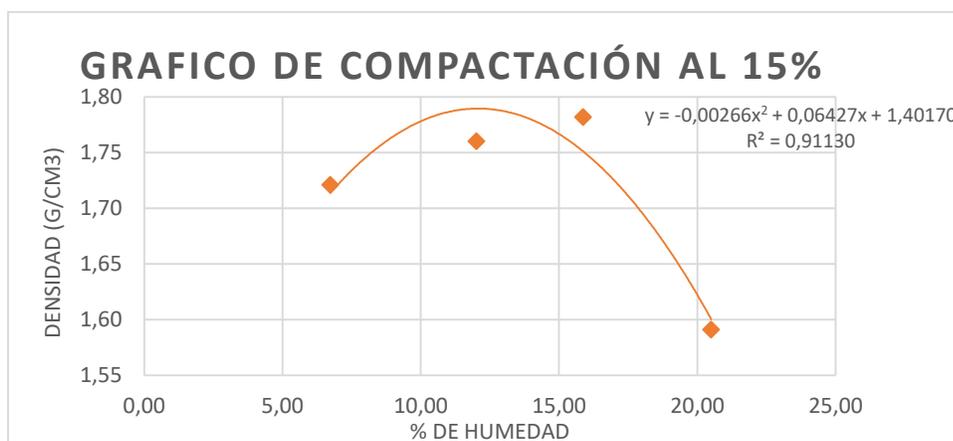
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 23 Resultados de la Compactación de la mezcla 15% arena y 85% suelo**

Densidad máxima	1,79	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad optima	12,1	%

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 6 Compactación de la mezcla al 15% de arena triturada.**



*Fuente: Elaboración propia*

#### **3.4.4 Relación de soporte de california CBR (ASTM D 1883\_ AASHTO T-193)**

Con la compactación de la mezcla se obtuvo la densidad máxima y la humedad óptima, con la cual partimos para realizar los 3 ensayos de CBR correspondientes a la mezcla 15% Residuo y 85% Suelo, los cuales para un CBR se los realiza compactando tres moldes de 5 capas cada uno, pero con distintos golpes cada molde, 12, 25 y 56 golpes, de esta manera cada molde está compactado con distintos niveles de energía, posteriormente se los pesa, se lee con el extensómetro y se los sumerge en agua durante 4 días, realizando lecturas cada 24hr con el extensómetro, pasado los 4 días, se procede a leer en la prensa la presión que puede soportar la mezcla. Al desmoldar cada molde se controla la humedad de la mezcla de la superficie, del fondo y de 2'' de la superficie extrayendo muestras en taras.

A continuación se presenta los resultados del CBR ensayos respectivos para su porcentaje de mezcla.

**Tabla 24 Tabla de CBR al 15% de arena**

CBR 100% D.máx	
	<b>4,39%</b>
CBR 95% D.Máx.	
	<b>2,690%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 31 Moldes compactados a diferentes golpes**



**Fig. 32 Rotura del CBR en prensa**

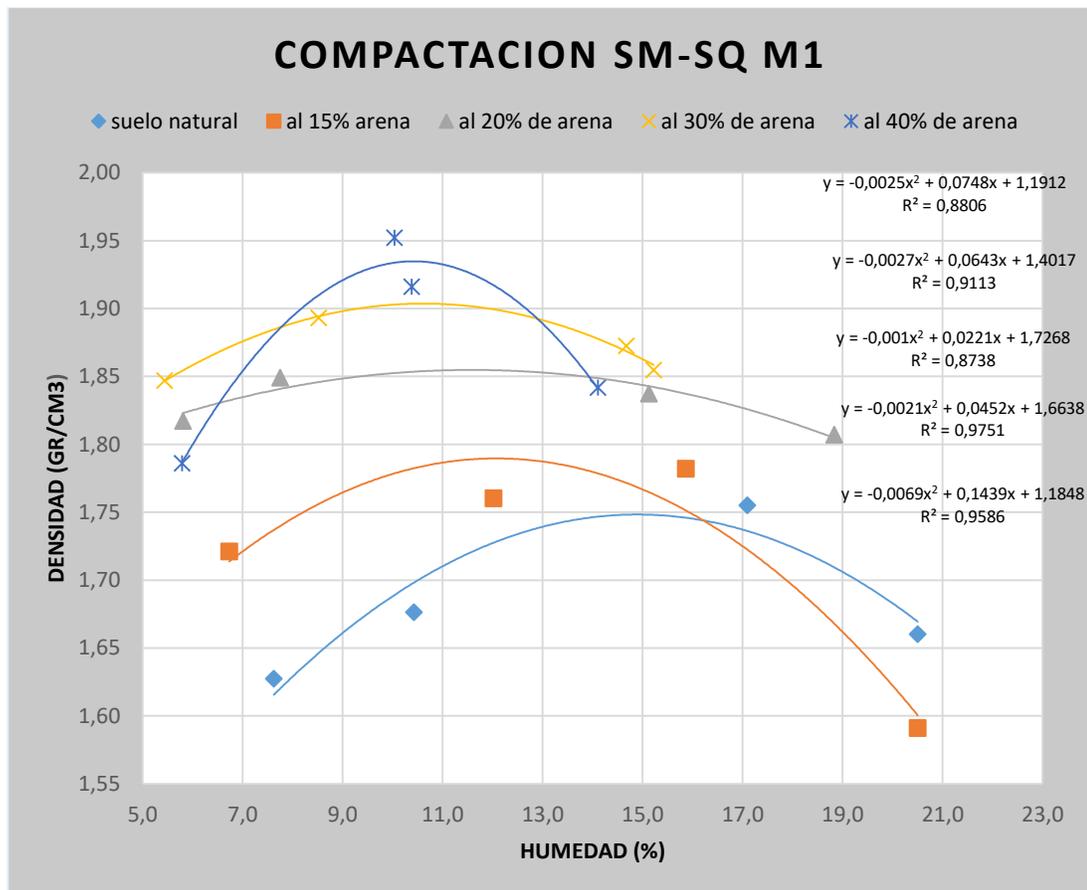


*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5 Análisis de los resultados del estudio.

#### 3.5.1 Análisis de compactación de una muestra vs el 15% de arena

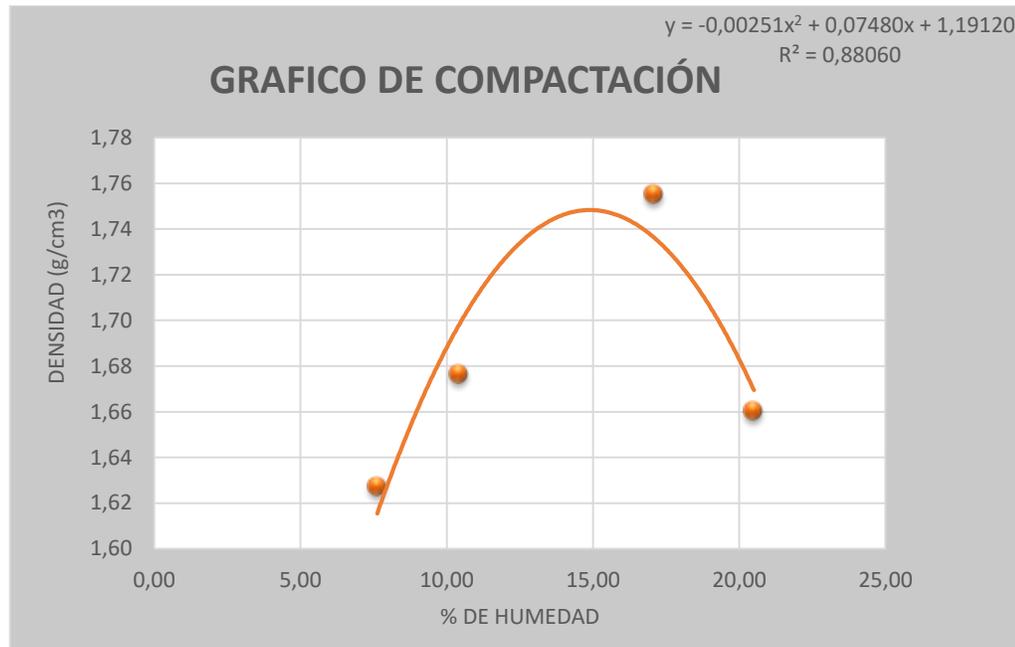
Grafica. 7 Curvas de compactación a diferentes porcentajes de arena tritura



*Fuente: Elaboración propia*

En esta grafica podemos se puede apreciar 5 curvas de densidad, una es la curva en que representa al suelo natural y las demás son a los porcentajes de 15%, 20%, 30%, 40%.

En las gráficas se puede apreciar claramente que la del suelo natural tiene una densidad menor en comparación a las del resto, como también el porcentaje de humedad es mayor, esto no hace concluir que el suelo aplicando porcentajes de arena triturada va mejorando su densidad cuanto mayor es el porcentaje.

**Grafica. 8 Curva patrón de compactación de suelo puro**

*Fuente: Elaboración propia*

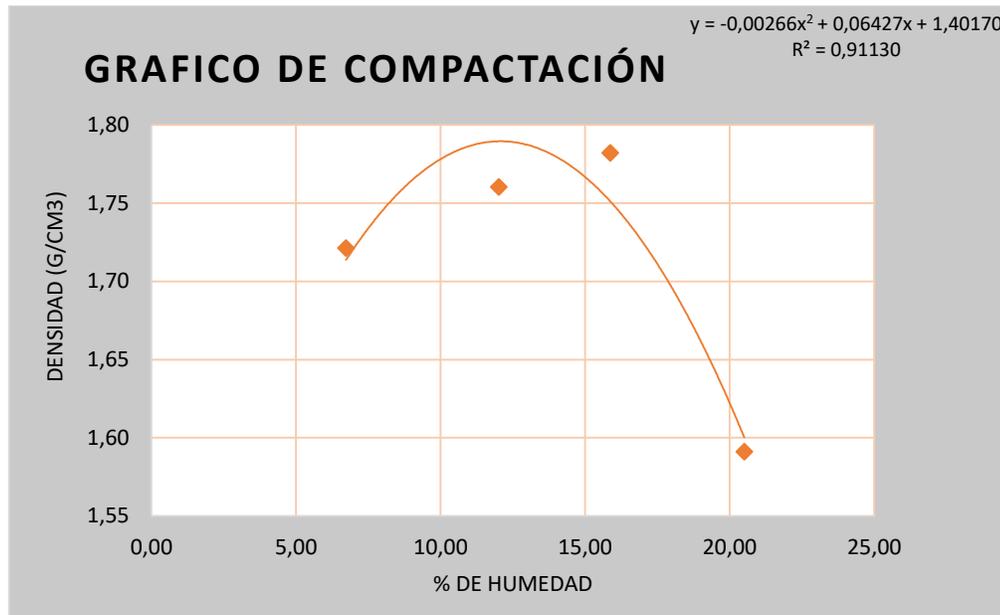
**Tabla 25 Densidad y humedad**

Densidad máxima	1,75	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad optima	<b>14,90</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Analizamos esta curva patrón de compactación de suelo en estado natural, tiene un rango de porcentaje de humedad de 7,62% a 20,50% de humedad, con una densidad máxima de 1.748 gr/cm<sup>3</sup> para una humedad optima de 14,9 %, pertenecientes a una clasificación de suelo A-7-5(13) por el método AASHTO y un suelo MH (limo inorgánico de alta plasticidad) que fue clasificado por el método SUCS.

**Grafica. 9 Curva de compactación de 15% de arena 85% suelo**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 26 Densidad y humedad**

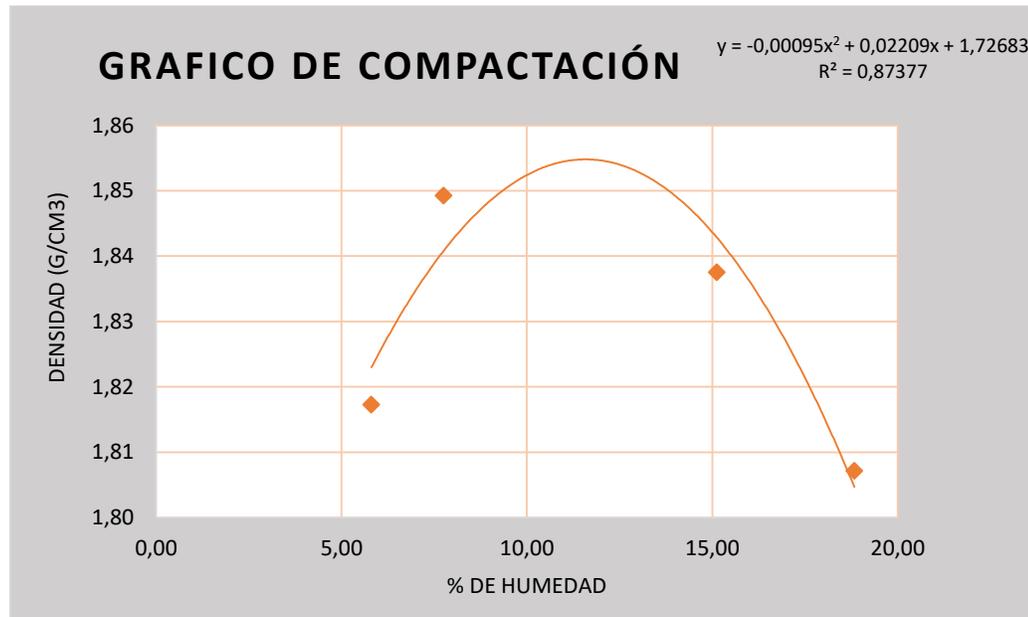
Densidad máxima	1,79	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad óptima	<b>12,10</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Analizamos esta curva de compactación de 15% de arena triturada y un 85% de suelo natural, tiene un rango de porcentaje de humedad de 6.73% a 20.50% de humedad, con una densidad máxima de 1.790 gr/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima de 12.1 %, pertenecientes a una mezcla del 15% de arena triturada con un 85% de un suelo fino -2-7(1).

El rango de porcentaje de humedad disminuyó en un 2.8%, la densidad máxima aumentó en un 3.90%, respecto de la curva patrón de compactación de suelo puro.

**Grafica. 10 Curva de compactación de 20% de arena 80% de suelo**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 27 Densidad y humedad**

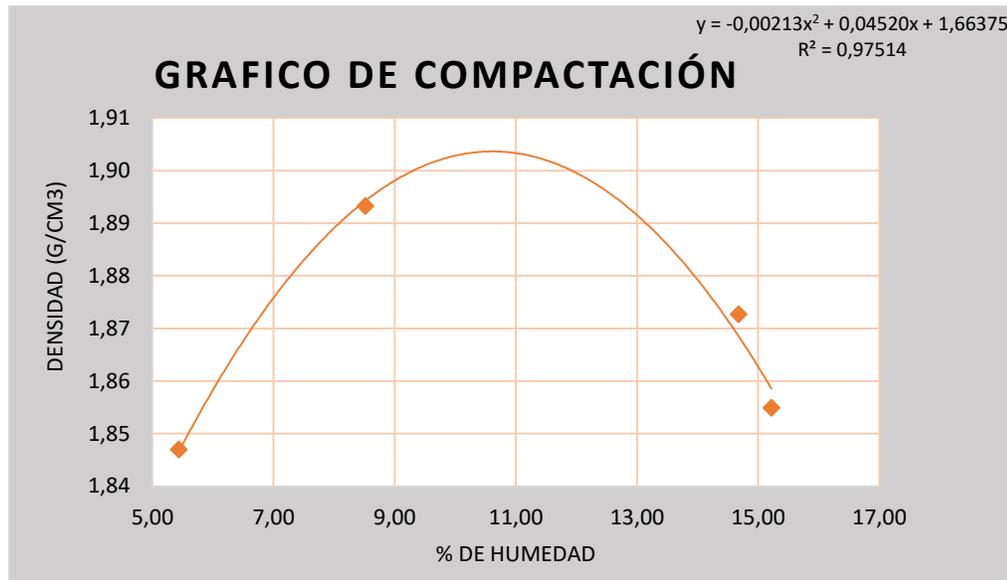
Densidad máxima	1,86	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad optima	<b>11,60</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Analizamos esta curva de compactación de 20% de arena triturada y un 80% de suelo natural, tiene un rango de porcentaje de humedad de 5.81% a 18.83% de humedad, con una densidad máxima de 1.855 gr/cm<sup>3</sup> y una humedad optima de 11.6 %, pertenecientes a una mezcla del 20% de arena triturada 80% de un suelo A-2-7(0).

El rango de porcentaje de humedad disminuyo en un 13.02%, la densidad máxima aumento en un 10.7%, y la humedad optima disminuyo en un 3.30%, respecto de la curva patrón de compactación de suelo natural.

**Grafica. 11 Curva de compactación de 30% arena tritura 70% suelo**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 28 Densidad y humedad**

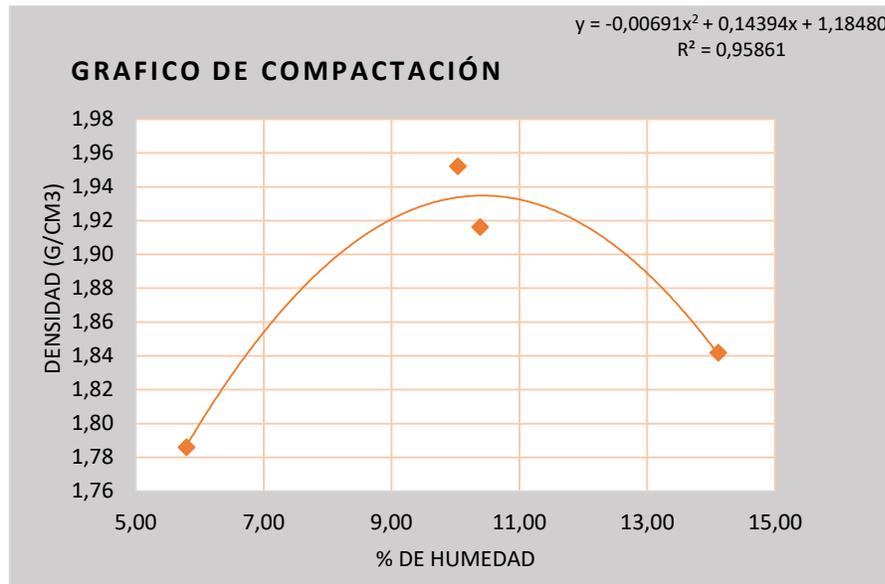
<b>Densidad máxima</b>	<b>1,90</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Humedad óptima</b>	<b>10.60</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Analizamos esta curva de compactación de 30% de arena triturada y un 70% de suelo natural, tiene un rango de porcentaje de humedad de 5.44% a 15.22% de humedad, con una densidad máxima de 1.904 gr/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima de 10.60 %, pertenecientes a una mezcla del 30% de arena triturada 70% de un suelo A-2-7(0) según norma AASHTO y según la clasificación SUCS es de un suelo SC (arena arcillosa).

El rango de porcentaje de humedad disminuyó en un 9.78%, la densidad máxima aumentó en un 15.60%, y la humedad óptima disminuyó en un 4.3%, respecto de la curva patrón de compactación de suelo natural.

**Grafica. 12 Curva de compactación de 40% arena tritura 60% suelo**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 29 Densidad y humedad**

<b>Densidad máxima</b>	<b>1,93</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Humedad óptima</b>	<b>10.40</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Analizamos esta curva de compactación de 40% de arena triturada y un 60% de suelo natural, tiene un rango de porcentaje de humedad de 5.79% a 14.11% de humedad, con una densidad máxima de 1.934 gr/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima de 10.40%, pertenecientes a una mezcla del 40% de arena triturada 60% de un suelo A-2-7(0) según norma AASHTO y según la clasificación SUCS es de un suelo SC (arena arcillosa).

El rango de porcentaje de humedad disminuyó en un 8.32%, la densidad máxima aumentó en un 18.60%, y la humedad óptima disminuyó en un 4.50%, respecto de la curva patrón de compactación de suelo natural.

### 3.5.2 Análisis de los resultados de CBR, muestra 1 a diferentes porcentajes de arena triturada.

Se realizaron 10 CBR por cada tramo analizado, o sea 5 CBR por cada muestra extraída en campo 1 para el suelo natural, 1 al 15% de arena, 1 al 20% de arena, 1 al 30% de arena y 1 al 40% de arena.

**Tabla 30 Resultados del ensayo de CBR del suelo natural**

<b>Suelo natural</b>			
<b>N°</b>	<b>CBR 100(%)</b>	<b>CBR (%) al 95% Dmax</b>	<b>% Expansión</b>
<b>1</b>	3	3	4

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 31 Resultados del ensayo de CBR de la mezcla 15% arena y 85% suelo**

<b>15 % Arena y 85% suelo natural</b>			
<b>N°</b>	<b>CBR 100(%)</b>	<b>CBR (%) al 95% Dmax</b>	<b>% Expansión</b>
1	4	3	2,71

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 32 Resultados del ensayo de CBR de la mezcla 20% arena y 80% suelo**

<b>20 % Arena y 65% suelo natural</b>			
<b>N°</b>	<b>CBR 100(%)</b>	<b>CBR(%) al 95% Dmax</b>	<b>% Expansión</b>
1	5	5	1,86

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 33 Resultados del ensayo de CBR de la mezcla 30 % arena y 70% suelo**

<b>30% Arena y 70% suelo natural</b>			
<b>N°</b>	<b>CBR 100(%)</b>	<b>CBR(%) al 95% Dmax</b>	<b>% Expansión</b>
1	7	6	1,63

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 34 Resultados del ensayo de CBR de la mezcla 40 % arena y 60% suelo**

40% Arena y 60% suelo natural			
N°	CBR 100(%)	CBR(%) al 95% Dmax	% Expansión
1	8	7	1,43

Fuente: Elaboración propia

### 3.6 RESUMEN GENERAL DE CÁLCULOS POR TRAMOS EN ESTUDIO

#### 3.6.1 Resultados del tramo sella Méndez – Sella Quebradas

Tabla 35 Resumen tramo Sella Méndez –Sella Quebradas muestra 1.

Tramo:	Sella Mendez - Sella Quebradas								Muestra: 1		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		LIMITES (%)			Clasificacion del suelo			
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm3)	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo		Descripcion	
Suelo natural	14,90	1,75	3,28	3,18	51	36	16	SUCS: MH		Limo inorganico de alta plasticidad	
15% Arena	12,10	1,79	4,39	2,69							
20% Arena	11,60	1,86	5,21	4,69							
30% Arena	10,60	1,90	7,06	6,30							
40% Arena	10,42	1,93	8,02	6,87							

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (3.283%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 1.104%, al 20% incrementa un 1.928%, al 30% incrementa un 3.778% y al 40% un incremento del 7.740%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

Podemos constatar que los resultados son similares entre muestras del mismo tramo, tanto en su clasificación como en su capacidad de soporte.

**Tabla 36 Resumen tramo Sella Méndez –Sella Quebradas muestra 2.**

Tramo:	Sella Mendez - Sella Quebradas							Muestra: 2		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		LIMITES (%)			Clasificacion del suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm3)	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripcion	
Suelo natural	14,20	1,81	3,85	3,68	57	40	17	SUCS: MH	Limo inorganico de alta plasticidad	
15% Arena	13,42	1,83	5,37	4,90						
20% Arena	12,66	1,89	6,17	5,68						
30% Arena	12,58	1,92	7,63	6,51						
40% Arena	11,33	1,95	8,57	6,44						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (3.846%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 1.523%, al 20% incrementa un 2.328%, al 30% incrementa un 3.785% y al 40% un incremento del 4.721%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

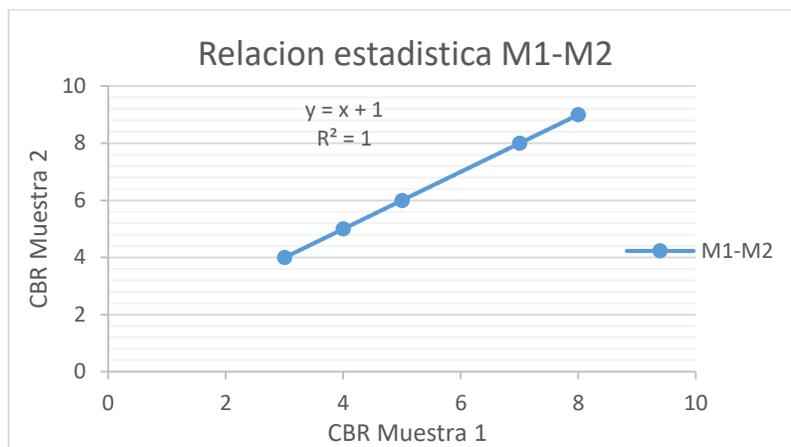
Podemos constatar que los resultados son similares entre muestras del mismo tramo, tanto en su clasificación como en su capacidad de soporte.

### 3.6.1.1 Ajuste estadístico del tramo Sella Méndez –Sella Quebradas

**Tabla 37 Valores de CBR muestras 1-2.**

Muestra1	M1-M2
3	4
4	5
5	6
7	8
8	9

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 13 Relación estadística de las muestras 1-2**

*Fuente: Elaboración propia*

Habiendo realizado la correlación estadística entre la muestra 1 y muestra 2 del tramo en estudio se puede verificar que existe una relación perfecta de 1 en la regresión lineal, la cual nos da un significado que los valores analizados son perfectamente asociables.

### 3.6.2 Resultados del tramo Chaupicancha – Cirminuelas.

**Tabla 38 Resumen tramo Chaupicancha –Cirminuelas muestra 1.**

Tramo:	Chaupicancha - Cirminuelas							Muestra: 1		
Combinación del suelo	Compactación		CBR		LÍMITES (%)			Clasificación del Suelo		
	Humedad óptima %	densidad máxima (gr/cm3)	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripción	
Suelo natural	6,88	2,08	7,60	6,95	17	13	4	SUCS: ML	Limo inorganico de baja plasticidad	
15% Arena	6,18	2,11	9,03	7,52				AASHTO: A-4(7)		
20% Arena	5,40	2,12	13,51	12,27						
30% Arena	4,76	2,15	17,42	13,93						
40% Arena	4,65	2,15	20,73	18,49						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (7.596%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 1.433%, al 20% incrementa un 5.914%, al 30% incrementa un 9.82.4% y al 40% un incremento del 13.134%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

**Tabla 39 Resumen tramo Chaupicancha –Cirminuelas muestra 2.**

Tramo:	Chaupicancha - Cirminuelas							Muestra: 2		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		LIMITES (%)			Clasificacion del Suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm3)	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripcion	
Suelo natural	11,15	1,86	7,14	6,60	36	32	4	SUCS: ML	Arcilla inorganica de baja plasticidad	
								AASHTO: A-4(4)		
15% Arena	11,92	1,94	10,65	7,14						
20% Arena	10,81	1,95	12,17	9,93						
30% Arena	10,11	1,99	15,16	12,11						
40% Arena	9,98	2,10	19,69	16,58						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (7.596%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 3.513%, al 20% incrementa un 5.033%, al 30% incrementa un 8.023% y al 40% un incremento del 12.553%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

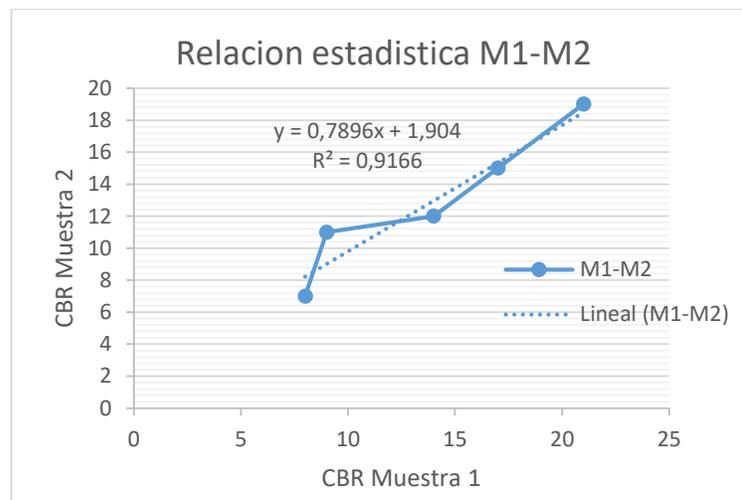
### 3.6.2.1 Ajuste estadístico del tramo Chaupicancha –Cirminuelas

**Tabla 40 Valores de CBR muestras 1-2**

Muestra1	M1-M2
8	7
9	11
14	12
17	15
21	19

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 14 Relación estadística de las muestras 1-2**



*Fuente: Elaboración propia*

Habiendo realizado la correlación estadística entre la muestra 1 y muestra 2 del tramo en estudio se puede verificar que existe una relación fuerte de 0.9166 en la regresión lineal, la cual nos da un significado que los valores analizados tienen una tendencia fuerte entre sí.

### 3.6.3 Resultados del tramo San Pedro - Rumicancha

**Tabla 41 Resumen tramo San Pedro- Rumicancha muestra 1.**

Tramo:	San Pedro - Rumicancha							Muestra: 1		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		LIMITES (%)			Clasificacion del Suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm3)	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripcion	
Suelo natural	12,40	1,81	4,17	3,99	36	20	16	SUCS: CL	Arcilla inorganica de baja plasticidad	
								AASHTO: A-6 (10)		
15% Arena	11,88	1,89	5,36	4,70						
20% Arena	11,33	1,92	7,04	5,82						
30% Arena	10,88	1,93	8,61	6,74						
40% Arena	10,01	1,96	10,47	7,27						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (4.166%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 1.191%, al 20% incrementa un 2.872%, al 30% incrementa un 4.447% y al 40% un incremento del 6.304%

**Tabla 42 Resumen tramo San Pedro- Rumicancha muestra 2.**

Tramo:	San Pedro - Rumicancha							Muestra: 2		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		LIMITES (%)			Clasificacion del Suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm3)	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripcion	
Suelo natural	10,31	1,86	4,45	4,23	31	15	16	SUCS: CL	Arcilla Inorganica de baja plasticidad	
								AASHTO: A-6 (9)		
15% Arena	10,10	1,90	5,55	4,71						
20% Arena	10,00	1,93	7,18	6,11						
30% Arena	9,70	1,95	8,60	7,21						
40% Arena	9,50	1,98	10,58	8,93						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (4.445%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 1.106%, al 20% incrementa un 2.738%, al 30% incrementa un 4.159% y al 40% un incremento del 6.135%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

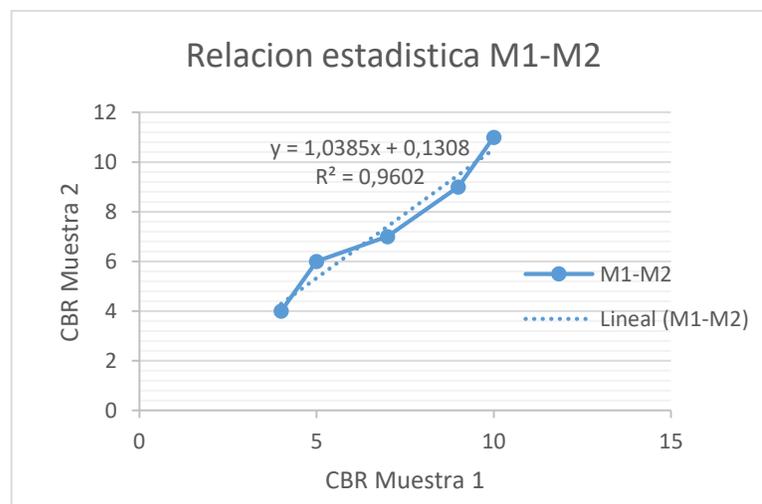
### 3.6.3.1 Ajuste estadístico del tramo San Pedro- Rumicancha

**Tabla 43 Valores de CBR muestras 1-2**

Muestra	M1-M2
<b>1</b>	
<b>4</b>	4
<b>5</b>	6
<b>7</b>	7
<b>9</b>	9
<b>10</b>	11

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 15 Relación estadística de las muestras 1-2**



*Fuente: Elaboración propia*

Habiendo realizado la correlación estadística entre la muestra 1 y muestra 2 del tramo en estudio se puede verificar que existe una relación perfecta de 0.9602 en la regresión lineal, la cual nos da un significado que los valores analizados son perfectamente asociables.

### 3.6.4 Resultados del tramo Yesera Sud - Calderas

**Tabla 44 Resumen tramo Yesera Sud - Calderas muestra 1.**

Tramo:	Yesera Sud - Calderas							Muestra: 1		
Combinación del suelo	Compactación		CBR		LÍMITES (%)			Clasificación del Suelo		
	Humedad óptima %	densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripción	
Suelo natural	11,70	1,90	7,21	6,87	30	27	3	SUCS: ML	Limo inorgánico de baja plasticidad	
15% Arena	9,10	1,93	10,10	8,64				AASHTO: A-4(4)		
20% Arena	9,00	1,93	13,93	11,00						
30% Arena	9,30	1,95	15,63	12,88						
40% Arena	9,80	1,98	19,44	16,76						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (7.21%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 2.89%, al 20% incrementa un 6.72%, al 30% incrementa un 8.42% y al 40% un incremento del 12.23%

Analizando los resultados de la tabla se verifica que la densidad máxima va incrementando su valor, mientras que la humedad de la muestra sufre un decrecimiento según se aumenta el porcentaje de arena tritura a la estabilización del suelo.

**Tabla 45 Resumen tramo Yesera Sud - Calderas muestra 2.**

<b>Tramo:</b>	<b>Yesera Sud - Calderas</b>							<b>Muestra: 2</b>		
<b>Combinacion del suelo</b>	<b>Compactacion</b>		<b>CBR</b>		<b>Limites (%)</b>			<b>Clasificacion del Suelo</b>		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm <sup>3</sup> )	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	<b>Tipo de Suelo</b>		<b>Descripcion</b>
Suelo natural	15,60	1,72	2,95	2,88	53	31	22	SUCS:	MH	Limo inorganico de baja plasticidad
15% Arena	15,50	1,79	3,35	2,02				AASHTO:	A-7-5(13)	
20% Arena	14,00	1,82	5,13	4,73						
30% Arena	13,50	1,90	6,90	5,97						
40% Arena	13,00	1,94	9,63	8,27						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (2.947%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 0.406%, al 20% incrementa un 2.186%, al 30% incrementa un 3.952% y al 40% un incremento del 6.687%

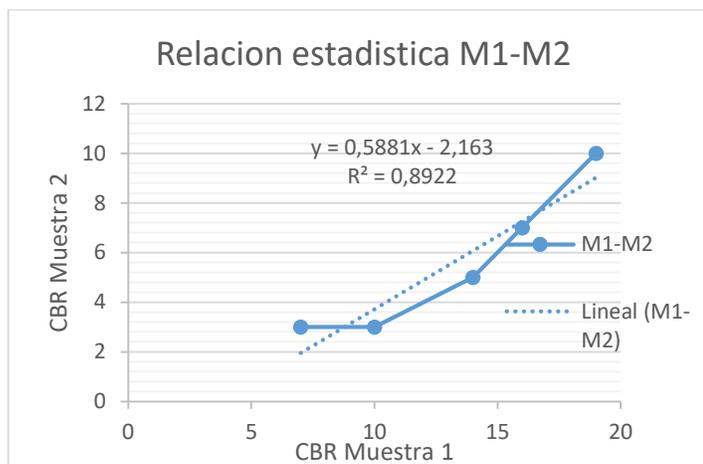
Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural

### 3.6.4.1 Ajuste estadístico del tramo Yesera Sud - Calderas

**Tabla 46 Valores de CBR muestras 1-2**

<b>Muestra</b>	<b>M1-M2</b>
<b>1</b>	
<b>7</b>	3
<b>10</b>	3
<b>14</b>	5
<b>16</b>	7
<b>19</b>	10

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 16 Relación estadística de las muestras 1-2**

*Fuente: Elaboración propia*

Habiendo realizado la correlación estadística entre la muestra 1 y muestra 2 del tramo en estudio se puede verificar que existe una relación fuerte de 0.8922 en la regresión lineal, la cual nos da un significado que los valores analizados tienen una tendencia fuerte entre sí.

### 3.6.5 Resultados del tramo Carlazo - Hoyaditas

**Tabla 47 Resumen tramo Carlazo - Hoyaditas muestra 1.**

Tramo:	Carlazo - Hoyaditas							Muestra: 1		
Combinación del suelo	Compactacion		CBR		Límites (%)			Clasificación del Suelo		
	Humedad óptima %	densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo		Descripción
Suelo natural	15,39	1,80	4,51	3,58	32	19	13	SUCS:	CL	Arcilla Media elasticidad
								AASHTO:	A-6 (9)	con arena
15% Arena	13,31	1,84	5,78	4,35						
20% Arena	13,44	1,89	6,62	5,50						
30% Arena	13,34	1,93	8,39	6,93						
40% Arena	10,36	1,97	10,06	8,24						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (4.51%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 1.266%, al 20% incrementa un 2.112%, al 30% incrementa un 3.881% y al 40% un incremento del 5.55%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

**Tabla 48 Resumen tramo Carlazo - Hoyaditas muestra 2.**

Tramo:	Carlazo - Hoyaditas							Muestra: 2		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		Limites (%)			Clasificacion del Suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm3)	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripcion	
Suelo natural	12,00	1,89	7,17	2,53	26	21	5	SUCS: ML-CL	Limo Inorganico de baja plasticidad	
15% Arena	11,57	1,91	9,38	5,98				AASHTO: A-4(5)		
20% Arena	11,13	1,95	11,19	8,44						
30% Arena	11,50	1,97	15,16	13,66						
40% Arena	11,01	1,99	18,66	15,44						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (7.165%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 2.216%, al 20% incrementa un 4.025%, al 30% incrementa un 7.995% y al 40% un incremento del 11.495%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

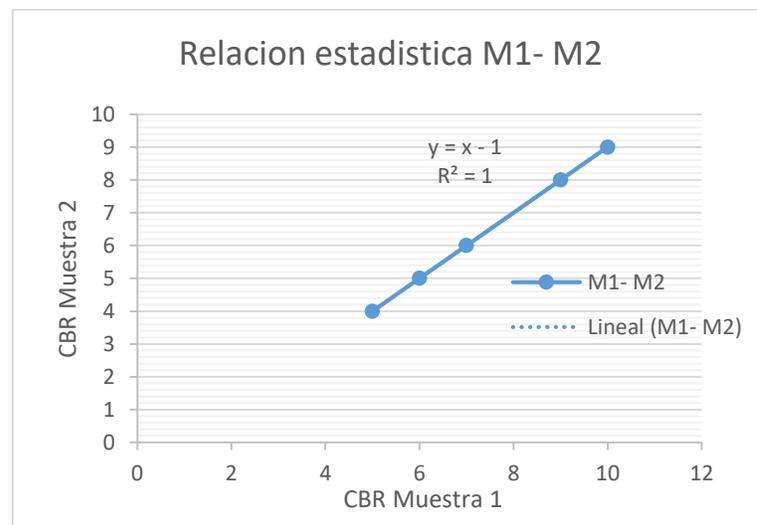
### 3.6.5.1 Ajuste estadístico del tramo Carlazo – Hoyaditas

**Tabla 49 Valores de CBR muestras 1-2**

M1	M1- M2
5	4
6	5
7	6
9	8
10	9

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 17 Relación estadística de las muestras 1-2**



*Fuente: Elaboración propia*

Habiendo realizado la correlación estadística entre la muestra 1 y muestra 2 del tramo en estudio se puede verificar que existe una relación perfecta de 1 en la regresión lineal, la cual nos da un significado que los valores analizados son perfectamente asociables.

### 3.6.6 Resultados del tramo Chocloca – Huayco Grande

**Tabla 50 Tabla resumen Tramo Chocloca – Huayco Grande muestra 1.**

Tramo:	Chocloca - Huayco Grande							Muestra: 1		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		Limites (%)			Clasificacion del Suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm <sup>3</sup> )	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo		Descripcion
Suelo natural	14,43	1,81	4,32	3,86	31	13	18	SUCS:	CL	Arcilla Media Plastica
								AASHTO:	A-6 (11)	con arena
15% Arena	12,27	1,84	5,26	4,29						
20% Arena	11,30	1,88	6,94	6,27						
30% Arena	10,61	1,91	8,08	7,25						
40% Arena	10,33	1,93	9,99	8,87						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (4.32%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 0.94%, al 20% incrementa un 2.62%, al 30% incrementa un 3.76% y al 40% un incremento del 5.67%

**Tabla 51 Resumen Tramo Chocloca – Huayco Grande muestra 2.**

Tramo:	Chocloca - Huayco Grande							Muestra: 2		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		Limites (%)			Clasificacion del Suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm <sup>3</sup> )	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo		Descripcion
Suelo natural	14,02	1,89	3,96	2,89	29	19	11	SUCS:	CL	Arcilla baja plasticidad
								AASHTO:	A-6(8)	con arena
15% Arena	11,57	1,91	9,38	5,98						
20% Arena	11,13	1,95	11,19	8,44						
30% Arena	11,50	1,97	15,16	13,66						
40% Arena	11,01	1,99	18,66	15,44						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (3.96%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 5.411%, al 20% incrementa un 7.23%, al 30% incrementa un 11.2% y al 40% un incremento del 14.7%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

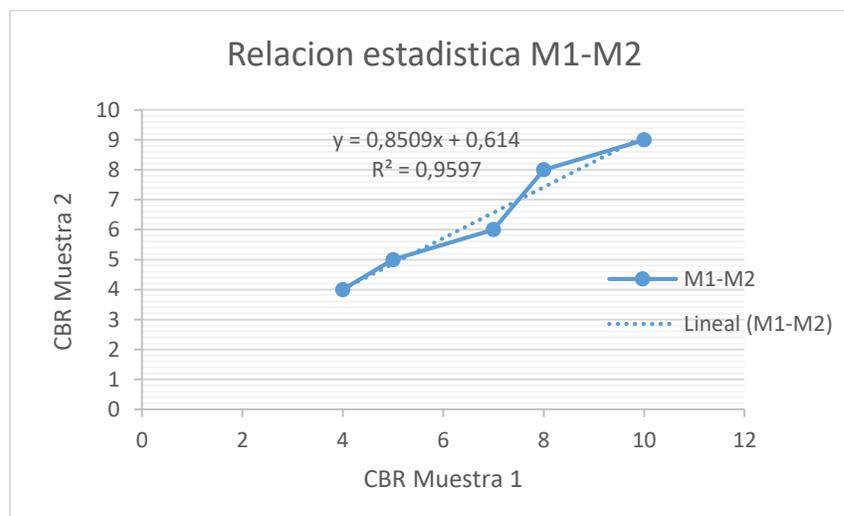
### 3.6.6.1 Ajuste estadístico del tramo Chocloca – Huayco Grande muestra

**Tabla 52 Valores de CBR muestras 1-2**

M1	M1-M2
4	4
5	5
7	6
8	8
10	9

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 18 Relación estadística de las muestras 1-2**



*Fuente: Elaboración propia*

Habiendo realizado la correlación estadística entre la muestra 1 y muestra 2 del tramo en estudio se puede verificar que existe una relación fuerte de 0.9166 en la regresión lineal, la cual nos da un significado que los valores analizados tienen una tendencia fuerte entre sí.

### 3.6.7. Tabla de comparación según AASHTO.

**Tabla 53 Clasificación de la subrasante (AASHTO), según el valor de CBR**

CBR	Clasificación cualitativa del suelo	Uso
2--5	Muy mala	Sub-rasante
5--8	Mala	Sub-rasante
8--20	Regular Buena	Sub-rasante
20--30	Buena	Sub-rasante
30--60	Excelente	Sub-rasante
60--80	Buena	BASE
80--100	Excelente	BASE

*Fuente: Norma AASHTO*

Para nuestro estudio de investigación consideraremos el valor mínimo de 8%, ya que este valor según tabla AASHTO nos da una clasificación de regular – buena, para el razonamiento común el significado Regular-Buena es tendencia aceptable, ya que los valores que se encuentran por debajo de este porcentaje llegarían a ser desfavorables para nuestro estudio de investigación.

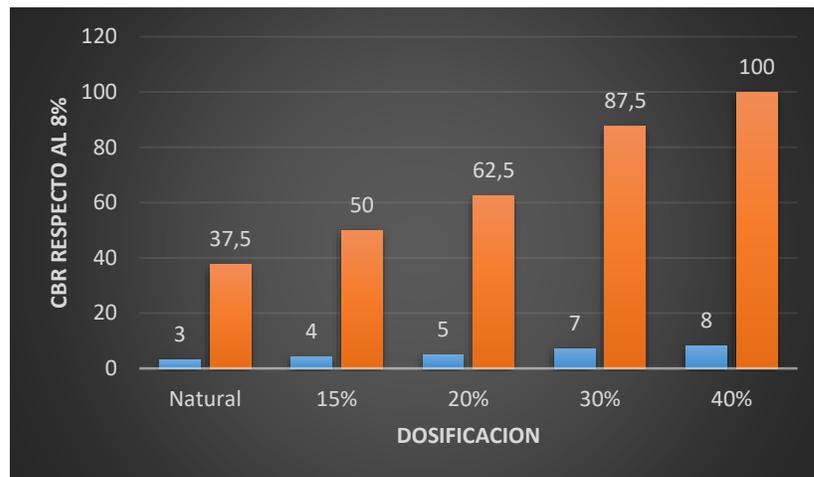
En la siguiente tabla se puede apreciar una relación entre el valor CBR de todos tramos estudiados con una valoración para la conformación de la subrasante.

**Tabla 54 Resultados finales tramos Sella Méndez - Sella quebrada muestra 1 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M1	3%	4%	5%	7%	8%
Respecto al 8%	37,5%	50%	62,5%	87,5%	100
Observación	Muy Mala	Muy Mala	Mala	Mala	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 19 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**



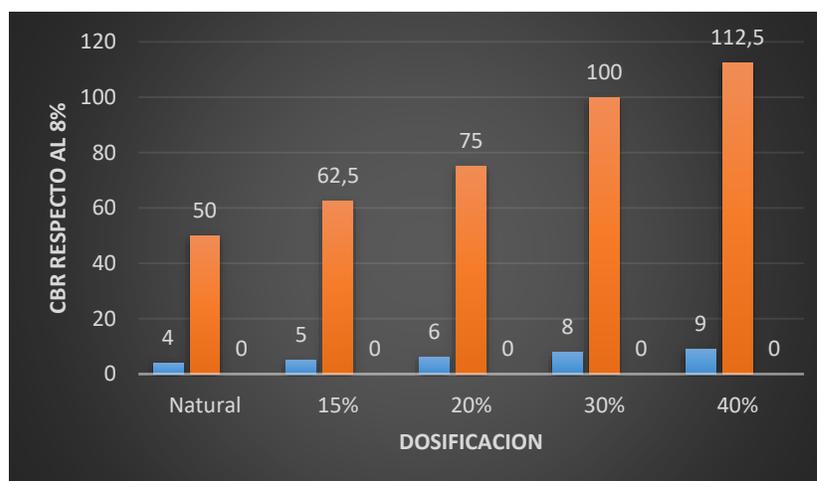
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 55 Resultados finales tramos Sella Méndez - Sella quebrada muestra 2 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M2	4%	5%	6%	8%	9%
Respecto al 8%	50%	62,5%	75%	100%	112,5%
Observación	Muy Mala	Muy Mala	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 20 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**



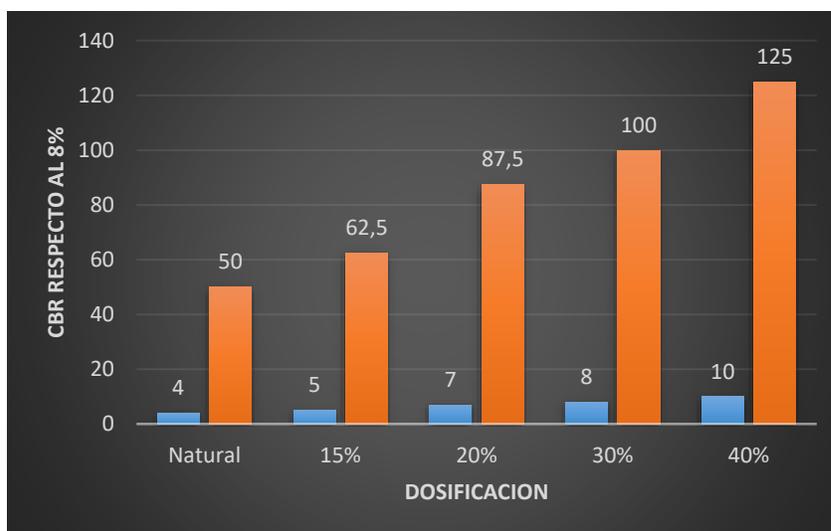
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 56 Resultados finales tramo Chaupicancha – Cirminuelas muestra 1 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M1	8%	9%	14%	17%	21%
Respecto al 8%	100%	112,5%	175%	212,5%	262,5%
Observación	Reg. Buena	Reg. Buena	Reg. Buena	Reg. Buena	excelente

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 21 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**



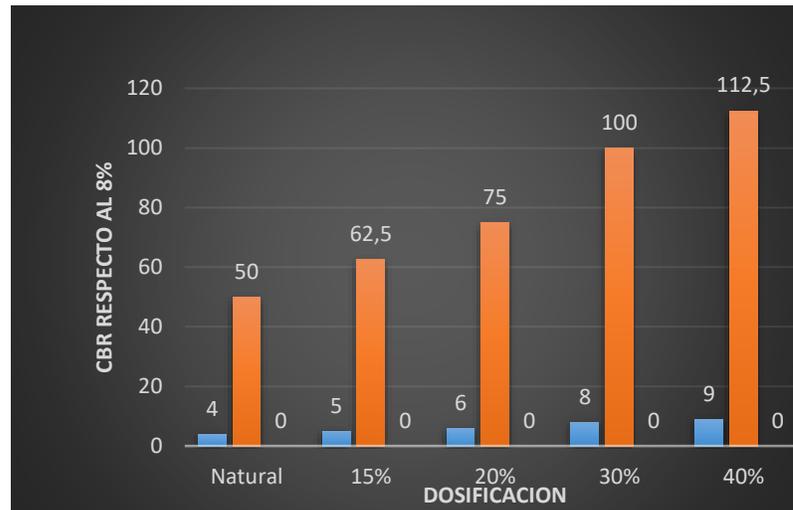
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 57 Resultados finales tramo Chaupicancha – Cirminuelas muestra 2 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M2	7%	11%	12%	15%	19%
Respecto al 8%	87,5%	137,5%	150%	187,5%	237,5%
Observación	Reg. Buena				

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 22 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**



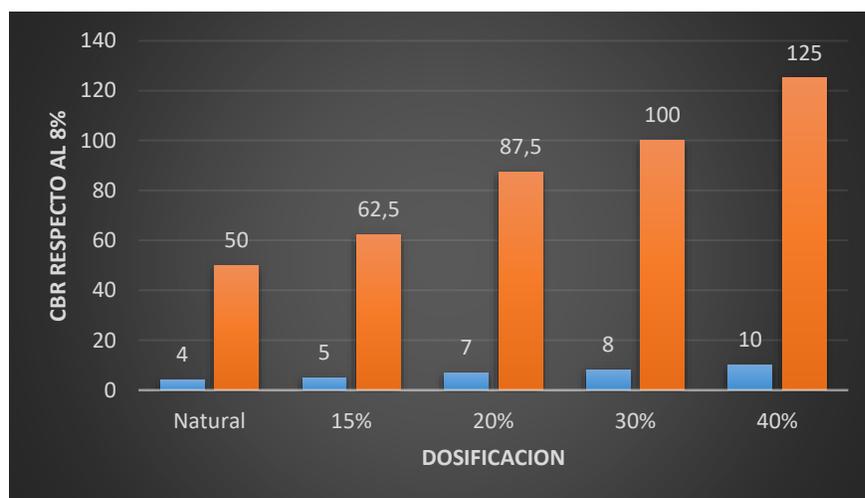
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 58 Resultados finales tramo San Pedro – Rumicancha muestra 1 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M1	4%	5%	7%	9%	10%
Respecto al 8%	50%	62,5%	87,5%	112,5%	125%
Observación	Muy Mala	Muy Mala	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 23 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**



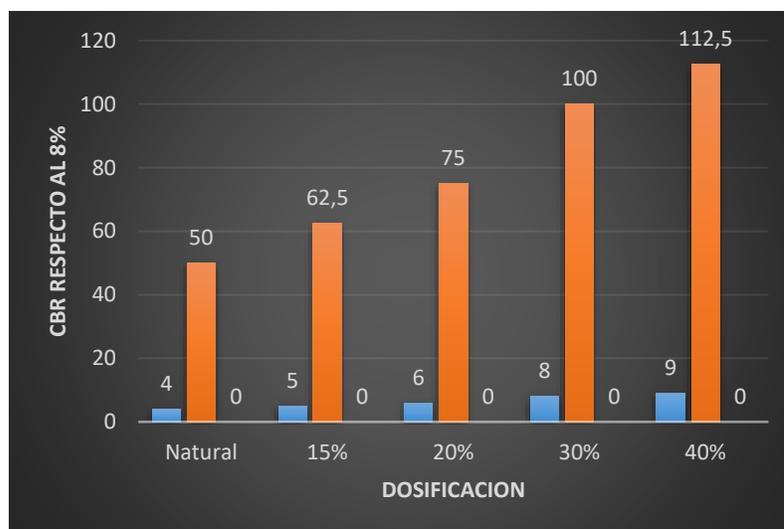
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 59 Resultados finales tramo San Pedro – Rumicancha muestra 2 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M2	4%	6%	7%	9%	11%
Respecto al 8%	50%	75%	87,5%	112,5%	137,5%
Observación	Muy Mala	Muy Mala	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 24 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

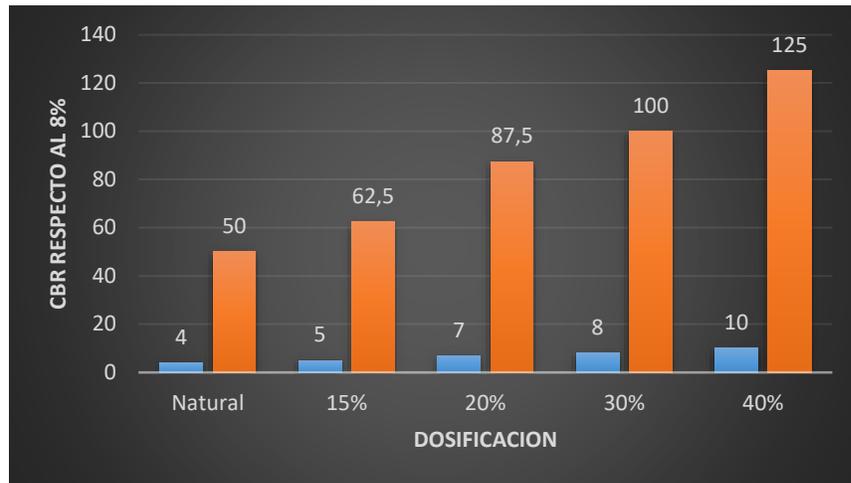


*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 60 Resultados finales tramo Yesera Sud - Calderas muestra 1 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M1	7%	10%	14%	16%	19%
Respecto al 8%	87,5%	125%	175%	200%	237,5%
Observación	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

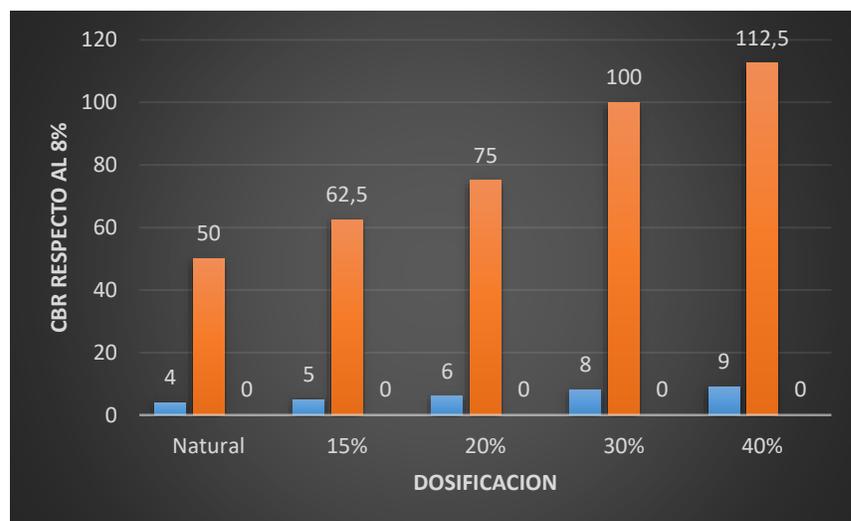
**Grafica. 25 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 61 Resultados finales tramo Yesera Sud - Calderas muestra 2 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M2	3%	3%	5%	7%	10%
Respecto al 8%	37,5%	37,5%	62,5%	87,5%	125%
Observación	Mala	Mala	Mala	Mala	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 26 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

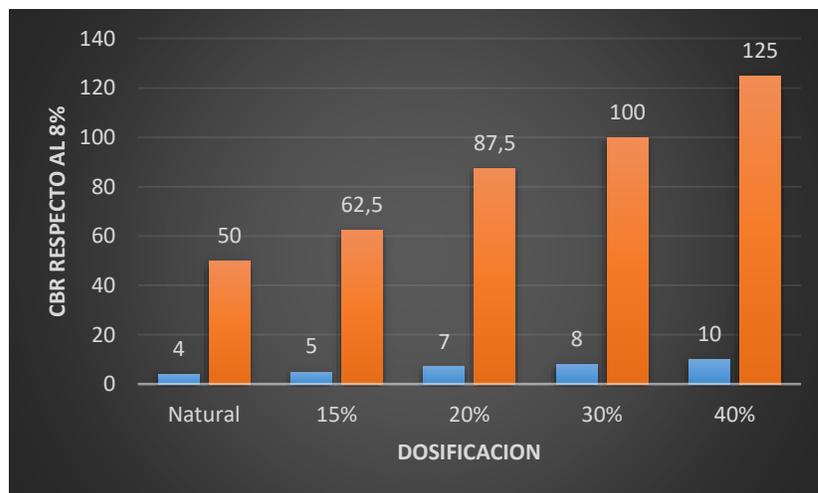
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 62 Resultados finales tramo Carlazo - Hoyaditas muestra 1 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M1	5%	6%	7%	9%	10%
Respecto al 8%	62,5%	75%	87,5%	112,5%	125%
Observación	Mala	Mala	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 27 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**



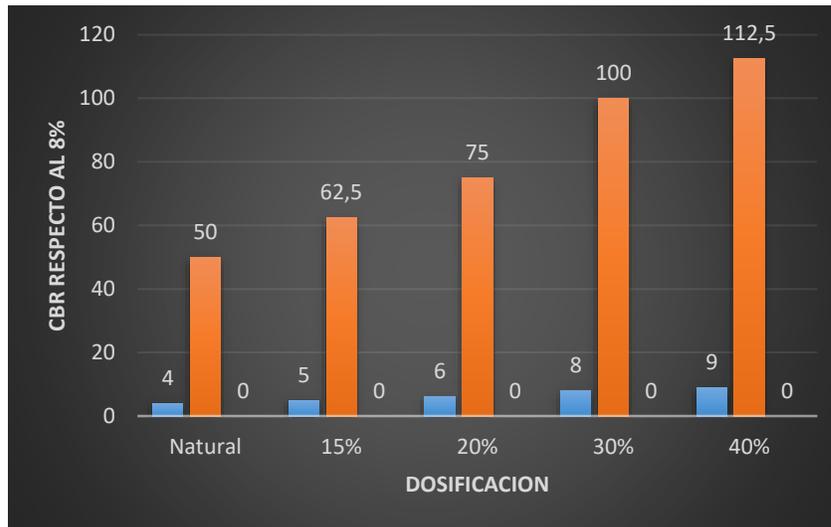
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 63 Resultados finales tramo Carlazo - Hoyaditas muestra 2 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M2	7%	9%	11%	15%	19%
Respecto al 8%	87,5%	112,5%	137,5%	187,5%	237,5%
Observación	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 28 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**



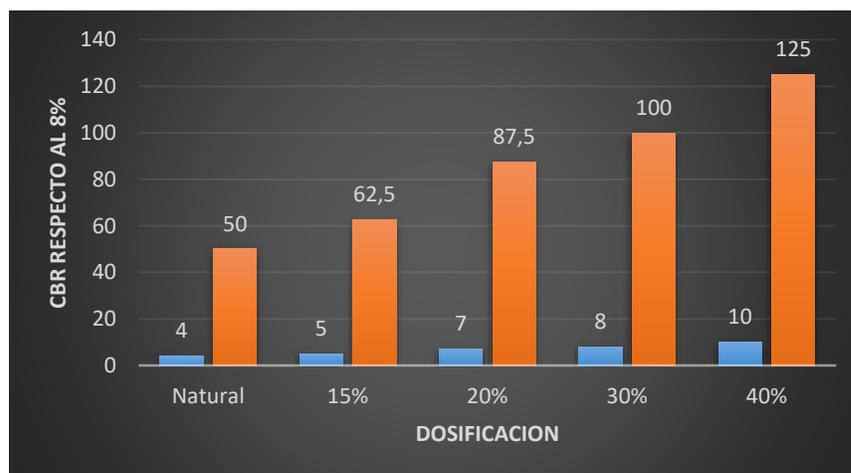
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 64 Resultados finales tramo Chocloca – Huayco muestra 1 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M1	4%	5%	7%	8%	10%
Respecto al 8%	50%	62,5%	87,5%	100%	125%
Observación	Muy Mala	Muy Mala	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración Propia*

**Grafica. 29 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%**



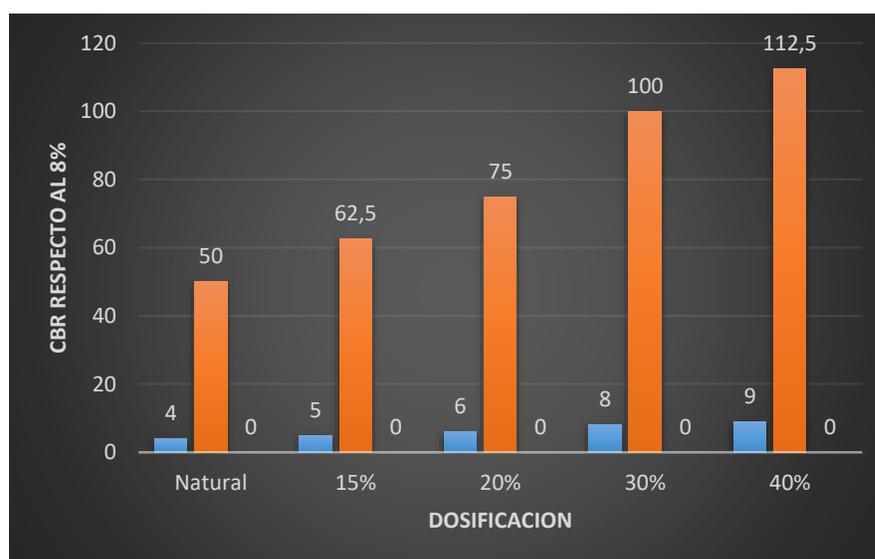
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 65 Resultados finales tramo Chocloca – Huayco muestra 2 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M2	4%	5%	6%	8%	9%
Respecto al 8%	50%	62,5%	75%	100%	112,5%
Observación	Muy Mala	Muy Mala	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 30 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.8. ANÁLISIS DE LOS BANCOS DE PRÉSTAMO PARA EL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.8.1 Primer Banco de Préstamo

El banco de extracción se encuentra en la comunidad de Rancho Sur, en el margen derecho del río Guadalquivir, al lado derecho del surtidor Moto Méndez, banco que pertenece a la empresa constructora “ERIKA”.

La chancadora de la empresa constructora ERIKA tiene una producción de áridos del 15 m<sup>3</sup>/día de arena triturada que pasa el tamiz número (10), 30 m<sup>3</sup>/día de grava de  $\frac{3}{4}$  de diámetro y 30 m<sup>3</sup>/día de gravilla  $\frac{3}{8}$  de diámetro.

Los precios de los áridos que se comercializan son los siguientes:

Arena triturada: 100 bs el m<sup>3</sup>

Grava gruesa: 90 bs el m<sup>3</sup>

Gravilla: 95 bs el m<sup>3</sup>

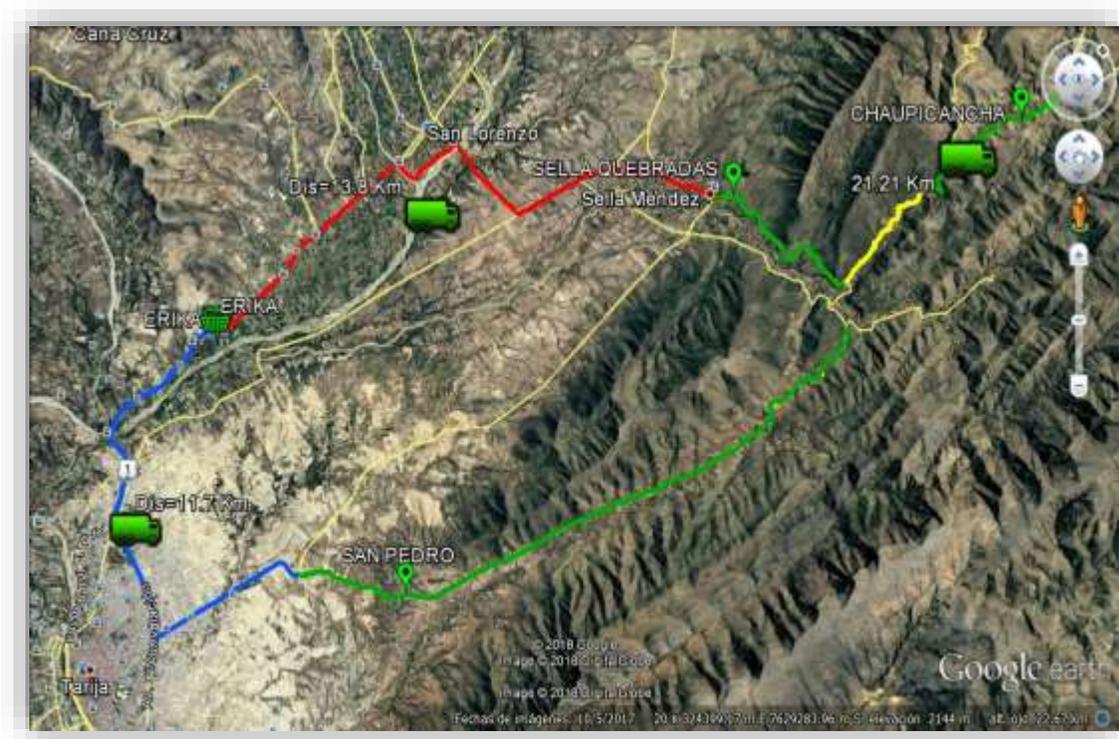
De este banco (CHANCADORA) se extrajo la arena triturada, material que la empresa comercializa para diferentes proyectos de construcción, en la siguiente figura se puede apreciar la ubicación del banco de extracción de la arena Triturada según siguiente cuadro.

**Tabla 66. Ubicación según coordenadas UTM**

Banco	Este	Norte
<b>Erika</b>	318167	7624482

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 33 Trituradora Erika**



*Fuente: Elaboración propia*

La trituradora ERIKA cuenta con la materia solicitada según especificaciones técnicas del estudio de laboratorio, por esta razón abastecerá de arena triturada para los tramos descritos a continuación.

### **3.8.2. Tramos que Abastecerá la Triturados Erika**

#### **3.8.2.1 Tramo N° 1 (Sella Méndez- Sella Quebradas)**

Este tramo cuenta con una distancia de 4.30 Km seleccionados para su mejoramiento, se encuentra a una distancia de 13.8 Km desde la Trituradora ERIKA hasta el comienzo del tramo a mejorar, según cotización el metro cubico de arena triturada tiene un precio de 90 Bs/m<sup>3</sup> y el costo de acarreo por metro cubico esta entre 20 Bs/m<sup>3</sup> para una distancia de 13.8 Km.

### **3.8.2.2 Tramo N° 2 (Chaupicancha- Cirminuelas)**

Este tramo cuenta con una distancia de 6.63 Km seleccionados para su mejoramiento, se encuentra a una distancia de 21.21 Km desde la Trituradora ERIKA hasta el comienzo del tramo a mejorar, según cotización el metro cubico de arena triturada tiene un precio de 90 Bs/m<sup>3</sup> y el costo de acarreo por metro cubico esta entre 32.62 Bs/m<sup>3</sup> para una distancia de 21.21 Km.

### **3.8.2.3 Tramo N° 3 (San pedro – Rumicancha)**

Este tramo cuenta con una distancia de 14.58 Km seleccionados para su mejoramiento, se encuentra a una distancia de 11.70 Km desde la Trituradora ERIKA hasta el comienzo del tramo a mejorar, según cotización el metro cubico de arena triturada tiene un precio de 90 Bs/m<sup>3</sup> y el costo de acarreo por metro cubico esta entre 18 Bs/m<sup>3</sup> para una distancia de 11.70 Km.

### **3.8.2.4 Segundo Banco de Préstamo**

El segundo banco de préstamos para el mejoramiento de los tramos en estudio es la trituradora “VARGAS” ubicada en la comunidad de Santa Ana la nueva, en el primer puente carretera al Bermejo, se consideró este Trituradora de áridos por encontrarse en una ubicación estratégico para el traslado de áridos a los tramos en estudio.

La chancadora “VARGAS”, tiene una producción de áridos del 12 m<sup>3</sup>/día de arena triturada que pasa el tamiz número (10), 23 m<sup>3</sup>/día de grava de ¾ de diámetro y 25 m<sup>3</sup>/día de gravilla 3/8 de diámetro.

Los precios de los áridos que se comercializan son los siguientes:

Arena triturada: 80 bs el m<sup>3</sup>

Grava gruesa: 75 bs el m<sup>3</sup>

Gravilla: 70 bs el m<sup>3</sup>

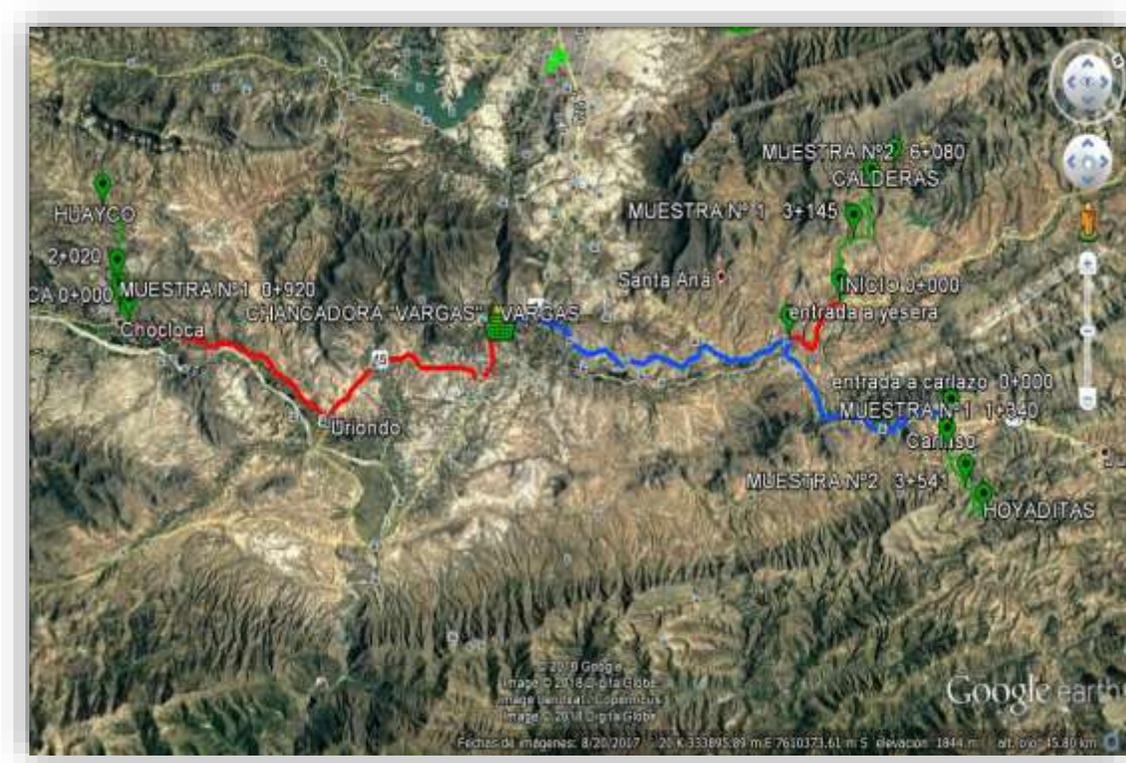
De este banco (CHANCADORA) se extrajo la arena triturada, material que la empresa comercializa para diferentes proyectos de construcción, en la siguiente figura se puede apreciar la ubicación del banco de extracción de la arena Triturada según siguiente cuadro.

**Tabla 67 Ubicación según coordenadas UTM**

Banco	Este	Norte
<b>Vargas</b>	329981	7608017

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 34 Trituradora Vargas**



*Fuente: Elaboración propia*

### **3.8.3 Tramos que abastecerá la triturados Vargas**

#### **3.8.3.1 Tramo N° 4 (Yesera Sud- Calderas)**

Este tramo cuenta con una distancia de 7.76 Km seleccionados para su mejoramiento, se encuentra a una distancia de 19.80 Km desde la Trituradora VARGAS hasta el comienzo del tramo a mejorar, según cotización el metro cubico de arena triturada tiene un precio de 80 Bs/m<sup>3</sup> y el costo de acarreo por metro cubico esta entre 30.46 Bs/m<sup>3</sup> para una distancia de 19.80 Km

#### **3.8.3.2 Tramo N° 5 (Carlazo- Hoyaditas)**

Este tramo cuenta con una distancia de 5.64 Km seleccionados para su mejoramiento, se encuentra a una distancia de 26.70 Km desde la Trituradora VARGAS hasta el comienzo del tramo a mejorar, según cotización el metro cubico de arena triturada tiene un precio de 80 Bs/m<sup>3</sup> y el costo de acarreo por metro cubico esta entre 41.07 Bs/m<sup>3</sup> para una distancia de 26.70 Km

#### **3.8.3.3 Tramo N° 6 (Chocloca – Huayco Grande)**

Este tramo cuenta con una distancia de 5.97 Km seleccionados para su mejoramiento, se encuentra a una distancia de 21.07 Km desde la Trituradora VARGAS hasta el comienzo del tramo a mejorar, según cotización el metro cubico de arena triturada tiene un precio de 80 Bs/m<sup>3</sup> y el costo de acarreo por metro cubico esta entre 33.38 Bs/m<sup>3</sup> para una distancia de 21.07 Km

### **3.9. ANÁLISIS DE COSTOS DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN**

Para el análisis final de costos se consideró los CBR más desfavorables, como así también las distancias de acarreo del material estabilizante desde el banco hasta el tramo en estudio, se describirá el porcentaje recomendado de estabilizante y el costo sugerido para el mejoramiento para un kilómetro del tramo.

A continuación se describirá los costos para cada uno de los tramos, haciendo una sugerencia a las autoridades de turno para que aplique este modelo de estabilización con arena triturada.

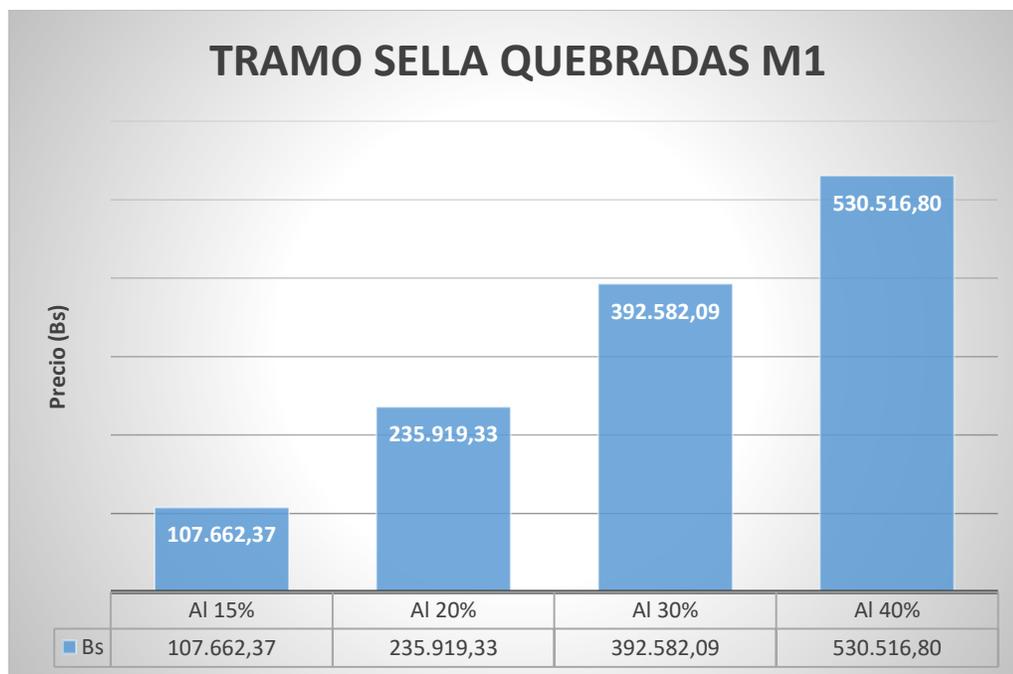
### 3.9.1 Tramo N° 1 (Sella Méndez- Sella Quebradas)

Tabla 68 Costos finales del tramo (Sella Méndez – Sella Quebradas)

	Costo por Km (Bs)	Distancia del tramo (Km)	Costo total del tramo (Bs)	CBR AI 100%	Espesor se capa (cm)
<b>AI 15%</b>	25.037,76	4,30	107.662,37	4	6
<b>AI 20%</b>	54.864,96	4,30	235.919,33	5	12
<b>AI 30%</b>	91.298,16	4,30	392.582,09	7	17
<b>AI 40%</b>	123.376,00	4,30	530.516,80	8	20

*Fuente: Elaboración propia*

Grafica. 31 Costos a Diferentes Porcentajes



*Fuente: Elaboración propia*

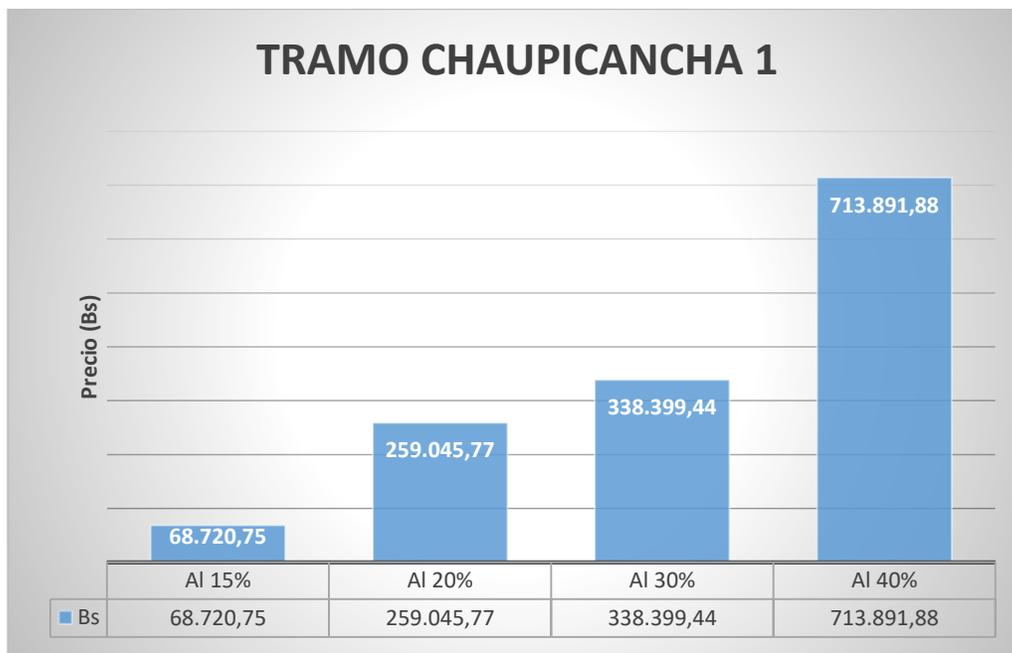
### 3.9.2 Tramo N° 2 (Chaupicancha- Cirminuelas)

Tabla 69 Costos finales del tramo (Chaupicancha – Cirminuelas)

	Costo por Km (Bs)	Distancia del tramo (Km)	Costo total del tramo (Bs)	CBR AI 100%	Espesor se capa (cm)
<b>AI 15%</b>	10.365,12	6,63	68.720,75	9	2
<b>AI 20%</b>	39.071,76	6,63	259.045,77	14	7
<b>AI 30%</b>	51.040,64	6,63	338.399,44	17	8
<b>AI 40%</b>	107.676,00	6,63	713.891,88	21	15

*Fuente: Elaboración propia*

Grafica. 32 Costos a Diferentes Porcentajes



*Fuente: Elaboración propia*

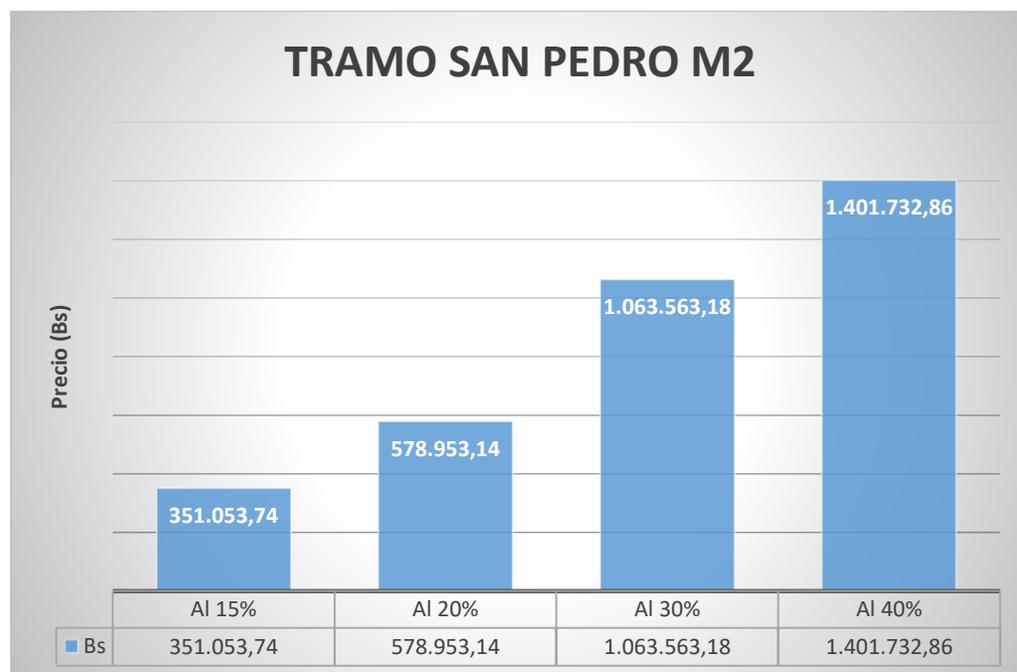
### 3.9.3 Tramo N° 3 (San Pedro – Rumicancha)

Tabla 70 Costos finales del tramo (San Pedro – Rumicancha)

	Costo por Km (Bs)	Distancia del tramo (Km)	Costo total del tramo (Bs)	CBR AI 100%	Espesor se capa (cm)
<b>AI 15%</b>	24.077,76	14,58	351.053,74	5	6
<b>AI 20%</b>	39.708,72	14,58	578.953,14	6	9
<b>AI 30%</b>	72.946,72	14,58	1.063.563,18	8	14
<b>AI 40%</b>	96.140,80	14,58	1.401.732,86	9	16

*Fuente: Elaboración propia*

Grafica. 33 Costos a Diferentes Porcentajes



*Fuente: Elaboración propia*

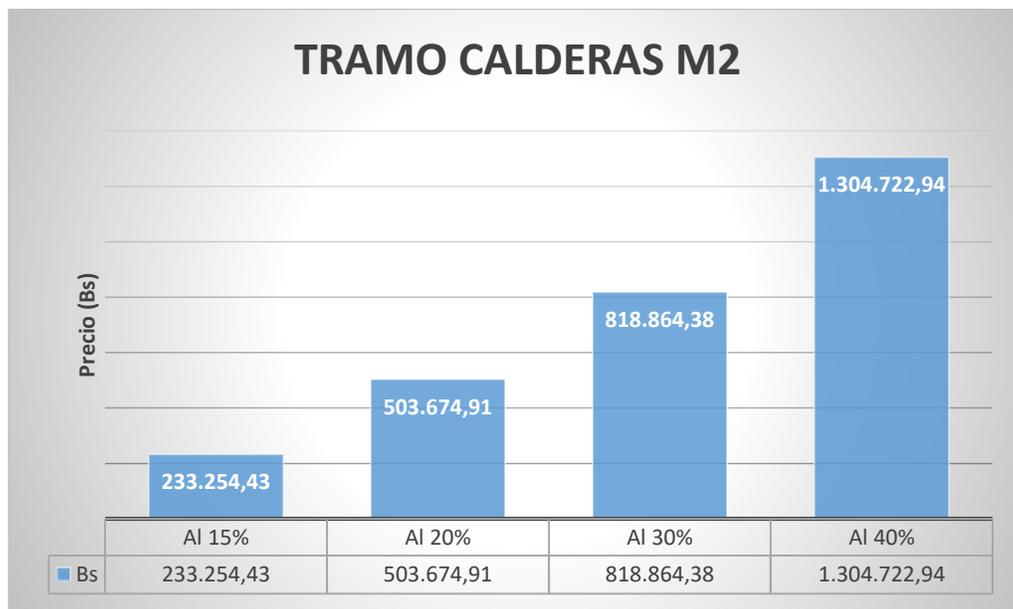
### 3.9.4 Tramo N° 4 (Yesera Sud- Calderas)

Tabla 71 Costos finales del tramo (Yesera Sud - Calderas)

	Costo por Km (Bs)	Distancia del tramo (Km)	Costo total del tramo (Bs)	CBR AI 100%	Espesor se capa (cm)
<b>AI 15%</b>	30.058,56	7,76	233.254,43	4	6
<b>AI 20%</b>	64.906,56	7,76	503.674,91	5	12
<b>AI 30%</b>	105.523,76	7,76	818.864,38	7	17
<b>AI 40%</b>	168.134,40	7,76	1.304.722,94	10	24

*Fuente: Elaboración propia*

Grafica. 34 Costos a Diferentes Porcentajes



*Fuente: Elaboración propia*

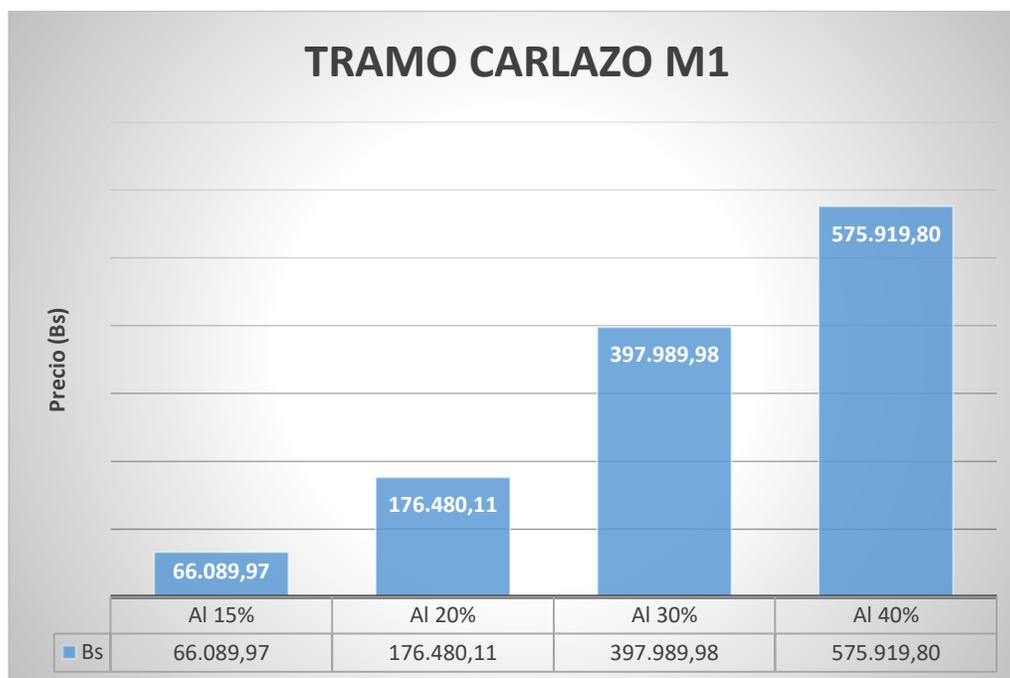
### 3.9.5 Tramo N° 5 (Carlazo- Hoyaditas)

Tabla 72 Costos finales del tramo (Carlazo - Hoyaditas)

	Costo por Km (Bs)	Distancia del tramo (Km)	Costo total del tramo (Bs)	CBR AI 100%	Espesor se capa (cm)
AI 15%	11.718,08	5,64	66.089,97	6	2
AI 20%	31.290,80	5,64	176.480,11	7	5
AI 30%	70.565,60	5,64	397.989,98	9	10
AI 40%	102.113,44	5,64	575.919,80	10	13

*Fuente: Elaboración propia*

Grafica. 35 Costos a Diferentes Porcentajes



*Fuente: Elaboración propia*

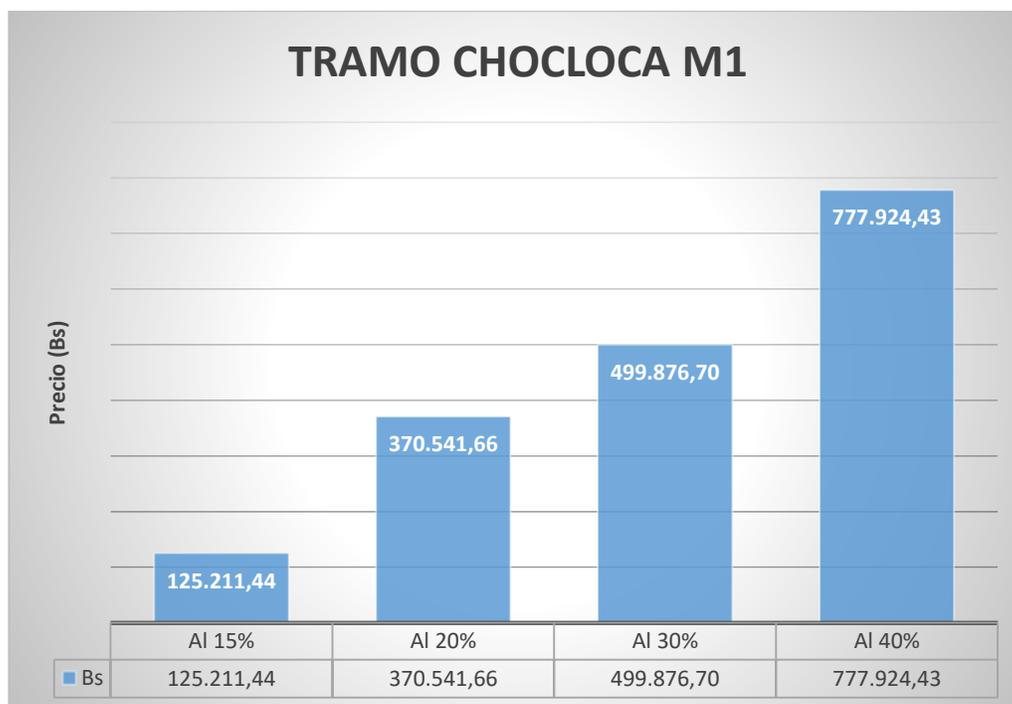
### 3.9.6 Tramo N° 6 (Chocloca – Huayco Grande)

Tabla 73 Costos finales del tramo (Chocloca – Huayco Grande)

	Costo por Km (Bs)	Distancia del tramo (Km)	Costo total del tramo (Bs)	CBR AI 100%	Espesor se capa (cm)
<b>AI 15%</b>	20.973,44	5,97	125.211,44	5	4
<b>AI 20%</b>	62.067,28	5,97	370.541,66	7	11
<b>AI 30%</b>	83.731,44	5,97	499.876,70	8	13
<b>AI 40%</b>	130.305,60	5,97	777.924,43	10	18

*Fuente: Elaboración propia*

Grafica. 36 Costos a Diferentes Porcentajes



*Fuente: Elaboración propia*

### CAPÍTULO III

#### ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE UN SUELO FINO AL COMBINARLO CON DEFERENTES PORCENTAJES DE ARENA TRITURADA

##### 3.2 TRAMOS EN ESTUDIO

Para el proyecto de investigación se seleccionó tramos que se encuentren en el área rural del departamento de Tarija, esto debido a que estos tramos presentan dificultades de transpirabilidad en épocas más desfavorables (época de lluvias), estos caminos de tierra sufren cambios debido a su composición de suelos finos no permiten la transpirabilidad vehicular en esta época del año.

Se seleccionó 6 tramos en el área rural cercanas a la ciudad de Tarija, los mismos que presentan ciertos grados inestabilidad en épocas de lluvia.

A continuación se describirá los tramos seleccionados para el estudio de investigación con el cual se pretende mejorar sus propiedades mecánicas de los suelos inestables.

**Tabla 74 Tramos para el estudio de investigación**

Nº Tramo	Comunidades donde se ubica el tramo
1	Sella Méndez-Sella Quebrada
2	Chaupicancha- Cirminuelas
3	San Pedro- Rumicancha
4	Yesera Sud- Calderas
5	Carlazo – Hoyaditas
6	Chocloca – Huayco Grande

*Fuente: Elaboración propia*

Cabe hacer notar que la selección de los tramos se lo realizo después de hacer una inspección visual a varios tramos cercanos a la ciudad de Tarija, de los cuales se selección aquellos que presentaron visualmente composición de suelos finos, o arcillosos expansivos, los cuales sabemos que por teoría son desfavorables en época de lluvias.

### **3.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRAMOS EN ESTUDIO**

A continuación se procederá a describir los tramos que serán sujetos a estudios en laboratorio de suelos, estos tramos de caminos de tierras descritos anteriormente se procederá a describirlos, empezando por la ubicación, longitud de tramo y las coordenadas exactas del punto de extracción de muestra para analizar en laboratorio.

Los tramos seleccionados para nuestro trabajo de investigación en el momento de la inspección visual presentan ciertos deterioros superficiales, de tal motivo se los considero como tramos que en un futuro se los podría mejorar con nuestro trabajo de investigación, siempre y cuando este estudio resulte favorables a la hipótesis planteada.

También resaltar que los tramos seleccionados son caminos rurales en los cuales en su mayoría de los casos están distantes del centro de la ciudad por lo cual son olvidados por las autoridades encargadas del mantenimiento correspondiente, esto hace que con el pasar del tiempo sufran deterioros mayores y no permitan la transpirabilidad en épocas de mucha lluvia, perjudicando al usuario de trasportar sus productos de cosecha en la temporada más abundante del año.

Para cumplir este requisito se izó uso del software llamado Google earth, para medir la longitud aproximada del tramo de la comunidad, como también la captura correspondiente del sector donde se ubica.

Para la obtención de coordenadas del punto donde se extrajo la muestra se utilizó un navegador GPS, el cual nos da coordenadas aproximadas del punto de nuestro interés

### 3.2.1 Tramo N° 1 (Sella Méndez- Sella Quebradas)

Este tramo se encuentra ubicado en la provincia Méndez de la ciudad de Tarija, comunica a sella Méndez con la comunidad de Sella Quebradas, cuenta con una longitud de 4.30 km, según consulta a comuneros del lugar pudimos establecer el punto de inicio en la iglesia de San Antonio de la comunidad de sella Méndez, siendo este nuestra progresiva 0+000.

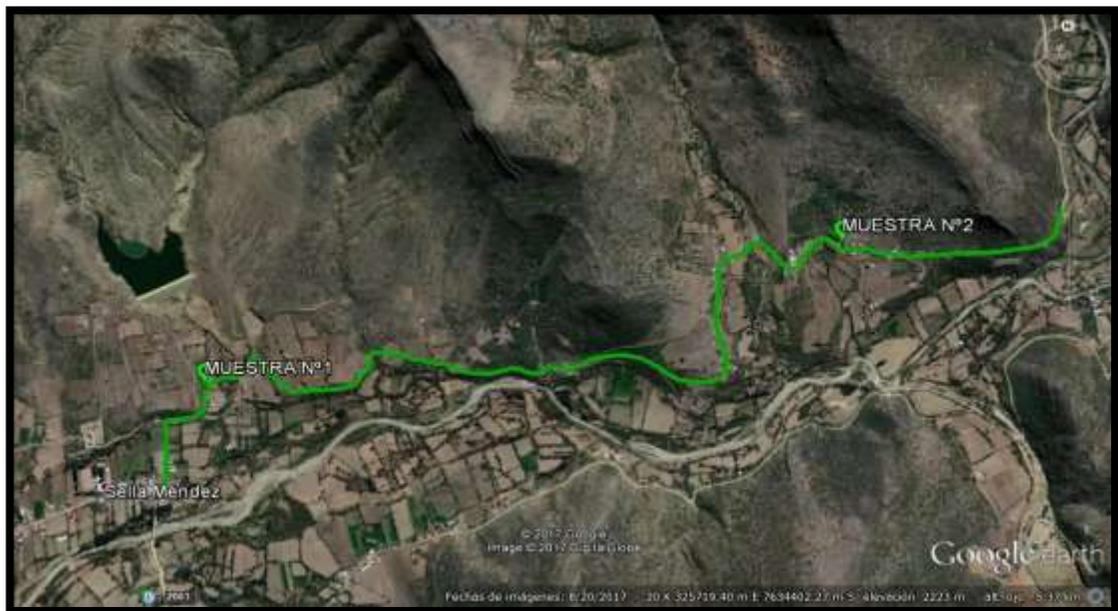
En este tramo se levantó dos muestras para el análisis en laboratorio las cuales esta ubicadas según la siguiente descripción en tabla.

**Tabla 75 Ubicación de muestras tramo Sella Méndez-Sella Quebradas**

Muestra	Progr.	Este	Norte
<b>Muestra N.º 1</b>	0+230	324468	7634245
<b>Muestra N.º 2</b>	3+212	326666	7634527

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 35 Tramo Sella Méndez-Sella Quebradas**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.2 Tramo N° 2 (Chaupicancha- Cirminuelas)

Este tramo se encuentra ubicado en la provincia Méndez de la ciudad de Tarija, es la continuación del tramos de Sella Las Quebradas, para distinguirlo establecimos la progresiva 0+000 en el cruce del rio sella quebradas.

Este tramo de camino de tierra tiene una longitud promedio de 6.633 km desde el cruce del rio sella hasta empalmar con la comunidad de Cirminuelas.

En este tramo se levantó dos muestras para el análisis en laboratorio las cuales esta ubicadas según la siguiente descripción en tabla.

**Tabla 76 Ubicación de muestras tramo Chaupicancha - Cirminuelas**

Muestra	Progr.	Este	Norte
<b>Muestra N.º 1</b>	3+305	328028	7639400
<b>Muestra N.º 2</b>	5+442	328386	7640899

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 36 Tramo Chaupicancha - Cirminuelas**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.3 Tramo N° 3 (San Pedro – Rumicancha)

Este tramo tiene su inicio en la comunidad de monde sud, a unos 500 metros de la parada de micros de la línea D, es una derivación del a carretera asfaltada que comunica a las comunidades de monte sud, monte centro y al mismo tiempo comunica a sella cercado con la ciudad de Tarija.

Este tramo de camino de tierra tiene una longitud aproximada de 14.582 km desde el cruce de la carretera asfaltada hasta el cementerio de sella quebradas.

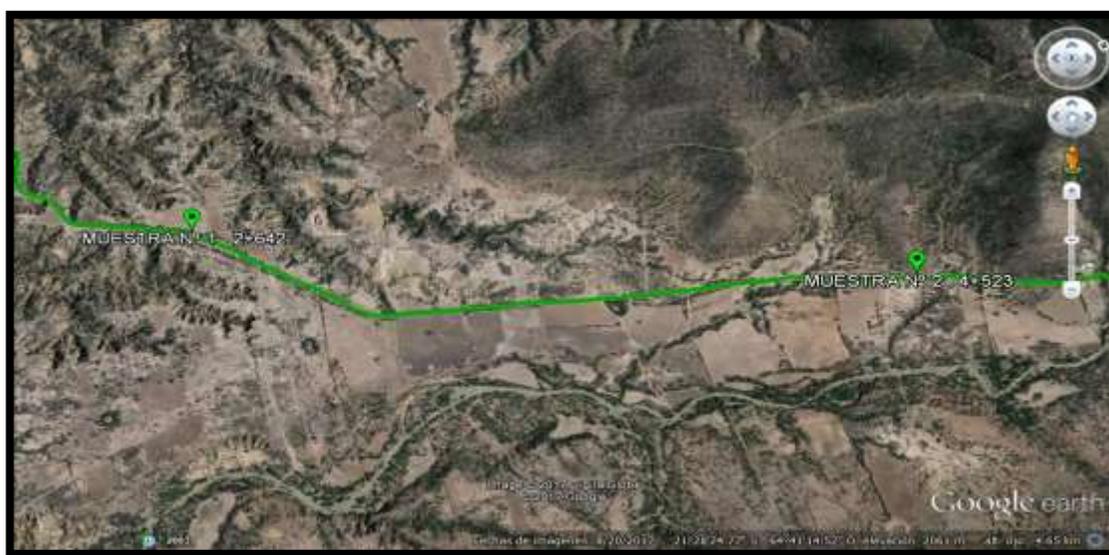
En este tramo se levantó dos muestras para el análisis en laboratorio las cuales esta ubicadas según la siguiente descripción en tabla.

**Tabla 77 Ubicación de muestras tramo San Pedro - Rumicancha**

Muestra	Progr.	Este	Norte
<b>Muestra N°1</b>	2+642	324575	7623646
<b>Muestra N°2</b>	4+523	325562	7625367

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 37 Tramo San Pedro - Rumicancha**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.4 Tramo N° 4 (Yesera Sud- Calderas)

Este tramo se encuentra ubicado en la provincia Cercado de la ciudad de Tarija, este tramo tiene su inicio en la comunidad de yesera sud a la altura de pampa grande de la nueva carretera que comunica a las comunidades de yesera centro y yesera norte.

Este tramo de camino de tierra tiene una longitud promedio de 7,76 km desde la carretera asfaltada hasta la comunidad de Calderas al centro.

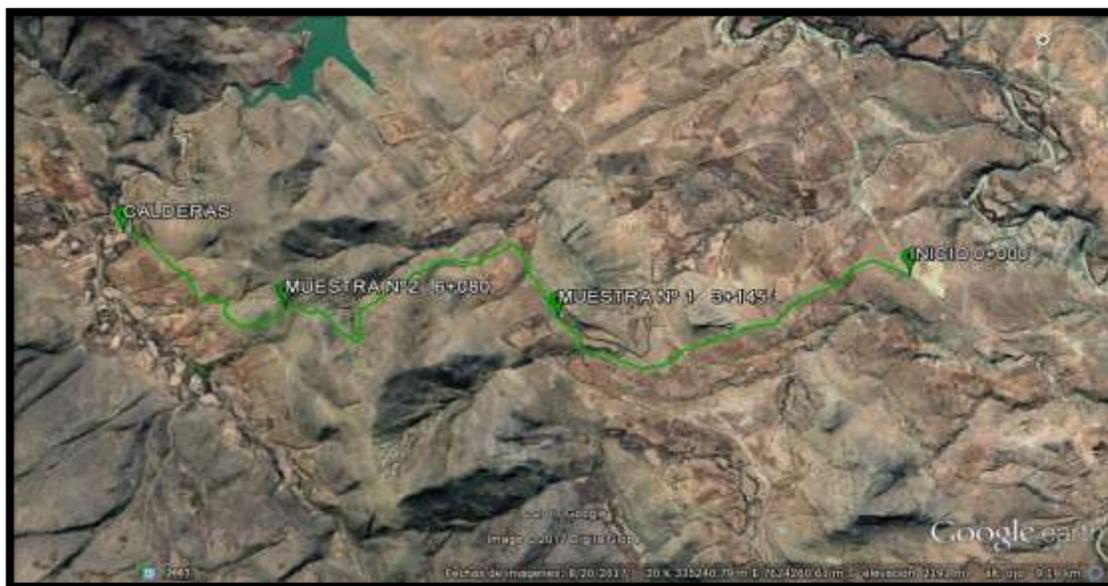
En este tramo se levantó dos muestras para el análisis en laboratorio las cuales esta ubicadas según la siguiente descripción en tabla.

**Tabla 78 Ubicación de muestras tramo Yesera Sud- Calderas**

Muestra	Progr.	Este	Norte
<b>Muestra N°1</b>	3+145	335088	7624201
<b>Muestra N°2</b>	6+080	333953	7625809

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 38 Tramo Yesera Sud- Calderas**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.5 Tramo N° 5 (Carlazo- Hoyaditas)

Este tramo se encuentra ubicado en la provincia Ocoonor de la ciudad de Tarija, este tramo de camino de tierra comunica a las comunidades de Carlazo con la comunidad de Hoyaditas, las mismas que se ubican al margen derecho de la carretera al Chaco.

Este tramo de camino de tierra tiene una longitud promedio de 5,642 km desde el cruce de la carretera que va al chaco hasta empalmar con la comunidad de Hoyaditas.

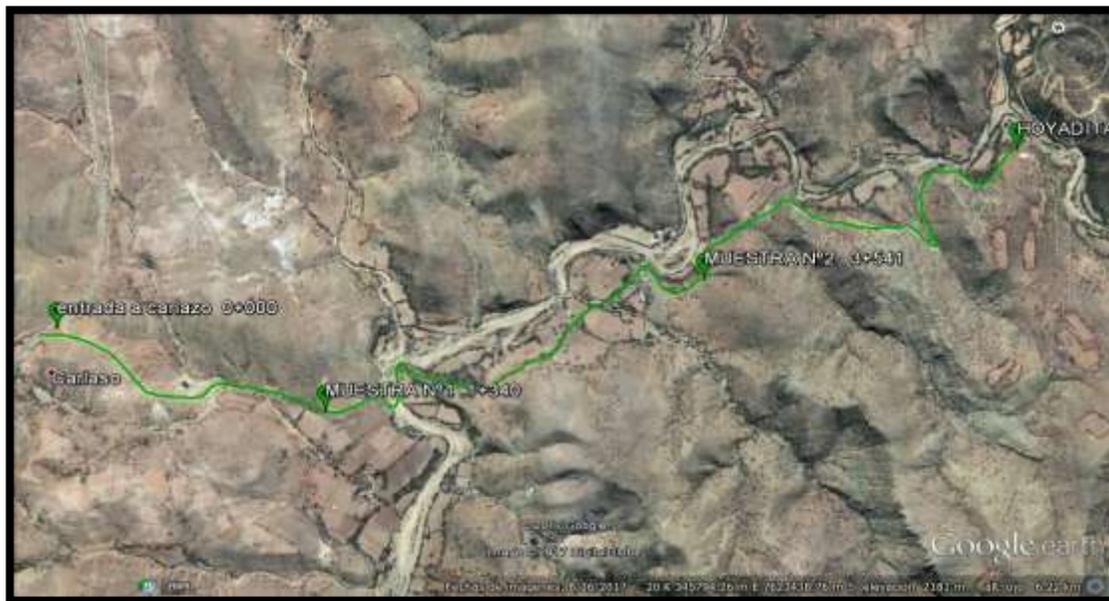
En este tramo se levantó dos muestras para el análisis en laboratorio las cuales esta ubicadas según la siguiente descripción en tabla.

**Tabla 79 Ubicación de muestras tramo Carlazo- Hoyaditas**

Muestra	Progr.	Este	Norte
<b>Muestra N°1</b>	1+340	3446700	7623345
<b>Muestra N°2</b>	3+541	346386	7623332

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 39 Tramo Carlazo- Hoyaditas**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.2.6 Tramo N° 6 (Chocloca – Huayco Grande)

Este tramo se encuentra ubicado en la provincia Avilés de la ciudad de Tarija, este tramo de camino de tierra comunica a las comunidades de Chocloca con la comunidad de Huayco Grande distante a 5+972 km, considerando como inicio a la carretera a Chaguaya.

En este tramo se levantó dos muestras para el análisis en laboratorio las cuales esta ubicadas según la siguiente descripción en tabla.

**Tabla 80 Ubicación de muestras tramo Chocloca – Huayco Grande**

Muestra	Progr.	Este	Norte
<b>Muestra N°1</b>	0+920	319913	7594082
<b>Muestra N°2</b>	2+020	319045	7594491

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 40 Tramo Chocloca – Huayco Grande**



*Fuente: Elaboración propia*

### **3.3 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL A MEJORAR**

Para conocer las propiedades de los suelos en el proyecto de investigación, se procedió a tomar 2 muestras de cada tramo descritos anteriores, posteriormente en el Laboratorio de suelos perteneciente a la universidad autónoma Juan Misael Saracho, se procedió a realizar todos los ensayos necesarios para poder clasificar y determinar sus propiedades físico-mecánicas y clasificación de las mismas según la norma AASHTO (ver Anexo) Clasificación de suelos según SUCS).

Hacer notar que solo se analizara el TRAMO N°1 MUESTRA 1 (SELLA MÉNDEZ – SELLA QUEBRADAS), esto debido a que el resto mantiene el mismo procedimiento de ensayo en laboratorio de Suelos.

#### **3.3.1 Análisis granulométrico (Astm D 422 Aashto T88) tramo (Sella Méndez – Sella Quebradas), muestra N° 1**

La prueba de granulometría sirve para determinar el porcentaje en peso de las partículas de diferentes tamaños, teniendo una visión de la distribución del tamaño de los granos presentes en un suelo, al ver que la muestra de suelo pasa todos los tamices (3" hasta el número 10), se opta por hacer el método de lavado

El ensayo de análisis granulométrico por tamizado se realizó mediante el método del lavado en el cual se pesa 500 gr como peso total, se procede a realizar el lavado por la malla número 200 de acuerdo a la norma AASHTO-T88 (Ver Fig.3.8 ). Después que el suelo está seco se pesa y se procede al tamizado por la malla N° 40 y 200, desde arriba hacia abajo. El primer tamiz, es el de mayor tamaño y es donde inicia el tamizado. Se tapa con el fin de evitar pérdidas de finos; el último tamiz está abajo y descansa sobre un recipiente (base) de forma igual a uno de los tamices, y recibe el material más fino no retenido por ningún tamiz. Luego proceder a realizar el pesaje del material retenido en cada malla.

**Fig. 41 Lavado de la muestra por el tamiz N° 200**



*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 42. Tamizado y pesado del suelo después del lavado**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 81 Resultado del análisis granulométrico del suelo natural muestra 1**

Peso Total (gr.)			464,30	A.S.T.M.	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% Que Pasa del Total
3"	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº10	2,00	14,70	14,70	3,17	96,83
Nº40	0,425	27,00	41,70	8,98	91,02
Nº200	0,075	48,80	90,50	19,49	80,51

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.2 Límites de Atterberg (ASTM D4318 AASHTO T90-T89)

Los límites de plasticidad se realizaron conforme a la norma y éste corresponde a la humedad, o sea el porcentaje de agua respecto al peso de los sólidos en que los finos de los materiales pasan de una consistencia a otra.

- Límite Líquido:** Se determina mediante el método de la cuchara de casa grande (NLT-105). El ensayo se basa en la determinación de la cantidad de agua mínima que se puede contener en una pasta formado de maso menos 100 gr de suelo seco que haya pasado el tamiz Nº40. Para ello, se coloca sobre el mencionado Casa Grnde y se acciona el mecanismo de este, contándose el número de golpes necesario para cerrar un surco (realizado previamente con un ranurador normalizado) en una longitud alrededor de 12mm. El ensayo se dará por valido cuando se obtengan determinaciones entre 15-20; 20-25; 25-30; 30-35 golpes. La humedad correspondiente al límite líquido será la correspondiente a 25 golpes, y se determinara interpolando en una gráfica normalizada las cuatro determinaciones obtenidas experimentalmente.

- **Límite Plástico (NLT-106):** Se determina en base de la menor humedad de un suelo que permite realizar con el cilindros de 3 mm de diámetro que presenten fisuras sin que se desmoronen, realizándose 4 determinaciones y hallando la media .Este ensayo se realiza con aproximadamente 200 gr. De muestra seca y filtrada a través tamiz N°40 ,como en el caso anterior

A la diferencia entre ambos limites se denomina “índice de plasticidad” (IP), y da una idea del grado de plasticidad que presenta el suelo; un suelo muy plástico tendrá un alto índice de plasticidad. En las Figuras se puede observar parte del desarrollo del ensayo del límite líquido y plástico.

**Fig. 43 Realización del ensayo de límites de Atterberg**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 82 Resultados de los Límites de Atterberg**

<b>Límite líquido (LL)</b>	51
<b>Límite plástico (LP)</b>	36
<b>Índice de plasticidad (IP)</b>	16
<b>Índice de grupo (IG)</b>	13

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.3 Contenido de humedad y clasificación del suelo

El ensayo de contenido de humedad natural (ASTM D2216) se realizó de acuerdo a lo especificado en el Vol.4C del manual de carreteras.

**Tabla 83 Tabla de Resultados del contenido de humedad**

Suelo	%
Contenido de humedad	7,69

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 84 Tabla de Resultados de la Clasificación del suelo**

SUCS:	MH	Limo inorgánico de alta plasticidad
AASHTO:	A-7-5(13)	

*Fuente: Elaboración propia*

Según SUCS “MH” y según AASTHO A-7-5 (13) Limo inorgánico de alta plasticidad, además se aprecia que tiene in índice de grupo de (13).

### 3.3.4 Compactación (AASHTO T-99/ ASTM D1557)

El ensayo de proctor se realizó por el método de la norma (AASHTO T-99/ ASTM D1557) modificado y permite conocer el grado de humedad de un suelo para alcanzar una densidad máxima aplicando una energía de compactación determinada.

El agua, al actuar como lubricante de las partículas de un suelo facilita la compactación de un suelo seco y encontrar la humedad óptima para alcanzar una densidad máxima seca con una misma energía de comparación. La prueba es importante para controlar la calidad de los procesos de compactación que se le dan a las capas de bases y sub-bases varían entre el 95% y el 100%.

El procedimiento de ensayo consiste en apisonar en 3 capas consecutivas una cantidad aproximadamente de 3 kg de suelo previamente tamizada por el tamiz N°4 y dividida por cuarteo en 3 partes aproximadamente iguales. La muestra se humecta y se introduce en un molde metálico de dimensiones normalizadas (968.4 cm<sup>3</sup>).

Para llevar a cabo el apisonado se emplea un pistón también normalizado, de forma que su peso y altura de caída no varíen, lo que asegura una energía de compactación

constante. La normativa estipula una cantidad de 56 golpes con el pistón por cada capa de suelo. Se realizan alrededor de 4 a 5 determinaciones con diferente grado de humedad construyendo la curva “humedad-densidad seca”.

En las siguientes Figura se muestra la realización del ensayo de compactación para el proyecto en estudio.

**Fig. 44 Proceso del ensayo de compactación.**

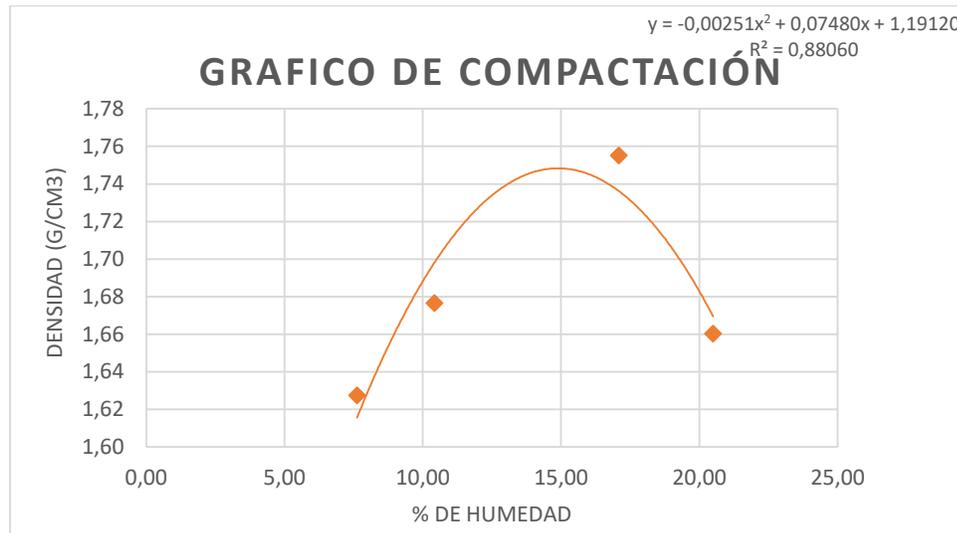


*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 85 Tabla de resultados de la Compactación del suelo**

Densidad máxima	1,75	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad óptima	<b>14,90</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 37 Densidad vs humedad**

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.3.5 Relación de soporte de california CBR (ASTM de 1883\_ AASHTO t-193)

El ensayo C.B.R, se realizó de acuerdo a la norma AASHTO T-193, para obtener la resistencia del suelo, y así evaluar la capacidad de soporte del suelo en la capa de subrasante camino de tierra.

Para la obtención de los diferentes CBR se efectuaron tres moldes con distinta energía de compactación; la primera con 12 golpes, la segunda con 25 golpes y la tercera, con 56 golpes por cada ensayo de CBR. Las muestras elaboradas bajo estos procedimientos, se sometieron a un proceso de inmersión en agua para simular las condiciones de saturación a las cuales podrían estar sometidos los suelos como es la subrasante de una carretera, y en esta forma, obtener los C.B.R de los suelos bajo las condiciones más críticas ; esto durante un período mínimo de 96 horas donde se colocan pesas sobre las mismas, con el objeto de simular las cargas tanto vehiculares , como de la estructura de pavimento y por otro lado determinar su expansión efectuando 4 lecturas empleando un extensómetro debidamente calibrado. El ensayo de penetración se basa en la aplicación de una presión a una velocidad normalizada creciente efectuada mediante la prensa a la que va acopiada un pistón de sección circular sobre la muestra de suelo compactado con la humedad óptima. Luego de realizar el ensayo de penetración se

procede a sacar humedades de cada molde del fondo, superficie y 2" de superficie para determinar sus densidades.

A continuación se gráfica el proceso del ensayo de CBR.

**Fig. 45 Proceso de inmersión y penetración del ensayo de CBR**



*Fuente: Elaboración propia*

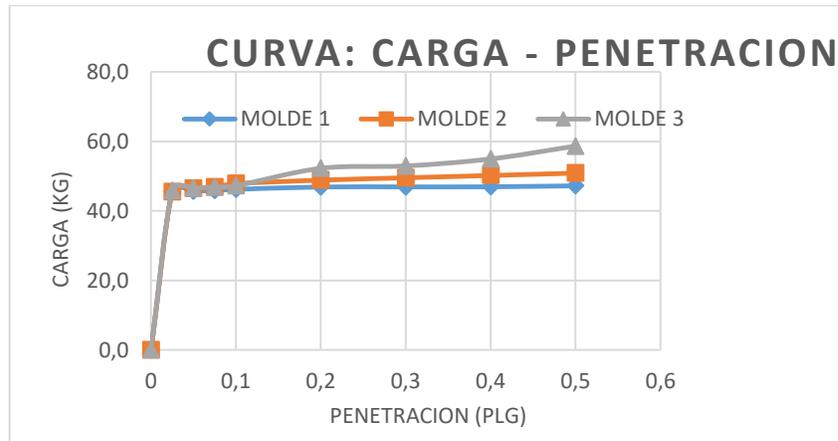
**Tabla 86 Resultados del ensayo CBR sin estabilizar**

Suelo puro			
N°	CBR (100%)	CBR (%) al 95% Dmax	% Expansión
1	3	3	4

*Fuente: Elaboración propia*

Se realizaron uno ensayos de CBR con el suelo sin estabilizar para caracterizar la resistencia del suelo y se observa que es un material expansivo y con un valor bajo de CBR por lo que necesita ser mejorado.

**Grafica. 38 Curva: carga vs penetración**

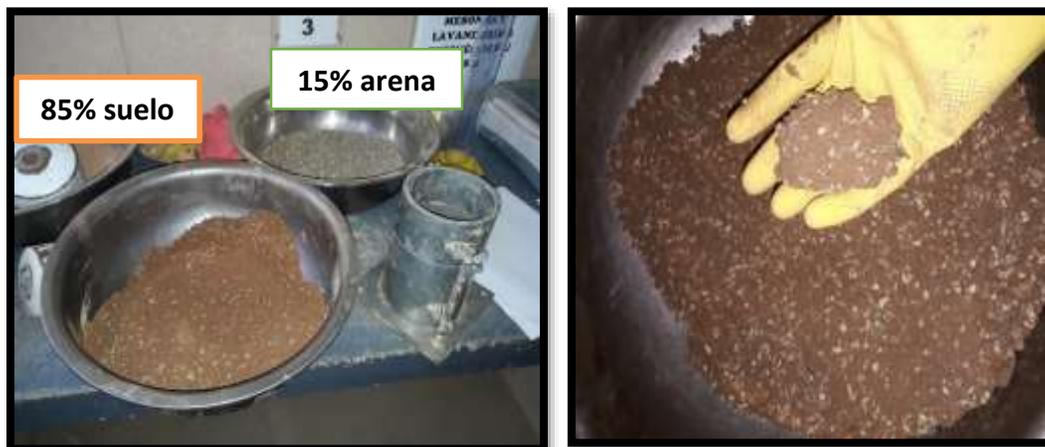


*Fuente: Elaboración propia*

### 3.5 CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA A DIFERENTES (%)

#### 3.4.1 Al 15 % de arena triturada y 85 % suelo

**Fig. 46 Mezcla 15 % arena triturada y 85% suelo**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.2 Análisis granulométrico de la mezcla al 15% residuo y 85% suelo

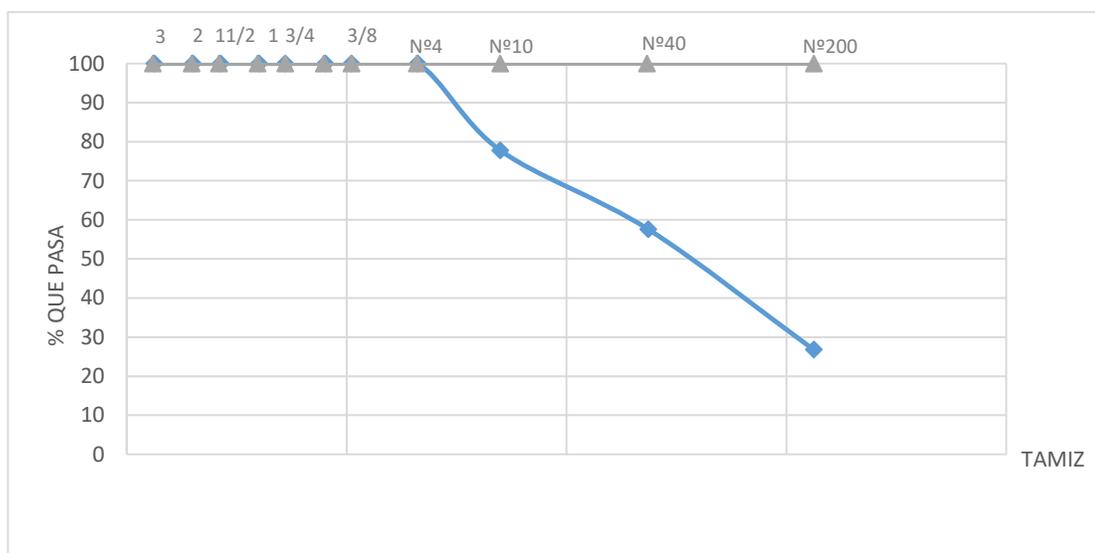
Se realizó el análisis granulométrico controlando los pesos retenidos en cada tamiz tanto de arena triturada como del suelo natural, teniendo en cuenta sus respectivos porcentajes de 15% residuo y 85% suelo.

**Tabla 87 Resultados del análisis granulométrico de la mezcla al 15%**

Tamices	% Que Pasa
	del Total
3"	100,00
2"	100,00
1 1/2"	100,00
1"	100,00
3/4"	100,00
1/2"	100,00
3/8"	100,00
Nº4	100,00
Nº10	77,79
Nº40	57,61
Nº200	26,77

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 39 Curva granulométrica de la mezcla 15% arena y 85% suelo**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.3 Compactación (AASHTO T-99/ ASTM D1557)

Para la determinación de la humedad óptima y la densidad máxima en laboratorio se realizó mediante una combinación entre la compactación estándar y modificado, por tratarse de un suelo fino se realizó el molde de T-99 y la energía que se empleó fue la de T-180 de compactación modificada por ser un ensayo que representa mejor las condiciones de campo o zonas en estudio, las características de ambos ensayos fueron descritas en el capítulo anterior.

Se procedió a mezclar 15% de arena triturada con el debido control de la granulometría patrón con el 85% de suelo natural, para posteriormente se procedió a compactar en 3 capas, cada capa de 25 golpes, con diferentes porcentajes de humedad, para poder obtener la densidad máxima a una humedad óptima.

**Fig. 47 Mezcla y molde compactado**

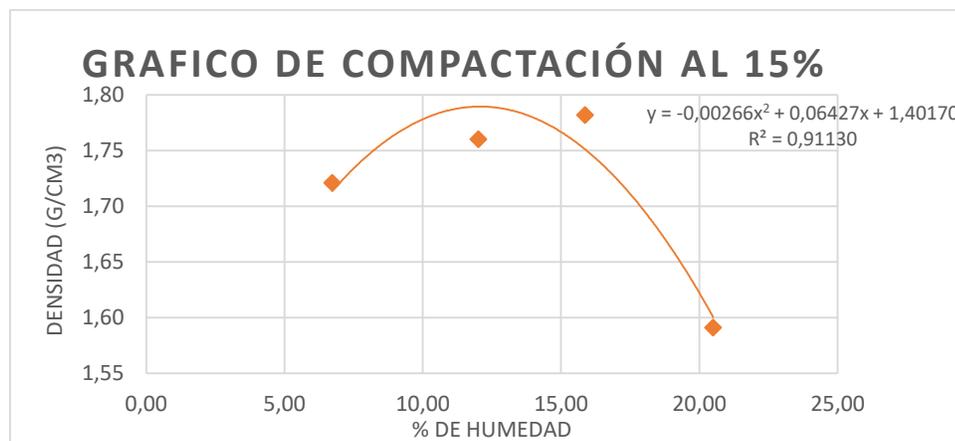


*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 88 Resultados de la Compactación de la mezcla 15% arena y 85% suelo**

Densidad máxima	1,79	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad optima	12,1	%

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 40 Compactación de la mezcla al 15% de arena triturada.**

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.4 Relación de soporte de california CBR (ASTM D 1883\_ AASHTO T-193)

Con la compactación de la mezcla se obtuvo la densidad máxima y la humedad óptima, con la cual partimos para realizar los 3 ensayos de CBR correspondientes a la mezcla 15% Residuo y 85% Suelo, los cuales para un CBR se los realiza compactando tres moldes de 5 capas cada uno, pero con distintos golpes cada molde, 12, 25 y 56 golpes, de esta manera cada molde está compactado con distintos niveles de energía, posteriormente se los pesa, se lee con el extensómetro y se los sumerge en agua durante 4 días, realizando lecturas cada 24hr con el extensómetro, pasado los 4 días, se procede a leer en la prensa la presión que puede soportar la mezcla. Al desmoldar cada molde se controla la humedad de la mezcla de la superficie, del fondo y de 2'' de la superficie extrayendo muestras en taras.

A continuación se presenta los resultados del CBR ensayos respectivos para su porcentaje de mezcla.

**Tabla 89** Tabla de CBR al 15% de arena

CBR 100% D.máx	
	<b>4,39%</b>
CBR 95% D.Máx.	
	<b>2,690%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 48** Moldes compactados a diferentes golpes



**Fig. 49** Rotura del CBR en prensa

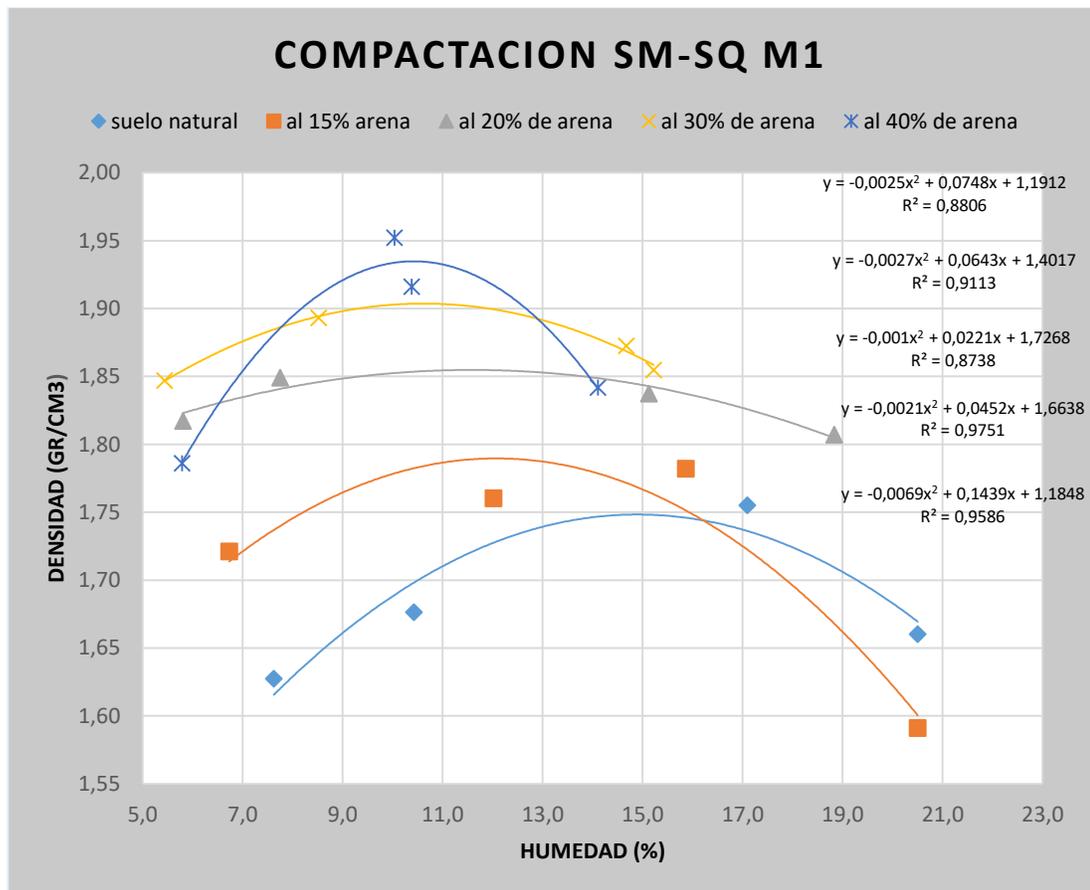


*Fuente: Elaboración propia*

### 3.7 Análisis de los resultados del estudio.

#### 3.7.1 Análisis de compactación de una muestra vs el 15% de arena

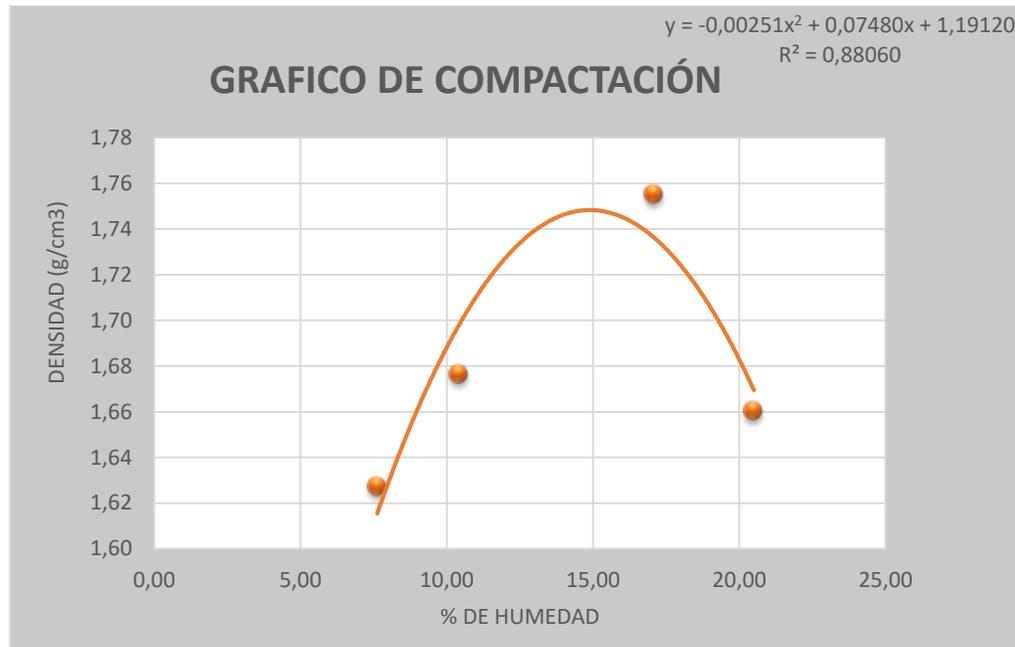
**Grafica. 41** Curvas de compactación a diferentes porcentajes de arena tritura



*Fuente: Elaboración propia*

En esta grafica podemos se puede apreciar 5 curvas de densidad, una es la curva en que representa al suelo natural y las demás son a los porcentajes de 15%, 20%, 30%, 40%.

En las gráficas se puede apreciar claramente que la del suelo natural tiene una densidad menor en comparación a las del resto, como también el porcentaje de humedad es mayor, esto no hace concluir que el suelo aplicando porcentajes de arena triturada va mejorando su densidad cuanto mayor es el porcentaje.

**Grafica. 42 Curva patrón de compactación de suelo puro**

*Fuente: Elaboración propia*

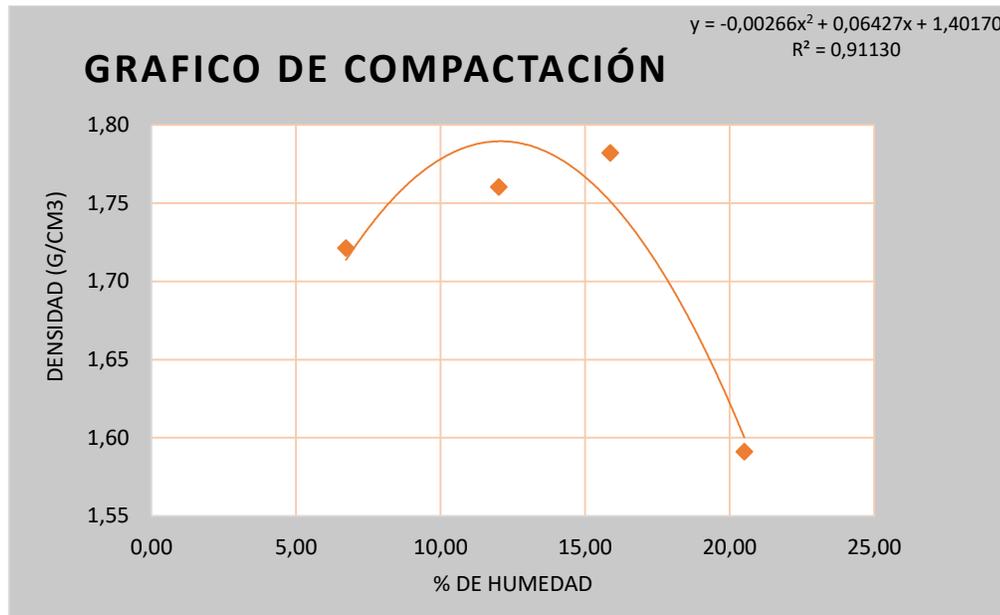
**Tabla 90 Densidad y humedad**

Densidad máxima	1,75	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad optima	<b>14,90</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Analizamos esta curva patrón de compactación de suelo en estado natural, tiene un rango de porcentaje de humedad de 7,62% a 20,50% de humedad, con una densidad máxima de 1.748 gr/cm<sup>3</sup> para una humedad optima de 14,9 %, pertenecientes a una clasificación de suelo A-7-5(13) por el método AASHTO y un suelo MH (limo inorgánico de alta plasticidad) que fue clasificado por el método SUCS.

**Grafica. 43 Curva de compactación de 15% de arena 85% suelo**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 91 Densidad y humedad**

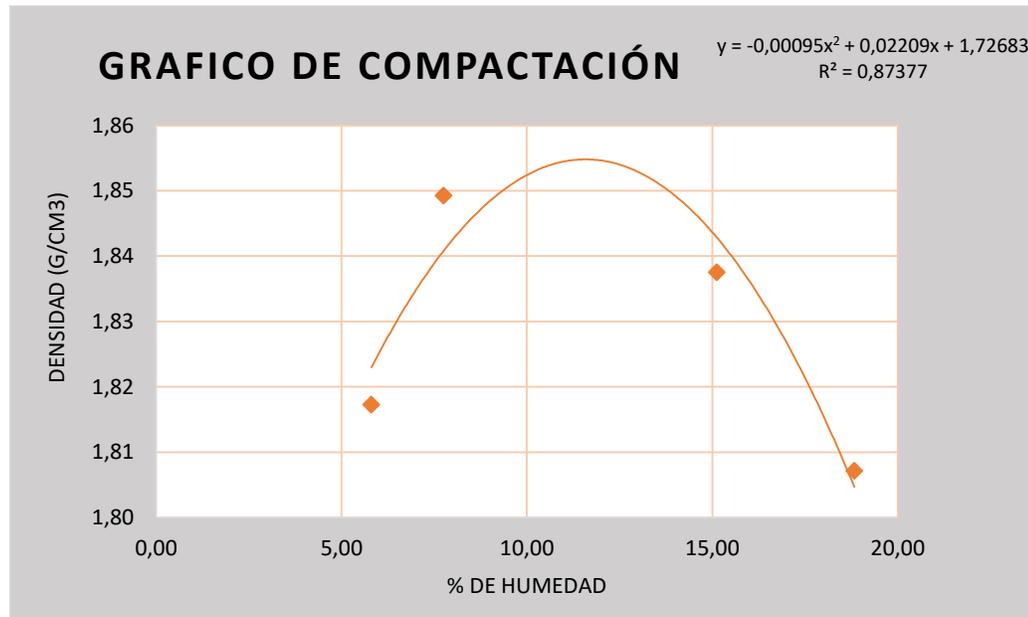
Densidad máxima	1,79	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad óptima	<b>12,10</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Analizamos esta curva de compactación de 15% de arena triturada y un 85% de suelo natural, tiene un rango de porcentaje de humedad de 6.73% a 20.50% de humedad, con una densidad máxima de 1.790 gr/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima de 12.1 %, pertenecientes a una mezcla del 15% de arena triturada con un 85% de un suelo fino -2-7(1).

El rango de porcentaje de humedad disminuyó en un 2.8%, la densidad máxima aumentó en un 3.90%, respecto de la curva patrón de compactación de suelo puro.

**Grafica. 44 Curva de compactación de 20% de arena 80% de suelo**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 92 Densidad y humedad**

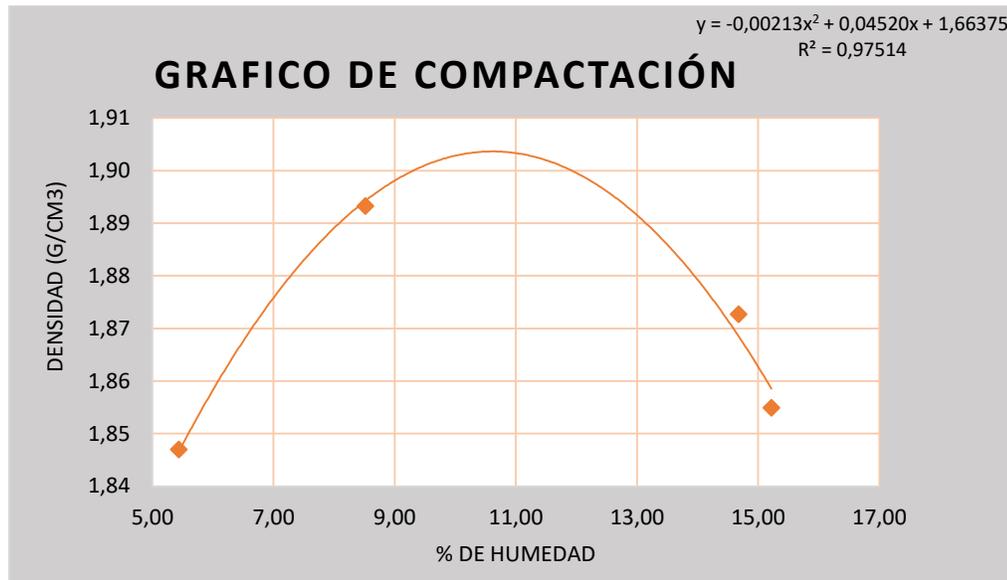
Densidad máxima	1,86	gr/cm <sup>3</sup>
Humedad optima	<b>11,60</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Analizamos esta curva de compactación de 20% de arena triturada y un 80% de suelo natural, tiene un rango de porcentaje de humedad de 5.81% a 18.83% de humedad, con una densidad máxima de 1.855 gr/cm<sup>3</sup> y una humedad optima de 11.6 %, pertenecientes a una mezcla del 20% de arena triturada 80% de un suelo A-2-7(0).

El rango de porcentaje de humedad disminuyo en un 13.02%, la densidad máxima aumento en un 10.7%, y la humedad optima disminuyo en un 3.30%, respecto de la curva patrón de compactación de suelo natural.

**Grafica. 45 Curva de compactación de 30% arena tritura 70% suelo**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 93 Densidad y humedad**

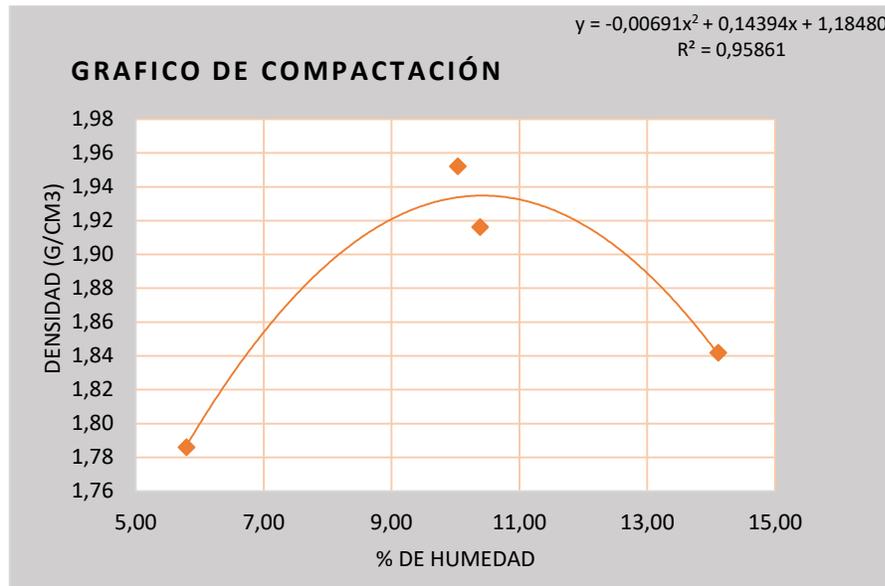
<b>Densidad máxima</b>	<b>1,90</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Humedad óptima</b>	<b>10.60</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Analizamos esta curva de compactación de 30% de arena triturada y un 70% de suelo natural, tiene un rango de porcentaje de humedad de 5.44% a 15.22% de humedad, con una densidad máxima de 1.904 gr/cm<sup>3</sup> y una humedad óptima de 10.60 %, pertenecientes a una mezcla del 30% de arena triturada 70% de un suelo A-2-7(0) según norma AASHTO y según la clasificación SUCS es de un suelo SC (arena arcillosa).

El rango de porcentaje de humedad disminuyó en un 9.78%, la densidad máxima aumentó en un 15.60%, y la humedad óptima disminuyó en un 4.3%, respecto de la curva patrón de compactación de suelo natural.

**Grafica. 46 Curva de compactación de 40% arena tritura 60% suelo**



*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 94 Densidad y humedad**

<b>Densidad máxima</b>	<b>1,93</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Humedad optima</b>	<b>10.40</b>	<b>%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Analizamos esta curva de compactación de 40% de arena triturada y un 60% de suelo natural, tiene un rango de porcentaje de humedad de 5.79% a 14.11% de humedad, con una densidad máxima de 1.934 gr/cm<sup>3</sup> y una humedad optima de 10.40%, pertenecientes a una mezcla del 40% de arena triturada 60% de un suelo A-2-7(0) según norma AASHTO y según la clasificación SUCS es de un suelo SC (arena arcillosa).

El rango de porcentaje de humedad disminuyo en un 8.32%, la densidad máxima aumento en un 18.60%, y la humedad optima disminuyo en un 4.50%, respecto de la curva patrón de compactación de suelo natural.

### 3.7.2 Análisis de los resultados de CBR, muestra 1 a diferentes porcentajes de arena triturada.

Se realizaron 10 CBR por cada tramo analizado, o sea 5 CBR por cada muestra extraída en campo 1 para el suelo natural, 1 al 15% de arena, 1 al 20% de arena, 1 al 30% de arena y 1 al 40% de arena.

**Tabla 95 Resultados del ensayo de CBR del suelo natural**

<b>Suelo natural</b>			
<b>N°</b>	<b>CBR 100(%)</b>	<b>CBR (%) al 95% Dmax</b>	<b>% Expansión</b>
<b>1</b>	3	3	4

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 96 Resultados del ensayo de CBR de la mezcla 15% arena y 85% suelo**

<b>15 % Arena y 85% suelo natural</b>			
<b>N°</b>	<b>CBR 100(%)</b>	<b>CBR (%) al 95% Dmax</b>	<b>% Expansión</b>
1	4	3	2,71

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 97 Resultados del ensayo de CBR de la mezcla 20% arena y 80% suelo**

<b>20 % Arena y 65% suelo natural</b>			
<b>N°</b>	<b>CBR 100(%)</b>	<b>CBR(%) al 95% Dmax</b>	<b>% Expansión</b>
1	5	5	1,86

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 98 Resultados del ensayo de CBR de la mezcla 30 % arena y 70% suelo**

<b>30% Arena y 70% suelo natural</b>			
<b>N°</b>	<b>CBR 100(%)</b>	<b>CBR(%) al 95% Dmax</b>	<b>% Expansión</b>
1	7	6	1,63

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 99 Resultados del ensayo de CBR de la mezcla 40 % arena y 60% suelo**

40% Arena y 60% suelo natural			
N°	CBR 100(%)	CBR(%) al 95% Dmax	% Expansión
1	8	7	1,43

Fuente: Elaboración propia

### 3.8 RESUMEN GENERAL DE CÁLCULOS POR TRAMOS EN ESTUDIO

#### 3.6.1 Resultados del tramo sella Méndez – Sella Quebradas

Tabla 100 Resumen tramo Sella Méndez –Sella Quebradas muestra 1.

Tramo:	Sella Mendez - Sella Quebradas							Muestra: 1		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		LIMITES (%)			Clasificacion del suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm3)	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo		Descripcion
Suelo natural	14,90	1,75	3,28	3,18	51	36	16	SUCS: MH		Limo inorganico de alta plasticidad
15% Arena	12,10	1,79	4,39	2,69						
20% Arena	11,60	1,86	5,21	4,69						
30% Arena	10,60	1,90	7,06	6,30						
40% Arena	10,42	1,93	8,02	6,87						

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (3.283%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 1.104%, al 20% incrementa un 1.928%, al 30% incrementa un 3.778% y al 40% un incremento del 7.740%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

Podemos constatar que los resultados son similares entre muestras del mismo tramo, tanto en su clasificación como en su capacidad de soporte.

**Tabla 101 Resumen tramo Sella Méndez –Sella Quebradas muestra 2.**

Tramo:	Sella Mendez - Sella Quebradas							Muestra: 2		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		LIMITES (%)			Clasificacion del suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm <sup>3</sup> )	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripcion	
Suelo natural	14,20	1,81	3,85	3,68	57	40	17	SUCS: MH	Limo inorganico de alta plasticidad	
15% Arena	13,42	1,83	5,37	4,90				AASHTO: A-7-5(12)		
20% Arena	12,66	1,89	6,17	5,68						
30% Arena	12,58	1,92	7,63	6,51						
40% Arena	11,33	1,95	8,57	6,44						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (3.846%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 1.523%, al 20% incrementa un 2.328%, al 30% incrementa un 3.785% y al 40% un incremento del 4.721%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

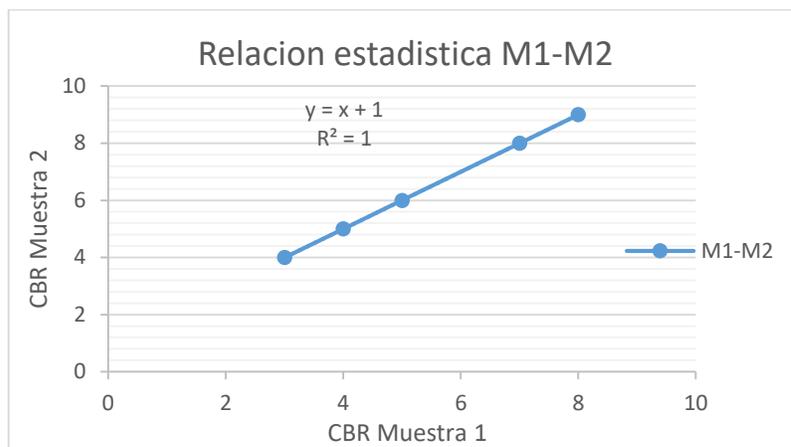
Podemos constatar que los resultados son similares entre muestras del mismo tramo, tanto en su clasificación como en su capacidad de soporte.

### 3.6.1.1 Ajuste estadístico del tramo Sella Méndez –Sella Quebradas

**Tabla 102 Valores de CBR muestras 1-2.**

Muestra1	M1-M2
3	4
4	5
5	6
7	8
8	9

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 47 Relación estadística de las muestras 1-2**

*Fuente: Elaboración propia*

Habiendo realizado la correlación estadística entre la muestra 1 y muestra 2 del tramo en estudio se puede verificar que existe una relación perfecta de 1 en la regresión lineal, la cual nos da un significado que los valores analizados son perfectamente asociables.

### 3.6.2 Resultados del tramo Chaupicancha – Cirminuelas.

**Tabla 103 Resumen tramo Chaupicancha –Cirminuelas muestra 1.**

Tramo:	Chaupicancha - Cirminuelas							Muestra: 1		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		LIMITES (%)			Clasificacion del Suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm3)	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripcion	
Suelo natural	6,88	2,08	7,60	6,95	17	13	4	SUCS: ML	Limo inorganico de baja plasticidad	
15% Arena	6,18	2,11	9,03	7,52				AASHTO: A-4(7)		
20% Arena	5,40	2,12	13,51	12,27						
30% Arena	4,76	2,15	17,42	13,93						
40% Arena	4,65	2,15	20,73	18,49						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (7.596%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 1.433%, al 20% incrementa un 5.914%, al 30% incrementa un 9.82.4% y al 40% un incremento del 13.134%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

**Tabla 104 Resumen tramo Chaupicancha –Cirminuelas muestra 2.**

Tramo:	Chaupicancha - Cirminuelas							Muestra: 2		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		LIMITES (%)			Clasificacion del Suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm3)	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripcion	
Suelo natural	11,15	1,86	7,14	6,60	36	32	4	SUCS: ML	Arcilla inorganica de baja plasticidad	
								AASHTO: A-4(4)		
15% Arena	11,92	1,94	10,65	7,14						
20% Arena	10,81	1,95	12,17	9,93						
30% Arena	10,11	1,99	15,16	12,11						
40% Arena	9,98	2,10	19,69	16,58						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (7.596%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 3.513%, al 20% incrementa un 5.033%, al 30% incrementa un 8.023% y al 40% un incremento del 12.553%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

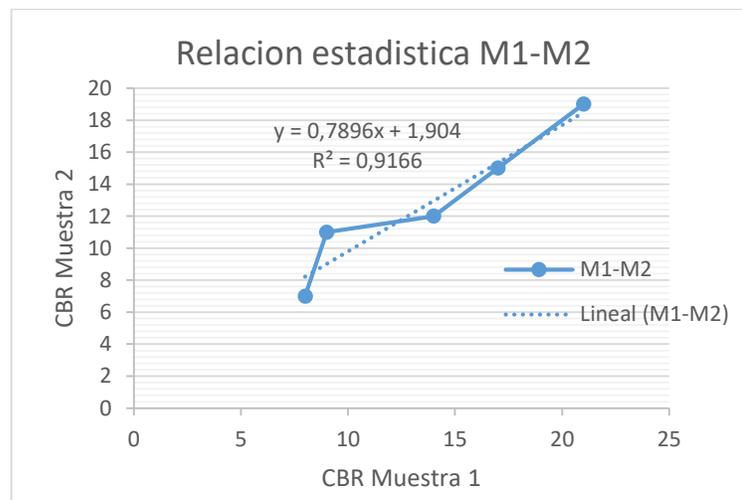
### 3.6.2.1 Ajuste estadístico del tramo Chaupicancha –Cirminuelas

**Tabla 105 Valores de CBR muestras 1-2**

Muestra1	M1-M2
8	7
9	11
14	12
17	15
21	19

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 48 Relación estadística de las muestras 1-2**



*Fuente: Elaboración propia*

Habiendo realizado la correlación estadística entre la muestra 1 y muestra 2 del tramo en estudio se puede verificar que existe una relación fuerte de 0.9166 en la regresión lineal, la cual nos da un significado que los valores analizados tienen una tendencia fuerte entre sí.

### 3.6.3 Resultados del tramo San Pedro - Rumicancha

**Tabla 106 Resumen tramo San Pedro- Rumicancha muestra 1.**

Tramo:	San Pedro - Rumicancha							Muestra: 1		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		LIMITES (%)			Clasificacion del Suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm3)	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripcion	
Suelo natural	12,40	1,81	4,17	3,99	36	20	16	SUCS: CL	Arcilla inorganica de baja plasticidad	
								AASHTO: A-6 (10)		
15% Arena	11,88	1,89	5,36	4,70						
20% Arena	11,33	1,92	7,04	5,82						
30% Arena	10,88	1,93	8,61	6,74						
40% Arena	10,01	1,96	10,47	7,27						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (4.166%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 1.191%, al 20% incrementa un 2.872%, al 30% incrementa un 4.447% y al 40% un incremento del 6.304%

**Tabla 107 Resumen tramo San Pedro- Rumicancha muestra 2.**

Tramo:	San Pedro - Rumicancha							Muestra: 2		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		LIMITES (%)			Clasificacion del Suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm3)	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripcion	
Suelo natural	10,31	1,86	4,45	4,23	31	15	16	SUCS: CL	Arcilla Inorganica de baja plasticidad	
								AASHTO: A-6 (9)		
15% Arena	10,10	1,90	5,55	4,71						
20% Arena	10,00	1,93	7,18	6,11						
30% Arena	9,70	1,95	8,60	7,21						
40% Arena	9,50	1,98	10,58	8,93						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (4.445%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 1.106%, al 20% incrementa un 2.738%, al 30% incrementa un 4.159% y al 40% un incremento del 6.135%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

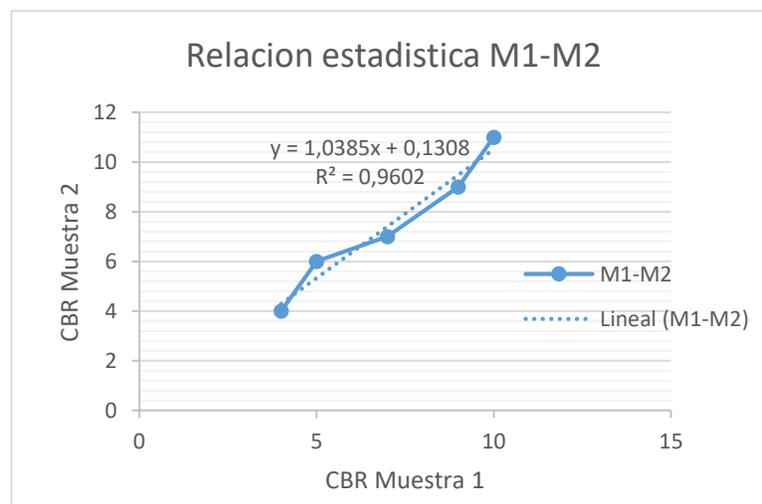
### 3.6.3.1 Ajuste estadístico del tramo San Pedro- Rumicancha

**Tabla 108 Valores de CBR muestras 1-2**

Muestra	M1-M2
<b>1</b>	
<b>4</b>	4
<b>5</b>	6
<b>7</b>	7
<b>9</b>	9
<b>10</b>	11

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 49 Relación estadística de las muestras 1-2**



*Fuente: Elaboración propia*

Habiendo realizado la correlación estadística entre la muestra 1 y muestra 2 del tramo en estudio se puede verificar que existe una relación perfecta de 0.9602 en la regresión lineal, la cual nos da un significado que los valores analizados son perfectamente asociables.

### 3.6.4 Resultados del tramo Yesera Sud - Calderas

**Tabla 109 Resumen tramo Yesera Sud - Calderas muestra 1.**

Tramo:	Yesera Sud - Calderas							Muestra: 1		
Combinación del suelo	Compactación		CBR		LÍMITES (%)			Clasificación del Suelo		
	Humedad óptima %	densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripción	
Suelo natural	11,70	1,90	7,21	6,87	30	27	3	SUCS: ML	Limo inorgánico de baja plasticidad	
15% Arena	9,10	1,93	10,10	8,64				AASHTO: A-4(4)		
20% Arena	9,00	1,93	13,93	11,00						
30% Arena	9,30	1,95	15,63	12,88						
40% Arena	9,80	1,98	19,44	16,76						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (7.21%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 2.89%, al 20% incrementa un 6.72%, al 30% incrementa un 8.42% y al 40% un incremento del 12.23%

Analizando los resultados de la tabla se verifica que la densidad máxima va incrementando su valor, mientras que la humedad de la muestra sufre un decrecimiento según se aumenta el porcentaje de arena tritura a la estabilización del suelo.

**Tabla 110 Resumen tramo Yesera Sud - Calderas muestra 2.**

Tramo:	Yesera Sud - Calderas							Muestra: 2		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		Lmites (%)			Clasificacion del Suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm3)	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripcion	
Suelo natural	15,60	1,72	2,95	2,88	53	31	22	SUCS: MH	Limo inorganico de baja plasticidad	
15% Arena	15,50	1,79	3,35	2,02				AASHTO: A-7-5(13)		
20% Arena	14,00	1,82	5,13	4,73						
30% Arena	13,50	1,90	6,90	5,97						
40% Arena	13,00	1,94	9,63	8,27						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (2.947%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 0.406%, al 20% incrementa un 2.186%, al 30% incrementa un 3.952% y al 40% un incremento del 6.687%

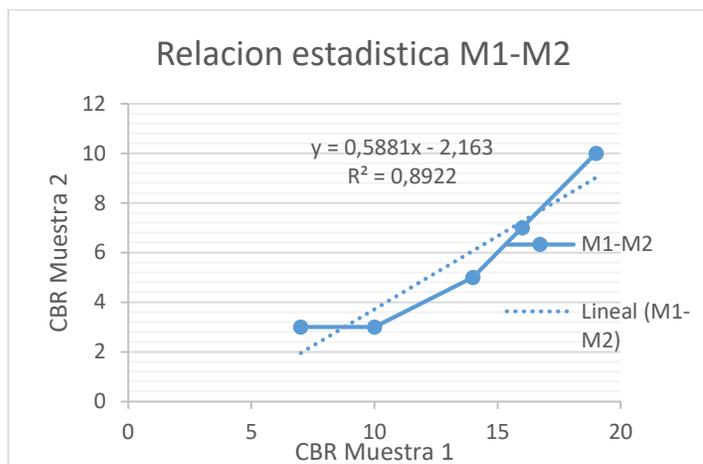
Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural

### 3.6.4.1 Ajuste estadístico del tramo Yesera Sud - Calderas

**Tabla 111 Valores de CBR muestras 1-2**

Muestra	M1-M2
1	
7	3
10	3
14	5
16	7
19	10

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 50 Relación estadística de las muestras 1-2**

*Fuente: Elaboración propia*

Habiendo realizado la correlación estadística entre la muestra 1 y muestra 2 del tramo en estudio se puede verificar que existe una relación fuerte de 0.8922 en la regresión lineal, la cual nos da un significado que los valores analizados tienen una tendencia fuerte entre sí.

### 3.6.5 Resultados del tramo Carlazo - Hoyaditas

**Tabla 112 Resumen tramo Carlazo - Hoyaditas muestra 1.**

Tramo:	Carlazo - Hoyaditas							Muestra: 1		
Combinación del suelo	Compactación		CBR		Límites (%)			Clasificación del Suelo		
	Humedad óptima %	densidad máxima (gr/cm <sup>3</sup> )	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo		Descripción
Suelo natural	15,39	1,80	4,51	3,58	32	19	13	SUCS:	CL	Arcilla Media elasticidad
								AASHTO:	A-6 (9)	con arena
15% Arena	13,31	1,84	5,78	4,35						
20% Arena	13,44	1,89	6,62	5,50						
30% Arena	13,34	1,93	8,39	6,93						
40% Arena	10,36	1,97	10,06	8,24						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (4.51%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 1.266%, al 20% incrementa un 2.112%, al 30% incrementa un 3.881% y al 40% un incremento del 5.55%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

**Tabla 113 Resumen tramo Carlazo - Hoyaditas muestra 2.**

Tramo:	Carlazo - Hoyaditas							Muestra: 2		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		Limites (%)			Clasificacion del Suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm3)	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripcion	
Suelo natural	12,00	1,89	7,17	2,53	26	21	5	SUCS: ML-CL	Limo Inorganico de baja plasticidad	
								AASHTO: A-4(5)		
15% Arena	11,57	1,91	9,38	5,98						
20% Arena	11,13	1,95	11,19	8,44						
30% Arena	11,50	1,97	15,16	13,66						
40% Arena	11,01	1,99	18,66	15,44						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (7.165%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 2.216%, al 20% incrementa un 4.025%, al 30% incrementa un 7.995% y al 40% un incremento del 11.495%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

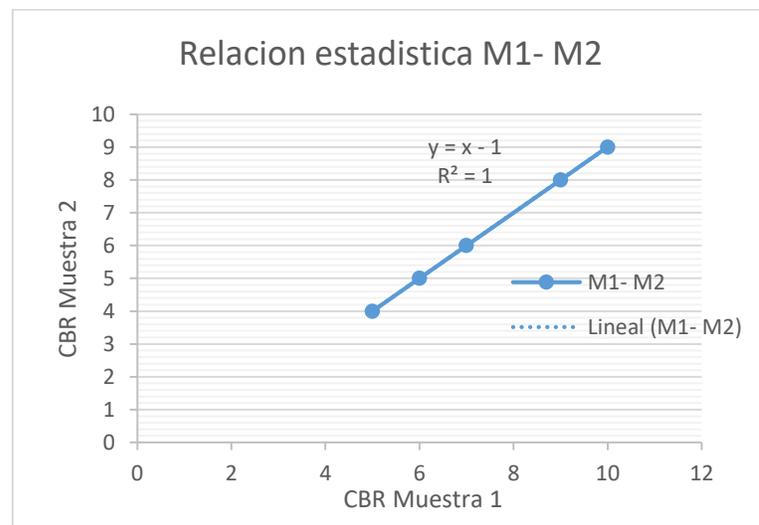
### 3.6.5.1 Ajuste estadístico del tramo Carlazo – Hoyaditas

**Tabla 114 Valores de CBR muestras 1-2**

M1	M1- M2
5	4
6	5
7	6
9	8
10	9

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 51 Relación estadística de las muestras 1-2**



*Fuente: Elaboración propia*

Habiendo realizado la correlación estadística entre la muestra 1 y muestra 2 del tramo en estudio se puede verificar que existe una relación perfecta de 1 en la regresión lineal, la cual nos da un significado que los valores analizados son perfectamente asociables.

### 3.6.6 Resultados del tramo Chocloca – Huayco Grande

**Tabla 115 Tabla resumen Tramo Chocloca – Huayco Grande muestra 1.**

Tramo:	Chocloca - Huayco Grande							Muestra: 1		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		Limites (%)			Clasificacion del Suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm <sup>3</sup> )	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripcion	
Suelo natural	14,43	1,81	4,32	3,86	31	13	18	SUCS: CL	Arcilla Media Plastica	
								AASHTO: A-6 (11)	con arena	
15% Arena	12,27	1,84	5,26	4,29						
20% Arena	11,30	1,88	6,94	6,27						
30% Arena	10,61	1,91	8,08	7,25						
40% Arena	10,33	1,93	9,99	8,87						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (4.32%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 0.94%, al 20% incrementa un 2.62%, al 30% incrementa un 3.76% y al 40% un incremento del 5.67%

**Tabla 116 Resumen Tramo Chocloca – Huayco Grande muestra 2.**

Tramo:	Chocloca - Huayco Grande							Muestra: 2		
Combinacion del suelo	Compactacion		CBR		Limites (%)			Clasificacion del Suelo		
	Humedad optima %	densidad maxima (gr/cm <sup>3</sup> )	al 100% Dmax	al 95 % Dmax	LL	LP	IP	Tipo de Suelo	Descripcion	
Suelo natural	14,02	1,89	3,96	2,89	29	19	11	SUCS: CL	Arcilla baja plasticidad	
								AASHTO: A-6(8)	con arena	
15% Arena	11,57	1,91	9,38	5,98						
20% Arena	11,13	1,95	11,19	8,44						
30% Arena	11,50	1,97	15,16	13,66						
40% Arena	11,01	1,99	18,66	15,44						

*Fuente: Elaboración propia*

En esta tabla resumen se puede observar claramente como aumenta la resistencia del suelo, a medida que se incrementa el porcentaje de arena triturada respecto al valor de CBR natural (3.96%), al aplicar el 15% su CBR incrementa un 5.411%, al 20% incrementa un 7.23%, al 30% incrementa un 11.2% y al 40% un incremento del 14.7%

Se pudo analizar que la densidad aumenta y la humedad optima disminuye según el porcentaje de arena triturada que se le agrega al suelo natural.

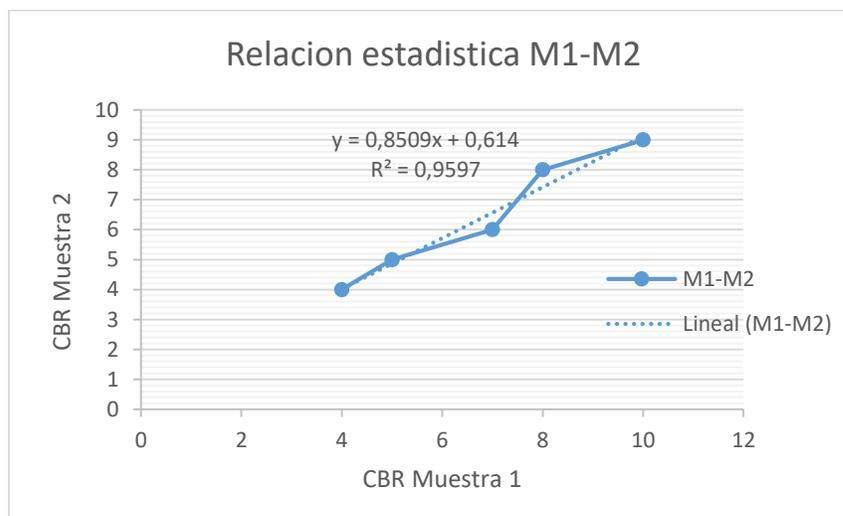
### 3.6.6.1 Ajuste estadístico del tramo Chocloca – Huayco Grande muestra

**Tabla 117 Valores de CBR muestras 1-2**

M1	M1-M2
4	4
5	5
7	6
8	8
10	9

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 52 Relación estadística de las muestras 1-2**



*Fuente: Elaboración propia*

Habiendo realizado la correlación estadística entre la muestra 1 y muestra 2 del tramo en estudio se puede verificar que existe una relación fuerte de 0.9166 en la regresión lineal, la cual nos da un significado que los valores analizados tienen una tendencia fuerte entre sí.

### 3.6.7. Tabla de comparación según AASHTO.

**Tabla 118 Clasificación de la subrasante (AASHTO), según el valor de CBR**

CBR	Clasificación cualitativa del suelo	Uso
2--5	Muy mala	Sub-rasante
5--8	Mala	Sub-rasante
8--20	Regular Buena	Sub-rasante
20--30	Buena	Sub-rasante
30--60	Excelente	Sub-rasante
60--80	Buena	BASE
80--100	Excelente	BASE

*Fuente: Norma AASHTO*

Para nuestro estudio de investigación consideraremos el valor mínimo de 8%, ya que este valor según tabla AASHTO nos da una clasificación de regular – buena, para el razonamiento común el significado Regular-Buena es tendencia aceptable, ya que los valores que se encuentran por debajo de este porcentaje llegarían a ser desfavorables para nuestro estudio de investigación.

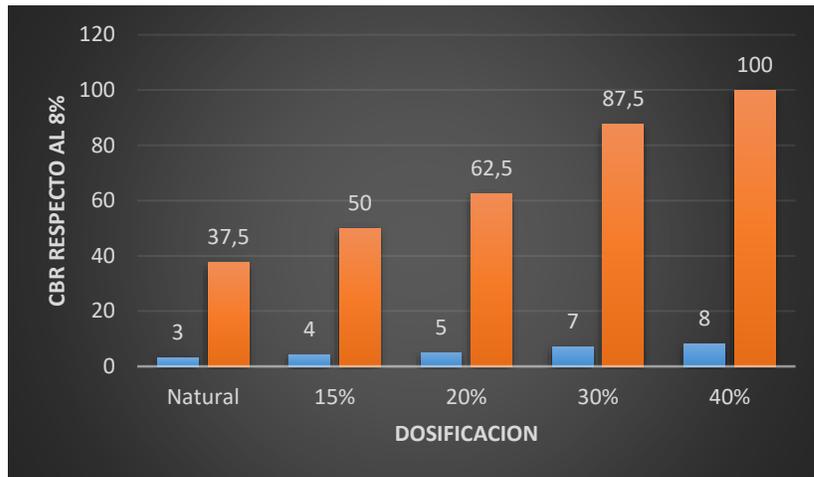
En la siguiente tabla se puede apreciar una relación entre el valor CBR de todos tramos estudiados con una valoración para la conformación de la subrasante.

**Tabla 119 Resultados finales tramos Sella Méndez - Sella quebrada muestra 1 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M1	3%	4%	5%	7%	8%
Respecto al 8%	37,5%	50%	62,5%	87,5%	100
Observación	Muy Mala	Muy Mala	Mala	Mala	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 53 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**



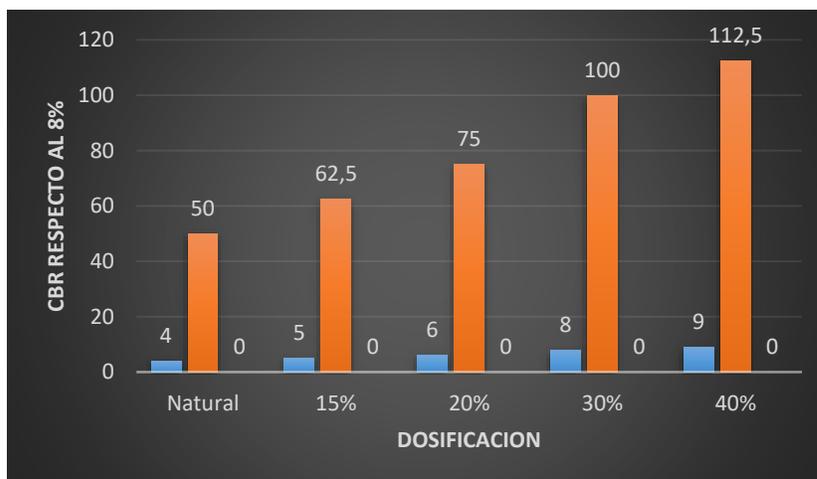
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 120 Resultados finales tramos Sella Méndez - Sella quebrada muestra 2 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M2	4%	5%	6%	8%	9%
Respecto al 8%	50%	62,5%	75%	100%	112,5%
Observación	Muy Mala	Muy Mala	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 54 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**



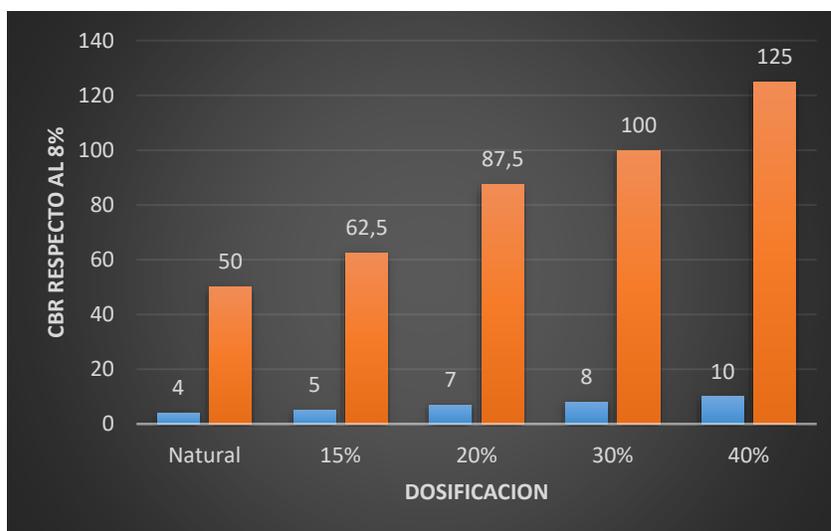
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 121 Resultados finales tramo Chaupicancha – Cirminuelas muestra 1 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M1	8%	9%	14%	17%	21%
Respecto al 8%	100%	112,5%	175%	212,5%	262,5%
Observación	Reg. Buena	Reg. Buena	Reg. Buena	Reg. Buena	excelente

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 55 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**



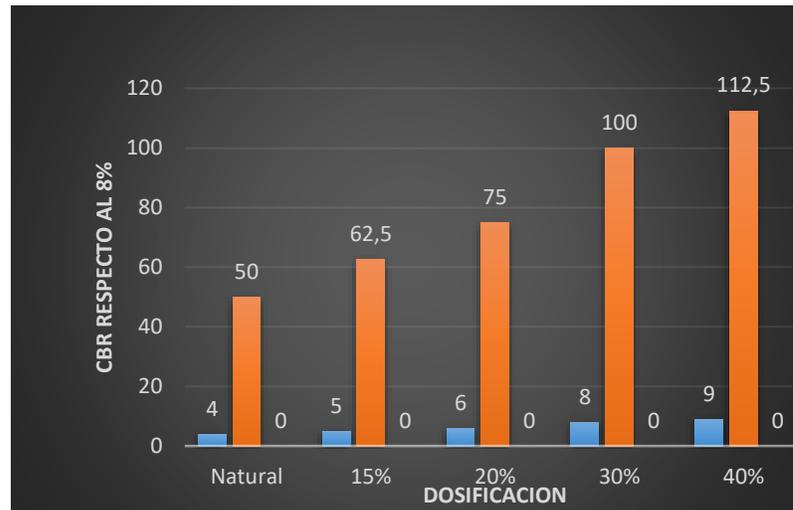
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 122 Resultados finales tramo Chaupicancha – Cirminuelas muestra 2 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M2	7%	11%	12%	15%	19%
Respecto al 8%	87,5%	137,5%	150%	187,5%	237,5%
Observación	Reg. Buena				

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 56 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**



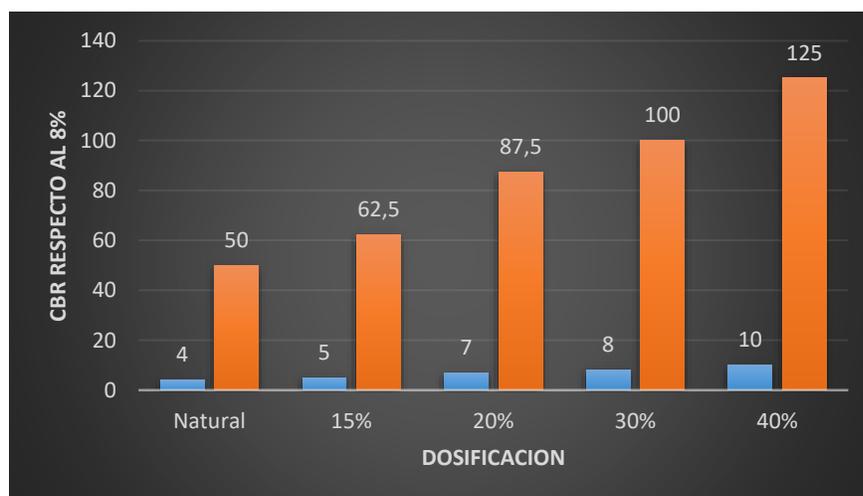
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 123 Resultados finales tramo San Pedro – Rumicancha muestra 1 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M1	4%	5%	7%	9%	10%
Respecto al 8%	50%	62,5%	87,5%	112,5%	125%
Observación	Muy Mala	Muy Mala	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 57 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**



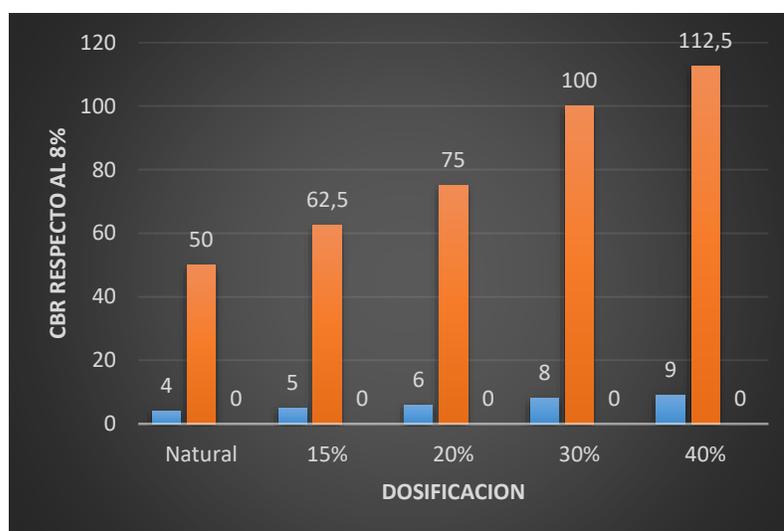
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 124 Resultados finales tramo San Pedro – Rumicancha muestra 2 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M2	4%	6%	7%	9%	11%
Respecto al 8%	50%	75%	87,5%	112,5%	137,5%
Observación	Muy Mala	Muy Mala	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 58 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

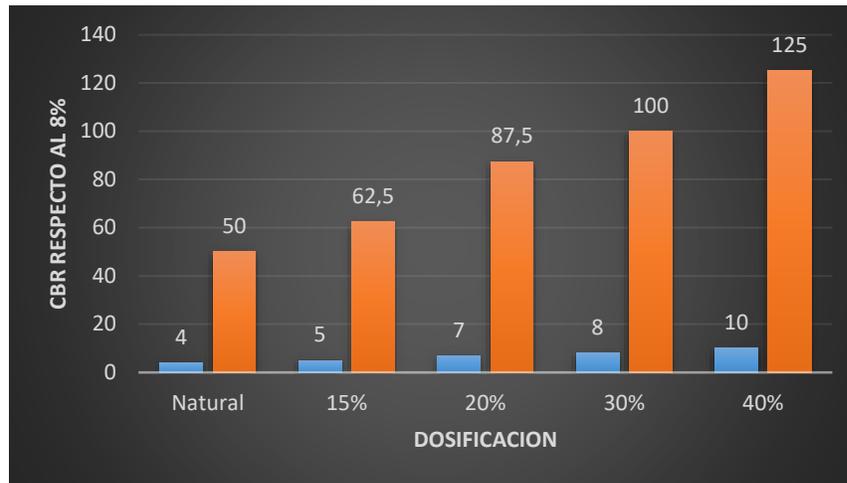


*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 125 Resultados finales tramo Yesera Sud - Calderas muestra 1 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M1	7%	10%	14%	16%	19%
Respecto al 8%	87,5%	125%	175%	200%	237,5%
Observación	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

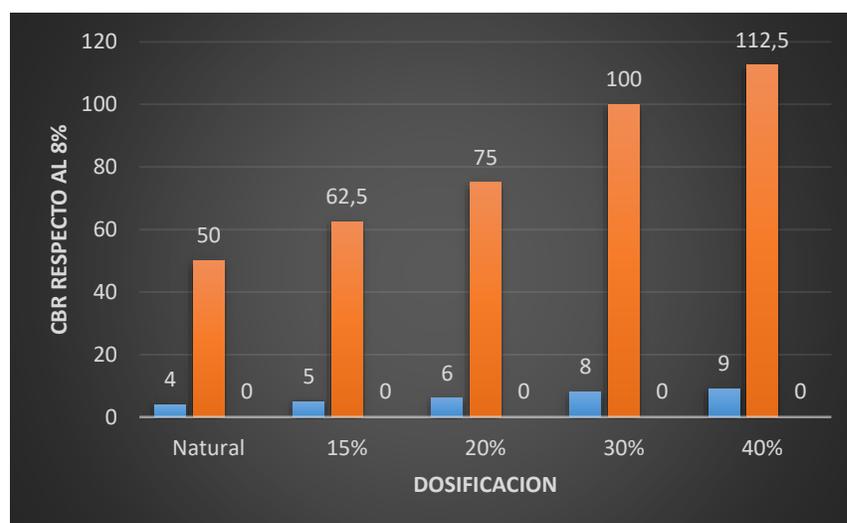
**Grafica. 59 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 126 Resultados finales tramo Yesera Sud - Calderas muestra 2 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M2	3%	3%	5%	7%	10%
Respecto al 8%	37,5%	37,5%	62,5%	87,5%	125%
Observación	Mala	Mala	Mala	Mala	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 60 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

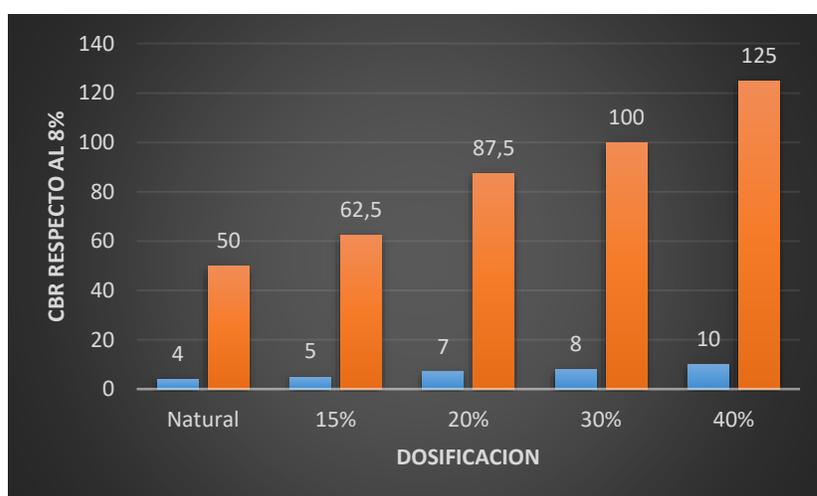
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 127 Resultados finales tramo Carlazo - Hoyaditas muestra 1 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M1	5%	6%	7%	9%	10%
Respecto al 8%	62,5%	75%	87,5%	112,5%	125%
Observación	Mala	Mala	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 61 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

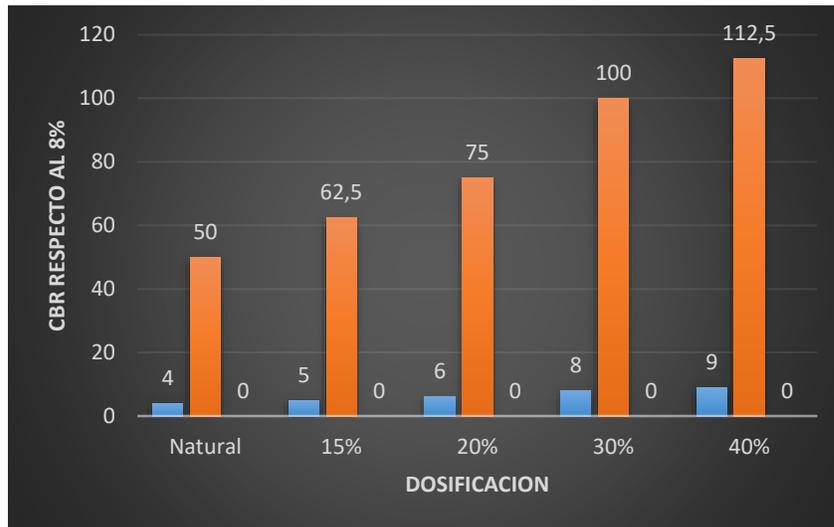


*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 128 Resultados finales tramo Carlazo - Hoyaditas muestra 2 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M2	7%	9%	11%	15%	19%
Respecto al 8%	87,5%	112,5%	137,5%	187,5%	237,5%
Observación	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

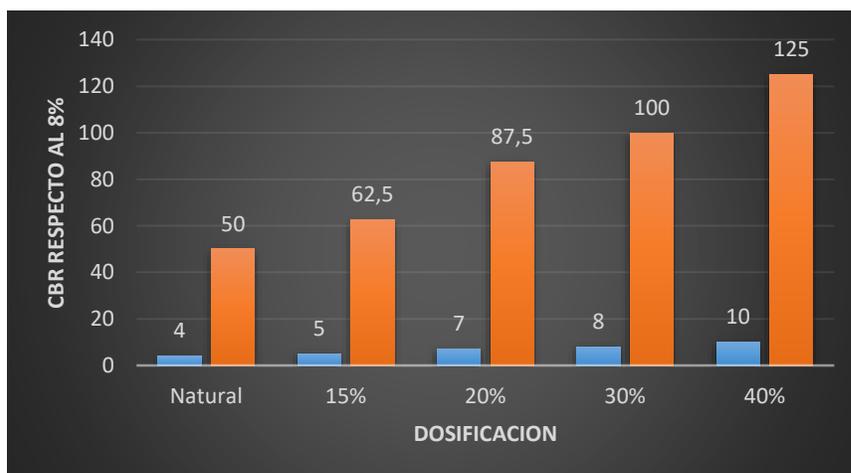
**Grafica. 62 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 129 Resultados finales tramo Chocloca – Huayco muestra 1 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M1	4%	5%	7%	8%	10%
Respecto al 8%	50%	62,5%	87,5%	100%	125%
Observación	Muy Mala	Muy Mala	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración Propia*

**Grafica. 63 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%**

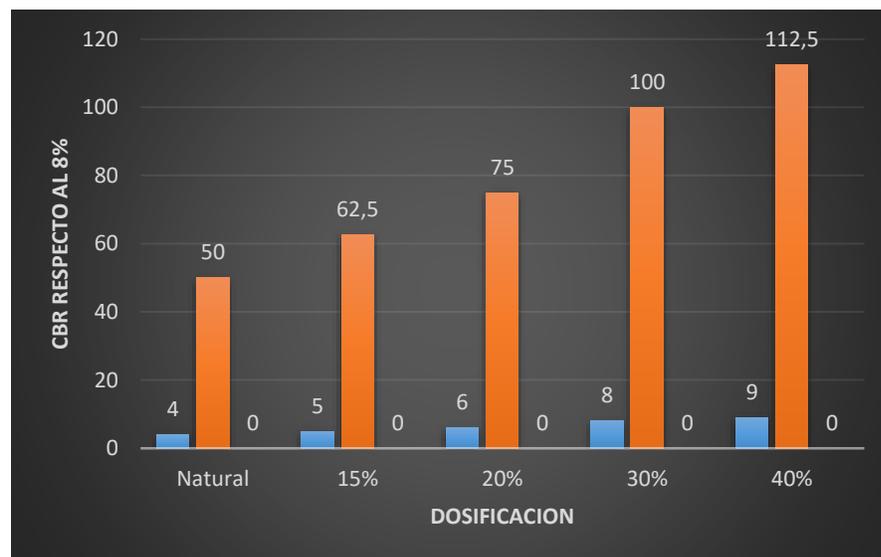
*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 130 Resultados finales tramo Chocloca – Huayco muestra 2 del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
M2	4%	5%	6%	8%	9%
Respecto al 8%	50%	62,5%	75%	100%	112,5%
Observación	Muy Mala	Muy Mala	Mala	Reg. Buena	Reg. Buena

*Fuente: Elaboración propia*

**Grafica. 64 Relación norma AASHTO para un CBR del 8%**



*Fuente: Elaboración propia*

### 3.8. ANÁLISIS DE LOS BANCOS DE PRÉSTAMO PARA EL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN

#### 3.8.1 Primer Banco de Préstamo

El banco de extracción se encuentra en la comunidad de Rancho Sur, en el margen derecho del río Guadalquivir, al lado derecho del surtidor Moto Méndez, banco que pertenece a la empresa constructora “ERIKA”.

La chancadora de la empresa constructora ERIKA tiene una producción de áridos del 15 m<sup>3</sup>/día de arena triturada que pasa el tamiz número (10), 30 m<sup>3</sup>/día de grava de  $\frac{3}{4}$  de diámetro y 30 m<sup>3</sup>/día de gravilla  $\frac{3}{8}$  de diámetro.

Los precios de los áridos que se comercializan son los siguientes:

Arena triturada: 100 bs el m<sup>3</sup>

Grava gruesa: 90 bs el m<sup>3</sup>

Gravilla: 95 bs el m<sup>3</sup>

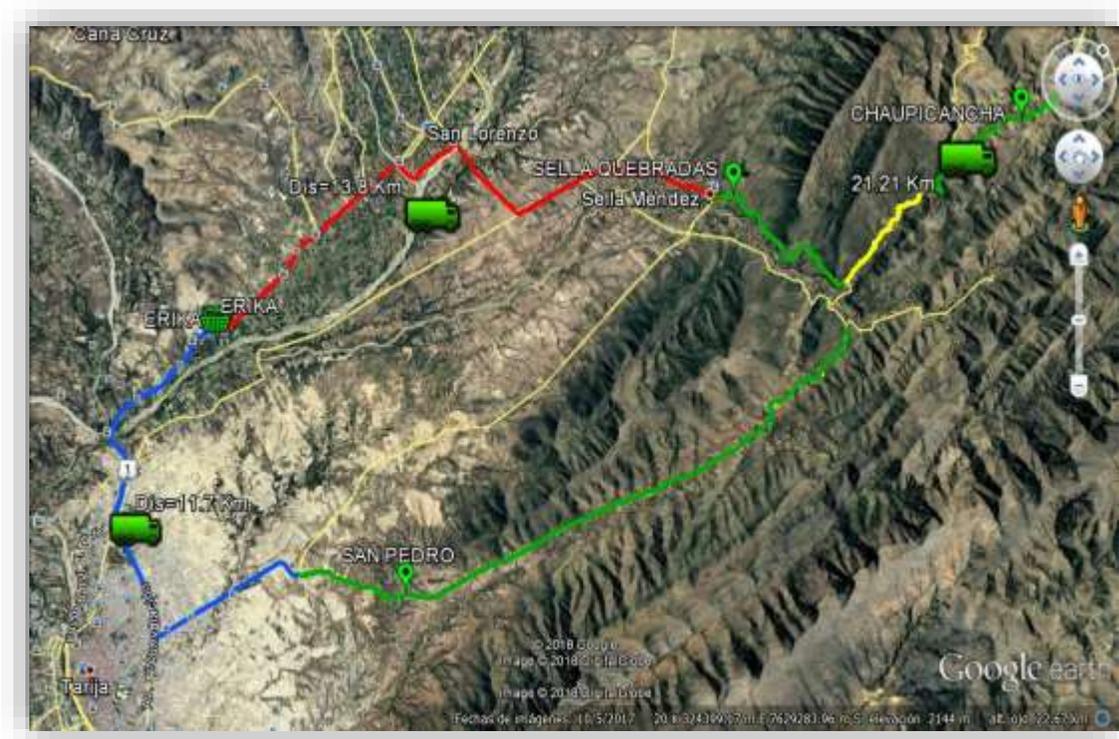
De este banco (CHANCADORA) se extrajo la arena triturada, material que la empresa comercializa para diferentes proyectos de construcción, en la siguiente figura se puede apreciar la ubicación del banco de extracción de la arena Triturada según siguiente cuadro.

**Tabla 131. Ubicación según coordenadas UTM**

Banco	Este	Norte
<b>Erika</b>	318167	7624482

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 50 Trituradora Erika**



*Fuente: Elaboración propia*

La trituradora ERIKA cuenta con la materia solicitada según especificaciones técnicas del estudio de laboratorio, por esta razón abastecerá de arena triturada para los tramos descritos a continuación.

### **3.8.2. Tramos que Abastecerá la Triturados Erika**

#### **3.8.2.1 Tramo N° 1 (Sella Méndez- Sella Quebradas)**

Este tramo cuenta con una distancia de 4.30 Km seleccionados para su mejoramiento, se encuentra a una distancia de 13.8 Km desde la Trituradora ERIKA hasta el comienzo del tramo a mejorar, según cotización el metro cubico de arena triturada tiene un precio de 90 Bs/m<sup>3</sup> y el costo de acarreo por metro cubico esta entre 20 Bs/m<sup>3</sup> para una distancia de 13.8 Km.

### **3.8.2.2 Tramo N° 2 (Chaupicancha- Cirminuelas)**

Este tramo cuenta con una distancia de 6.63 Km seleccionados para su mejoramiento, se encuentra a una distancia de 21.21 Km desde la Trituradora ERIKA hasta el comienzo del tramo a mejorar, según cotización el metro cubico de arena triturada tiene un precio de 90 Bs/m<sup>3</sup> y el costo de acarreo por metro cubico esta entre 32.62 Bs/m<sup>3</sup> para una distancia de 21.21 Km.

### **3.8.2.3 Tramo N° 3 (San pedro – Rumicancha)**

Este tramo cuenta con una distancia de 14.58 Km seleccionados para su mejoramiento, se encuentra a una distancia de 11.70 Km desde la Trituradora ERIKA hasta el comienzo del tramo a mejorar, según cotización el metro cubico de arena triturada tiene un precio de 90 Bs/m<sup>3</sup> y el costo de acarreo por metro cubico esta entre 18 Bs/m<sup>3</sup> para una distancia de 11.70 Km.

### **3.8.2.4 Segundo Banco de Préstamo**

El segundo banco de préstamos para el mejoramiento de los tramos en estudio es la trituradora “VARGAS” ubicada en la comunidad de Santa Ana la nueva, en el primer puente carretera al Bermejo, se consideró esta Trituradora de áridos por encontrarse en una ubicación estratégico para el traslado de áridos a los tramos en estudio.

La chancadora “VARGAS”, tiene una producción de áridos del 12 m<sup>3</sup>/día de arena triturada que pasa el tamiz número (10), 23 m<sup>3</sup>/día de grava de ¾ de diámetro y 25 m<sup>3</sup>/día de gravilla 3/8 de diámetro.

Los precios de los áridos que se comercializan son los siguientes:

Arena triturada: 80 bs el m<sup>3</sup>

Grava gruesa: 75 bs el m<sup>3</sup>

Gravilla: 70 bs el m<sup>3</sup>

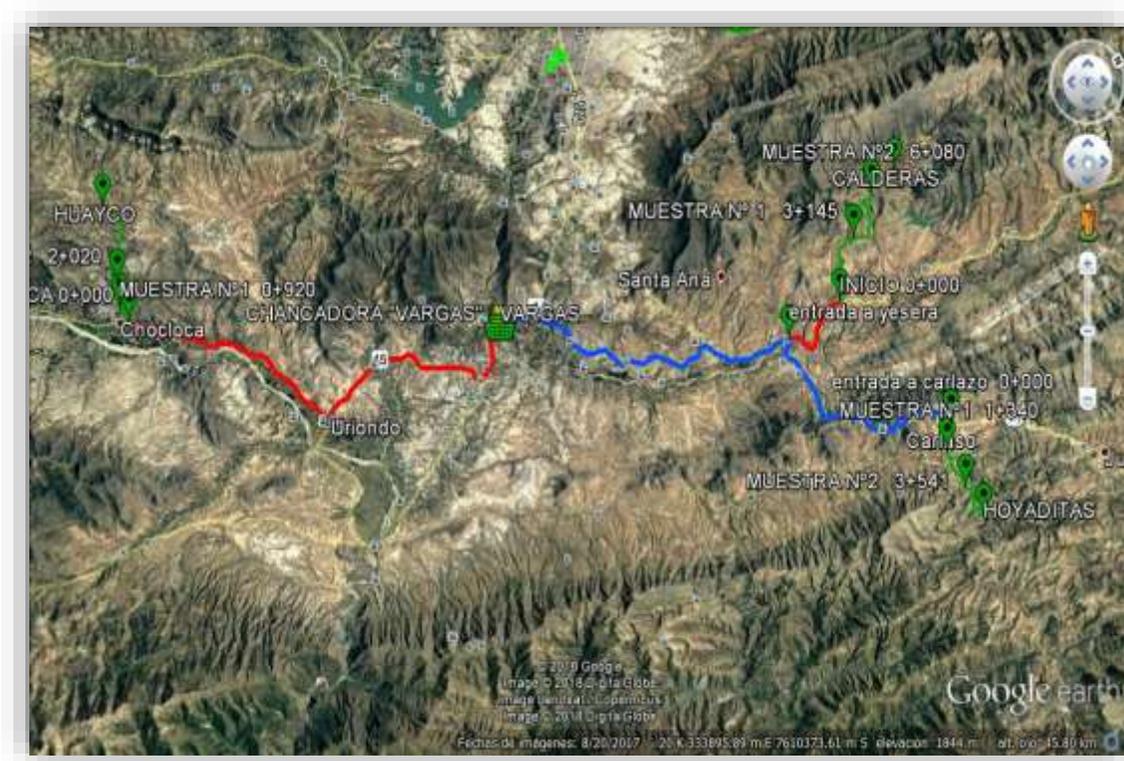
De este banco (CHANCADORA) se extrajo la arena triturada, material que la empresa comercializa para diferentes proyectos de construcción, en la siguiente figura se puede apreciar la ubicación del banco de extracción de la arena Triturada según siguiente cuadro.

**Tabla 132 Ubicación según coordenadas UTM**

Banco	Este	Norte
<b>Vargas</b>	329981	7608017

*Fuente: Elaboración propia*

**Fig. 51 Trituradora Vargas**



*Fuente: Elaboración propia*

### **3.8.3 Tramos que abastecerá la triturados Vargas**

#### **3.8.3.1 Tramo N° 4 (Yesera Sud- Calderas)**

Este tramo cuenta con una distancia de 7.76 Km seleccionados para su mejoramiento, se encuentra a una distancia de 19.80 Km desde la Trituradora VARGAS hasta el comienzo del tramo a mejorar, según cotización el metro cubico de arena triturada tiene un precio de 80 Bs/m<sup>3</sup> y el costo de acarreo por metro cubico esta entre 30.46 Bs/m<sup>3</sup> para una distancia de 19.80 Km

#### **3.8.3.2 Tramo N° 5 (Carlazo- Hoyaditas)**

Este tramo cuenta con una distancia de 5.64 Km seleccionados para su mejoramiento, se encuentra a una distancia de 26.70 Km desde la Trituradora VARGAS hasta el comienzo del tramo a mejorar, según cotización el metro cubico de arena triturada tiene un precio de 80 Bs/m<sup>3</sup> y el costo de acarreo por metro cubico esta entre 41.07 Bs/m<sup>3</sup> para una distancia de 26.70 Km

#### **3.8.3.3 Tramo N° 6 (Chocloca – Huayco Grande)**

Este tramo cuenta con una distancia de 5.97 Km seleccionados para su mejoramiento, se encuentra a una distancia de 21.07 Km desde la Trituradora VARGAS hasta el comienzo del tramo a mejorar, según cotización el metro cubico de arena triturada tiene un precio de 80 Bs/m<sup>3</sup> y el costo de acarreo por metro cubico esta entre 33.38 Bs/m<sup>3</sup> para una distancia de 21.07 Km

### **3.9. ANÁLISIS DE COSTOS DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN**

Para el análisis final de costos se consideró los CBR más desfavorables, como así también las distancias de acarreo del material estabilizante desde el banco hasta el tramo en estudio, se describirá el porcentaje recomendado de estabilizante y el costo sugerido para el mejoramiento para un kilómetro del tramo.

A continuación se describirá los costos para cada uno de los tramos, haciendo una sugerencia a las autoridades de turno para que aplique este modelo de estabilización con arena triturada.

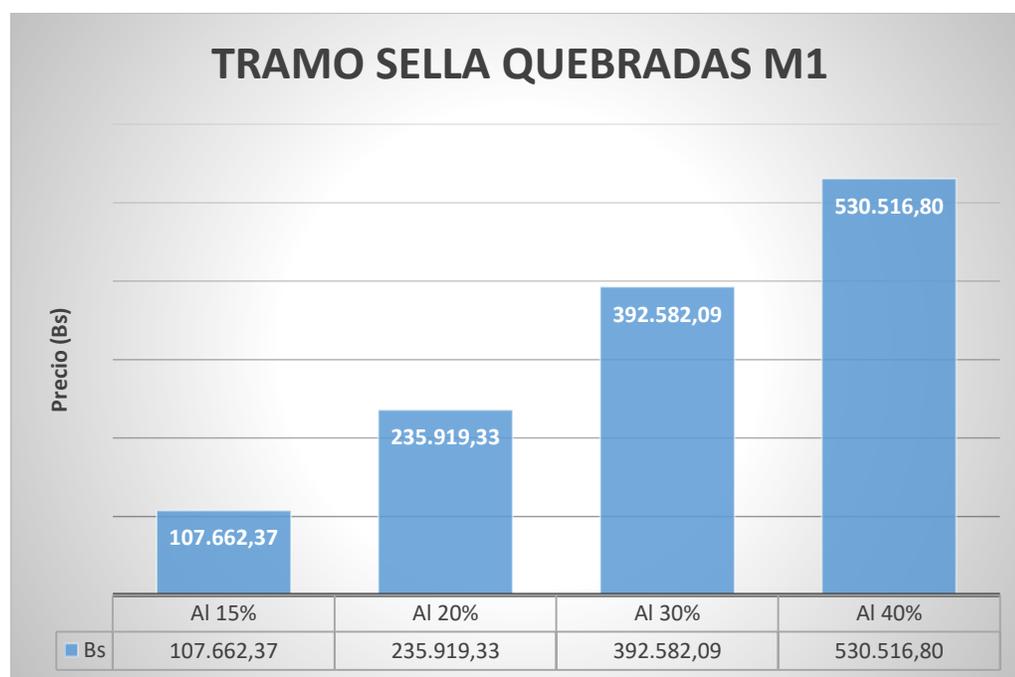
### 3.9.1 Tramo N° 1 (Sella Méndez- Sella Quebradas)

Tabla 133 Costos finales del tramo (Sella Méndez – Sella Quebradas)

	Costo por Km (Bs)	Distancia del tramo (Km)	Costo total del tramo (Bs)	CBR AI 100%	Espesor se capa (cm)
<b>AI 15%</b>	25.037,76	4,30	107.662,37	4	6
<b>AI 20%</b>	54.864,96	4,30	235.919,33	5	12
<b>AI 30%</b>	91.298,16	4,30	392.582,09	7	17
<b>AI 40%</b>	123.376,00	4,30	530.516,80	8	20

*Fuente: Elaboración propia*

Grafica. 65 Costos a Diferentes Porcentajes



*Fuente: Elaboración propia*

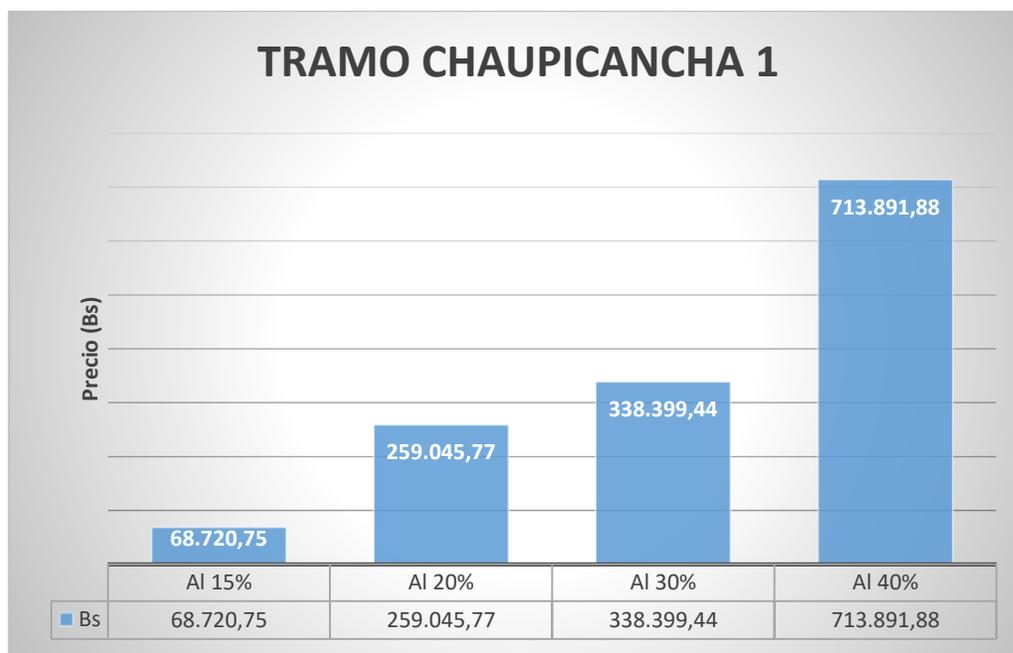
### 3.9.2 Tramo N° 2 (Chaupicancha- Cirminuelas)

Tabla 134 Costos finales del tramo (Chaupicancha – Cirminuelas)

	Costo por Km (Bs)	Distancia del tramo (Km)	Costo total del tramo (Bs)	CBR AI 100%	Espesor se capa (cm)
<b>AI 15%</b>	10.365,12	6,63	68.720,75	9	2
<b>AI 20%</b>	39.071,76	6,63	259.045,77	14	7
<b>AI 30%</b>	51.040,64	6,63	338.399,44	17	8
<b>AI 40%</b>	107.676,00	6,63	713.891,88	21	15

*Fuente: Elaboración propia*

Grafica. 66 Costos a Diferentes Porcentajes



*Fuente: Elaboración propia*

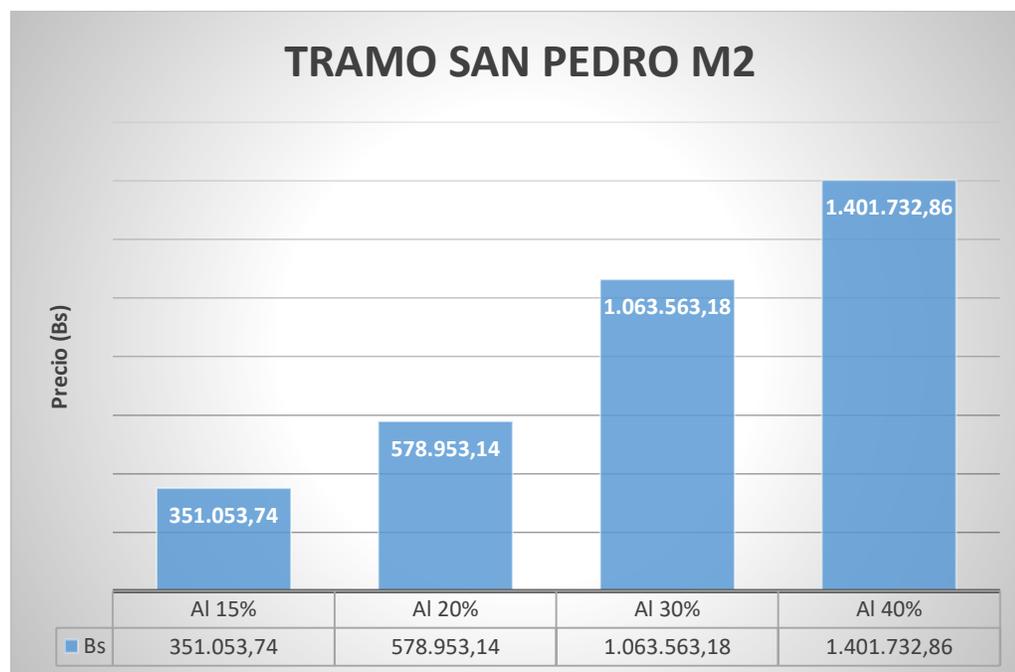
### 3.9.3 Tramo N° 3 (San Pedro – Rumicancha)

Tabla 135 Costos finales del tramo (San Pedro – Rumicancha)

	Costo por Km (Bs)	Distancia del tramo (Km)	Costo total del tramo (Bs)	CBR AI 100%	Espesor se capa (cm)
<b>AI 15%</b>	24.077,76	14,58	351.053,74	5	6
<b>AI 20%</b>	39.708,72	14,58	578.953,14	6	9
<b>AI 30%</b>	72.946,72	14,58	1.063.563,18	8	14
<b>AI 40%</b>	96.140,80	14,58	1.401.732,86	9	16

*Fuente: Elaboración propia*

Grafica. 67 Costos a Diferentes Porcentajes



*Fuente: Elaboración propia*

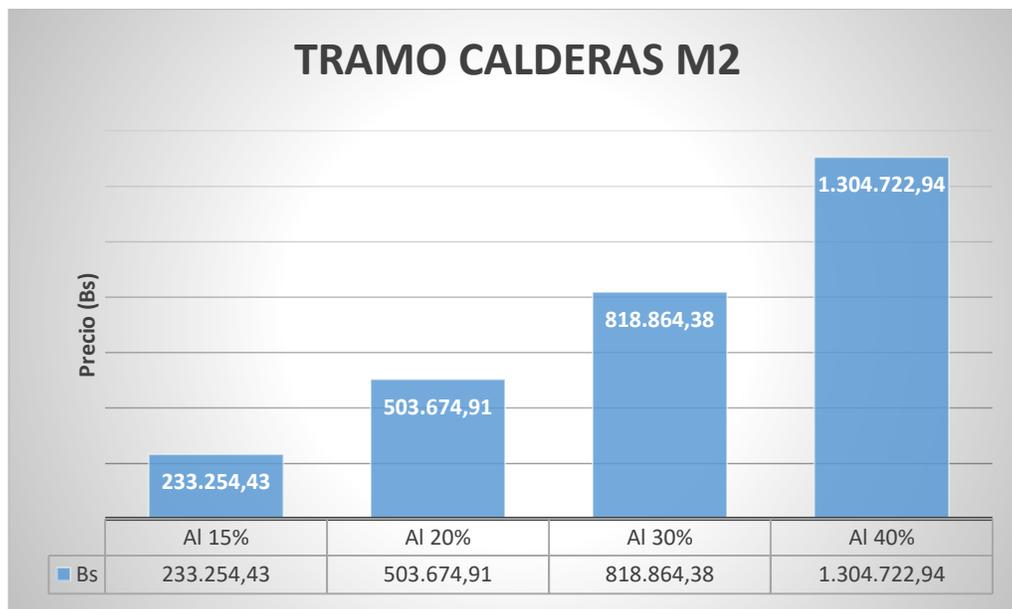
### 3.9.4 Tramo N° 4 (Yesera Sud- Calderas)

Tabla 136 Costos finales del tramo (Yesera Sud - Calderas)

	Costo por Km (Bs)	Distancia del tramo (Km)	Costo total del tramo (Bs)	CBR AI 100%	Espesor se capa (cm)
<b>AI 15%</b>	30.058,56	7,76	233.254,43	4	6
<b>AI 20%</b>	64.906,56	7,76	503.674,91	5	12
<b>AI 30%</b>	105.523,76	7,76	818.864,38	7	17
<b>AI 40%</b>	168.134,40	7,76	1.304.722,94	10	24

*Fuente: Elaboración propia*

Grafica. 68 Costos a Diferentes Porcentajes



*Fuente: Elaboración propia*

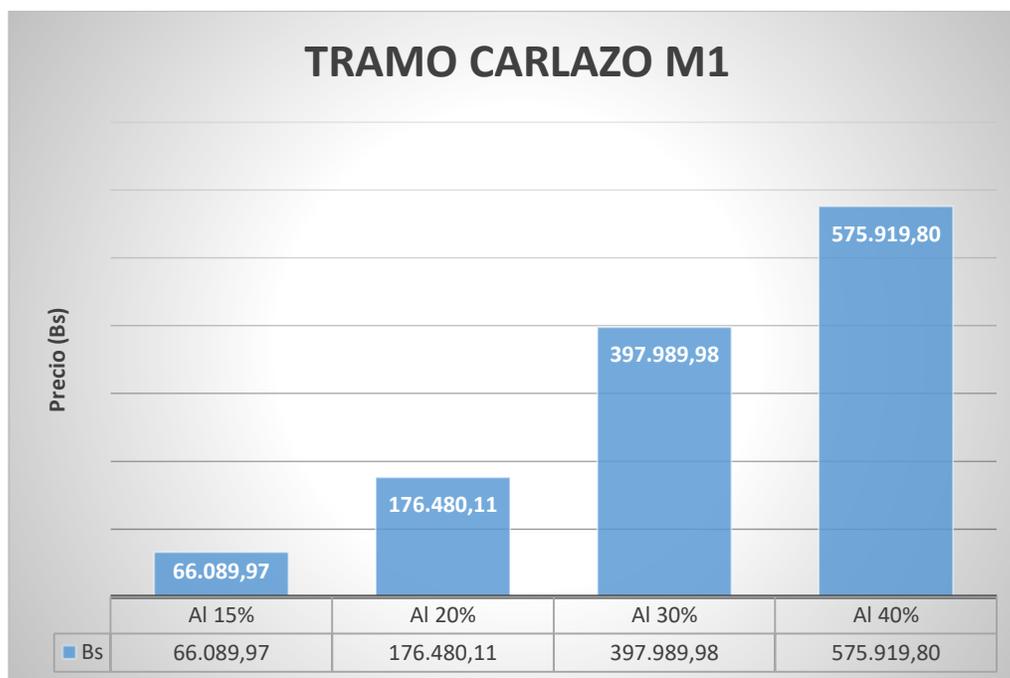
### 3.9.5 Tramo N° 5 (Carlazo- Hoyaditas)

Tabla 137 Costos finales del tramo (Carlazo - Hoyaditas)

	Costo por Km (Bs)	Distancia del tramo (Km)	Costo total del tramo (Bs)	CBR AI 100%	Espesor se capa (cm)
<b>AI 15%</b>	11.718,08	5,64	66.089,97	6	2
<b>AI 20%</b>	31.290,80	5,64	176.480,11	7	5
<b>AI 30%</b>	70.565,60	5,64	397.989,98	9	10
<b>AI 40%</b>	102.113,44	5,64	575.919,80	10	13

*Fuente: Elaboración propia*

Grafica. 69 Costos a Diferentes Porcentajes



*Fuente: Elaboración propia*

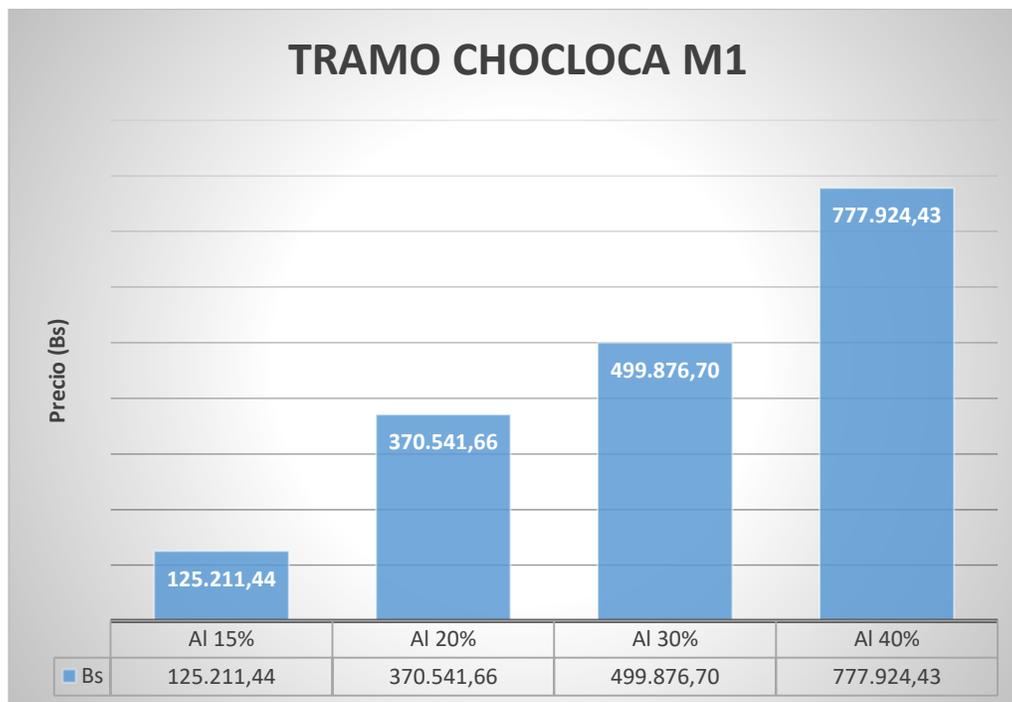
### 3.9.6 Tramo N° 6 (Chocloca – Huayco Grande)

Tabla 138 Costos finales del tramo (Chocloca – Huayco Grande)

	Costo por Km (Bs)	Distancia del tramo (Km)	Costo total del tramo (Bs)	CBR AI 100%	Espesor se capa (cm)
<b>AI 15%</b>	20.973,44	5,97	125.211,44	5	4
<b>AI 20%</b>	62.067,28	5,97	370.541,66	7	11
<b>AI 30%</b>	83.731,44	5,97	499.876,70	8	13
<b>AI 40%</b>	130.305,60	5,97	777.924,43	10	18

*Fuente: Elaboración propia*

Grafica. 70 Costos a Diferentes Porcentajes



*Fuente: Elaboración propia*

## **CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. CONCLUSIONES**

En función de lo expuesto en los capítulos del presente proyecto de investigación y del análisis de resultado precedente, pueden enunciarse las siguientes conclusiones:

- En nuestro estudio de investigación se optó por seleccionar tramos que se encuentran cercanos a la ciudad de Tarija, de los cuales se seleccionó seis, tomando en cuenta que estos presentaban deterioros superficiales en algunos puntos del tramo.
- De estos tramos seleccionados se extrajo 2 muestras en diferentes puntos, tomando en cuenta que el suelo analizado era presentaba ciertas características predominantes como ser: coloración y textura. Haciendo un total de 12 muestras para el respectivo análisis.
- Se realizó los ensayos de laboratorio de granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg, compactación y finalmente CBR exitosamente, obteniendo resultados aceptables según guía de laboratorio regidas en base a la normas SUCCS y AASHTO aplicadas en nuestro medio.
- Se aplicaron los siguientes porcentajes de 15%, 20%, 30% y 40% de arena triturada, en base a tanteos y por sugerencia de personal profesional en estabilización de suelos.
- Después de haber analizado y estudiado los valores de CBR obtenidos en nuestra investigación se puede dar una respuesta a la hipótesis planteada: “APLICANDO ARENA TRITURADA QUE PASA EL TAMIZ N° 10 SE CONSIGUE MEJORAR LA CAPACIDAD PORTANTE DE LA SUBRASANTE”
- Para la validación de los diferentes resultados de CBR de nuestro estudio nos apoyamos estrictamente a los rangos de clasificación según norma AASHTO de valores CBR para sub rasantes, las cuales se describieron en el capítulo tres.

- Para la verificación de los resultados de CBR se realizó la correlación estadística entre las muestras 1 y muestra 2 de los diferentes tramos, teniendo un ajuste positivo según bibliografía encontrada para la estadística.
- Se confecciono los diferentes costos para cada tramo en estudio, teniendo como resultado que aplicando un porcentaje de 15% de arena se tiene costos bajos y aplicando un porcentaje de 40% se costos elevados para la gran parte de los tramos, como se puede constatar en el capítulo tres.

#### 4.1.1. Resumen final de los resultados obtenidos en el ensayo de compactación.

**Tabla 139 Resumen de densidades y humedades óptimas de cada tramo**

Tramos		Densidad Hum. Op.	Dens. 15% Hum.Op.	Dens. 20% Hum.Op.	Dens. 30% Hum.Op.	Dens. 40% Hum.Op.
Sella Méndez- Sella Quebrada	M1	1,75gr/cm <sup>3</sup> 14,9%	1,79gr/cm <sup>3</sup> 12,1%	1,85gr/cm <sup>3</sup> 11,6%	1,9g/cm <sup>3</sup> 10,6%	1,93gr/cm <sup>3</sup> 10,4%
	M2	1,8gr/cm <sup>3</sup> 14,2%	1,83gr/cm <sup>3</sup> 13,4%	1,89gr/cm <sup>3</sup> 12,7%	1,92gr/cm <sup>3</sup> 12,6%	1,95gr/cm <sup>3</sup> 11,3%
Chaupicancha- Cirminuelas	M1	2,075gr/cm <sup>3</sup> 6,9%	2,11gr/cm <sup>3</sup> 6,2%	2,12gr/cm <sup>3</sup> 5,4%	2,14gr/cm <sup>3</sup> 4,8%	2.15gr/cm <sup>3</sup> 4,6%
	M2	1,862gr/cm <sup>3</sup> 11,1%	1,94gr/cm <sup>3</sup> 11,9%	1,95gr/cm <sup>3</sup> 11%	1,99gr/cm <sup>3</sup> 10,11%	2,1gr/cm <sup>3</sup> 9,98%
San Pedro- Rumicancha	M1	1,8gr/cm <sup>3</sup> 12,4%	1,89gr/cm <sup>3</sup> 11,9%	1,91gr/cm <sup>3</sup> 11,3%	1,93gr/cm <sup>3</sup> 10,9%	1,96gr/cm <sup>3</sup> 10%
	M2	1,85gr/cm <sup>3</sup> 10,3%	1,89gr/cm <sup>3</sup> 10,1%	1,93gr/cm <sup>3</sup> 10%	1,95gr/cm <sup>3</sup> 9,7%	1,97gr/cm <sup>3</sup> 9,5%
Yesera Sud- Calderas	M1	1,89gr/cm <sup>3</sup> 11,7%	1,925gr/cm <sup>3</sup> 9,1%	1,93gr/cm <sup>3</sup> 9%	1,94gr/cm <sup>3</sup> 9,3%	1,98gr/cm <sup>3</sup> 9,8%
	M2	1,71gr/cm <sup>3</sup> 15,6%	1,79gr/cm <sup>3</sup> 15,5%	1,82gr/cm <sup>3</sup> 14%	1,90gr/cm <sup>3</sup> 13,5%	1,94 gr/cm <sup>3</sup> 13%
Carlazo- Hoyaditas	M1	1,80gr/cm <sup>3</sup> 15,39%	1,84gr/cm <sup>3</sup> 13,31%	1,885gr/cm <sup>3</sup> 13,44%	1,93gr/cm <sup>3</sup> 13,34%	1,97gr/cm <sup>3</sup> 10,36%
	M2	1,89gr/cm <sup>3</sup> 12%	1,91gr/cm <sup>3</sup> 11,57%	1,947gr/cm <sup>3</sup> 11,13%	1,97gr/cm <sup>3</sup> 11,50%	1,99gr/cm <sup>3</sup> 11,01%
Chocloca- Huayco	M1	1,81gr/cm <sup>3</sup> 14,43%	1,84gr/cm <sup>3</sup> 12,27%	1,879gr/cm <sup>3</sup> 11,3%	1,91gr/cm <sup>3</sup> 10,61%	1,92gr/cm <sup>3</sup> 10,33%
	M2	1,88gr/cm <sup>3</sup> 14,02%	1,91gr/cm <sup>3</sup> 12,33%	1,92gr/cm <sup>3</sup> 12%	1,94gr/cm <sup>3</sup> 11,83%	1,96gr/cm <sup>3</sup> 11,59%

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.2 Análisis final de los tramos estudiados.

**Tramo Sella Méndez-Sella Quebrada:** La densidad natural del suelo de la **muestra 1** incrementa del 1.02% para la mezcla del 15% de arena triturada con el 85% de suelo natural, para la mezcla del 20% de arena triturada con el 80% incrementa el 5.71%, para mezcla del 30% de arena triturada con el 70% de suelo natural incrementa el 8.57%, al 40% de arena triturada con el 60% de suelo natural incrementa un 10.28% en el suelo natural. Para la **muestra 2** incrementa del 1.6% para la mezcla del 15% de arena triturada con el 85% de suelo natural, para la mezcla del 20% de arena triturada con el 80% incrementa el 5.%, para mezcla del 30% de arena triturada con el 70% de suelo natural incrementa el 6.67%, al 40% de arena triturada con el 60% de suelo natural incrementa un 8.33%.

Este comportamiento se debe a la suma de diferentes porcentajes de arena triturada que produce una reacción física sobre los suelos finos, la cual produce que sus partículas disminuyan la absorción de agua, razón por la que los porcentajes de humedad disminuyen con el incremento en la proporción de arena triturada.

“En los demás tramos se observa un cambio similar en sus propiedades de densidad y humedad óptima.”

- Se pudo confirmar en esta investigación que la hipótesis planteada en el capítulo I cumple favorablemente, ya que los suelos finos pertenecientes a las subrasantes de los caminos estudiados mejoraron considerablemente con los diferentes porcentajes añadidos de arena triturada.
- se pudo verificar con esta investigación que la resistencia de las subrasantes conformadas por suelos finos sufren de un aumento de su CBR. Como se puede apreciar en la siguiente tabla de resultados.

#### 4.1.3. Análisis por tramos de la capacidad portante del suelo.

**Tabla 140 Resumen de valor de CBR de las muestras de cada tramo natural y dosificado con arena triturada**

Tramos	Muestras	CBR Nat	Arena15%	Arena20%	Arena30%	Arena40%
Sella Méndez-Sella Quebrada	Muestra1	3	4	5	7	8
	Muestra2	4	5	6	8	9
Chaupicancha-Cirminuelas	Muestra1	8	9	14	17	21
	Muestra2	7	11	12	15	19
San Pedro-Rumicancha	Muestra1	4	5	7	9	10
	Muestra2	4	6	7	9	11
Yesera Sud-Calderas	Muestra1	7	10	14	16	19
	Muestra2	3	3	5	7	10
Carlazo-Hoyaditas	Muestra 1	5	6	7	9	10
	Muestra2	7	9	11	15	19
Chocloca-Huayco	Muestra1	4	5	7	8	10
	Muestra2	4	5	6	8	9

*Fuente: Elaboración propia*

#### 4.1.4 Conclusiones finales por tramo analizado.

##### 1) Sella Méndez – Sella Quebrada.

- Muestra 1: Clasificación:

AASHTO: A-7-5(13)

SUCCS: CL Arcilla inorgánica de baja plasticidad.

Se observa que el CBR natural del suelo de la **muestra1** incrementa del 33.33% para la mezcla del 15% de arena triturada con el 85% de suelo natural, para la mezcla del 20% de arena triturada con el 80% incrementa el 66.67%, para mezcla del 30% de arena triturada con el 70% de suelo natural incrementa el 133.33%, al 40% de arena triturada con el 60% de suelo natural incrementa un 166.67%.

- Muestra 2. Clasificación:

AASHTO: A-7-5(12)

SUCCS: MH Limo inorgánico de alta plasticidad.

Se observa que el CBR natural del suelo de la **muestra2** incrementa del 25% para la mezcla del 15% de arena triturada con el 85% de suelo natural, para la mezcla del 20% de arena triturada con el 80% incrementa el 50%, para mezcla del 30% de arena triturada con el 70% de suelo natural incrementa el 100%, al 40% de arena triturada con el 60% de suelo natural incrementa un 125%.

## 2) Chaupicancha- Cirminuelas.

- Muestra 1: Clasificación

AASHTO: A-4(7)

SUCCS: ML Limo inorgánico de baja plasticidad

Se observa que el CBR natural del suelo de la **muestra1** incrementa del 12.5% para la mezcla del 15% de arena triturada con el 85% de suelo natural, para la mezcla del 20% de arena triturada con el 80% incrementa el 75%, para mezcla del 30% de arena triturada con el 70% de suelo natural incrementa el 112.5%, al 40% de arena triturada con el 60% de suelo natural incrementa un 162.5%.

- Muestra 2: Clasificación

AASHTO: A-4(4)

SUCCS: ML Limo inorgánico de baja plasticidad

Se observa que el CBR natural del suelo de la **muestra2** incrementa del 57.14% para la mezcla del 15% de arena triturada con el 85% de suelo natural, para la mezcla del 20% de arena triturada con el 80% incrementa el 71.43%, para mezcla del 30% de arena triturada con el 70% de suelo natural incrementa el 114.28%, al 40% de arena triturada con el 60% de suelo natural incrementa un 171.43%.

## 3) San Pedro-Rumicancha

- Muestra 1. Clasificación:

AASHTO: A-6(10)

SUCCS: CL Arcilla inorgánica de baja plasticidad.

Se observa que el CBR natural del suelo de la **muestra1** incrementa del 25% para la mezcla del 15% de arena triturada con el 85% de suelo natural, para la

mezcla del 20% de arena triturada con el 80% incrementa el 75%, para mezcla del 30% de arena triturada con el 70% de suelo natural incrementa el 125%, al 40% de arena triturada con el 60% de suelo natural incrementa un 150%.

- Muestra 2: Clasificación

AASHTO: A-6(9)

SUCCS: CL Arcilla inorgánica de baja plasticidad

Se observa que el CBR natural del suelo de la **muestra2** incrementa del 50% para la mezcla del 15% de arena triturada con el 85% de suelo natural, para la mezcla del 20% de arena triturada con el 80% incrementa el 75%, para mezcla del 30% de arena triturada con el 70% de suelo natural incrementa el 125%, al 40% de arena triturada con el 60% de suelo natural incrementa un 175%.

#### 4) Yesera Sud-Calderas

- Muestra. Clasificación:

AASHTO: A-4(4)

SUCCS: ML Limo inorgánico de baja plasticidad

Se observa que el CBR natural del suelo de la **muestra1** incrementa del 42.86% para la mezcla del 15% de arena triturada con el 85% de suelo natural, para la mezcla del 20% de arena triturada con el 80% incrementa el 100%, para mezcla del 30% de arena triturada con el 70% de suelo natural incrementa el 128.57%, al 40% de arena triturada con el 60% de suelo natural incrementa un 171.43%.

- Muestra 2. Clasificación:

AASHTO: A-7-5(13)

SUCCS: MH Limo inorgánico de alta plasticidad.

Se observa que el CBR natural del suelo de la **muestra2** incrementa del 0% para la mezcla del 15% de arena triturada con el 85% de suelo natural, para la mezcla del 20% de arena triturada con el 80% incrementa el 66.67%, para mezcla del 30% de arena triturada con el 70% de suelo natural incrementa el 133.33%, al 40% de arena triturada con el 60% de suelo natural incrementa un 233.33%.

### 5) Carlazo-Hoyaditas.

- Muestra 1. Clasificación:

AASHTO: A-6(9)

SUCCS: CL Arcilla media plasticidad con arena

Se observa que el CBR natural del suelo de la **muestra1** incrementa del 20% para la mezcla del 15% de arena triturada con el 85% de suelo natural, para la mezcla del 20% de arena triturada con el 80% incrementa el 40%, para mezcla del 30% de arena triturada con el 70% de suelo natural incrementa el 80%, al 40% de arena triturada con el 60% de suelo natural incrementa un 100%.

- Muestra 2. Clasificación:

AASHTO: A-4(5)

SUCCS: CL ML-CL Limo inorgánico de baja plasticidad

Se observa que el CBR natural del suelo de la **muestra2** incrementa del 28.57% para la mezcla del 15% de arena triturada con el 85% de suelo natural, para la mezcla del 20% de arena triturada con el 80% incrementa el 57.14%, para mezcla del 30% de arena triturada con el 70% de suelo natural incrementa el 114.28%, al 40% de arena triturada con el 60% de suelo natural incrementa un 174.43%.

### 6) Chocloca-Huayco

- Muestra 1. Clasificación:

AASHTO: A-6 (11)

SUCCS: CL Arcilla media plasticidad con arena

Se observa que el CBR natural del suelo de la **muestra1** incrementa del 25% para la mezcla del 15% de arena triturada con el 75% de suelo natural, para la mezcla del 20% de arena triturada con el 80% incrementa el 75%, para mezcla del 30% de arena triturada con el 70% de suelo natural incrementa el 100%, al 40% de arena triturada con el 60% de suelo natural incrementa un 150%.

- Muestra 2. Clasificación:

AASHTO: A-6(8)

SUCCS: CL Arcilla baja plasticidad con arena

Se observa que el CBR natural del suelo de la **muestra2** incrementa del 25% para la mezcla del 15% de arena triturada con el 85% de suelo natural, para la mezcla del 20% de arena triturada con el 80% incrementa el 50%, para mezcla del 30% de arena triturada con el 70% de suelo natural incrementa el 100%, al 40% de arena triturada con el 60% de suelo natural incrementa un 125%.

#### 4.1.5. Conclusiones finales de los valores de CBR de los tramos de estudio en relación norma AASHTO

Tabla 141 Tabla de clasificación CBR para sub rasantes según AASHTO

CBR	Clasificación cualitativa del suelo	Uso
2--5	Muy mala	Sub-rasante
5--8	Mala	Sub-rasante
<b>8--20</b>	<b>Regular Buena</b>	<b>Sub-rasante</b>
20--30	Buena	Sub-rasante
30--60	Excelente	Sub-rasante
60--80	Buena	BASE
80--100	Excelente	BASE

*Fuente: norma AASHTO*

**Tabla 142 Resultados finales de los tramos del estudio en relación norma AASHTO para un CBR del 8%.**

TRAMOS	CBR	Natural	15%	20%	30%	40%
Sella Méndez - Sella Quebrada	M1 (%)	3	4	5	7	8
	Observación	falta un 5%	falta un 4%	falta un 3%	falta un 1%	cumple
	M2 (%)	4	5	6	8	9
	Observación	falta un 4%	falta un 3%	falta un 2%	cumple	excede 1%
Chaupicancha- Cirminuelas	M1 (%)	8	9	14	17	21
	Observación	cumple	excede 1%	excede 6%	excede 9%	excede 13%
	M2 (%)	7	11	12	15	19
	Observación	falta un 1%	excede 3%	excede 4%	excede 7%	excede 11%
San Pedro- Rumicancha	M1 (%)	4	5	7	9	10
	Observación	falta un 4%	falta un 3%	falta un 1%	excede 1%	excede 2%
	M2 (%)	4	6	7	9	11
	Observación	falta un 4%	falta 2%	falta un 1%	excede 1%	excede 3%
Yesera Sud- Calderas	M1 (%)	7	10	14	16	19
	Observación	falta un 1%	excede 2%	excede 6%	excede 8%	excede 11%
	M2 (%)	3	3	5	7	10
	Observación	falta un 5%	falta un 5%	falta un 3%	falta un 1%	excede 2%
Carlazo-Hoyaditas	M1 (%)	5	6	7	9	10
	Observación	falta un 3%	falta 2%	falta un 1%	excede 1%	excede 2%
	M2 (%)	7	9	11	15	19
	Observación	falta un 1%	excede 1%	excede 3%	excede 7%	excede 11%
Chocloca-Huayco	M1 (%)	4	5	7	8	10
	Observación	falta un 4%	falta un 3%	falta un 1%	cumple	excede 2%
	M2 (%)	4	5	6	8	9
	Observación	falta un 4%	falta un 3%	falta 2%	cumple	excede 1%

*Fuente: elaboración propia*

Para nuestro estudio de investigación consideraremos el valor mínimo de 8%, ya que este valor según tabla AASHTO nos da una clasificación de regular – buena, para el razonamiento común el significado Regular-Buena es tendencia aceptable.

**Tabla 143 Costo total por tramos para un CBR mayor o igual al 8%**

<b>TRAMO SELLA MENDEZ - SELLA QUEBRADA M1</b>					
<b>PORCENTAJE DE ARENA</b>	<b>COSTO POR KM (Bs)</b>	<b>DISTANCIA DEL TRAMO (KM)</b>	<b>COSTO TOTAL DEL TRAMO EN Bs</b>	<b>CBR AL 100%</b>	<b>ESPESOR DE LA CAPA (cm)</b>
<b>AI 40%</b>	123376	4,3	530516,8	8	20
<b>TRAMO CHAUPICANCHA - CIRMIÑUELO</b>					
<b>PORCENTAJE DE ARENA</b>	<b>COSTO POR KM (Bs)</b>	<b>DISTANCIA DEL TRAMO (KM)</b>	<b>COSTO TOTAL DEL TRAMO EN Bs</b>	<b>CBR AL 100%</b>	<b>ESPESOR DE LA CAPA (cm)</b>
<b>AI 15%</b>	10365,12	6,63	68720,7456	9	2
<b>TRAMO SANPEDRO - RUMICANCHA</b>					
<b>PORCENTAJE DE ARENA</b>	<b>COSTO POR KM (Bs)</b>	<b>DISTANCIA DEL TRAMO (KM)</b>	<b>COSTO TOTAL DEL TRAMO EN Bs</b>	<b>CBR AL 100%</b>	<b>ESPESOR DE LA CAPA (cm)</b>
<b>AI 30%</b>	72946,72	14,58	1063563,18	8	14
<b>TRAMO YESERA SUD - CALDERAS</b>					
<b>PORCENTAJE DE ARENA</b>	<b>COSTO POR KM (Bs)</b>	<b>DISTANCIA DEL TRAMO (KM)</b>	<b>COSTO TOTAL DEL TRAMO EN Bs</b>	<b>CBR AL 100%</b>	<b>ESPESOR DE LA CAPA (cm)</b>
<b>AI 40%</b>	168134,4	7,76	1304722,94	10	24
<b>TRAMO CALAZAO - HOYADITAS</b>					
<b>PORCENTAJE DE ARENA</b>	<b>COSTO POR KM (Bs)</b>	<b>DISTANCIA DEL TRAMO (KM)</b>	<b>COSTO TOTAL DEL TRAMO EN Bs</b>	<b>CBR AL 100%</b>	<b>ESPESOR DE LA CAPA (cm)</b>
<b>AI 30%</b>	70565,6	5,64	397989,984	9	10
<b>TRAMO CHOCLOCA - HUAYCO GRANDE</b>					
<b>PORCENTAJE DE ARENA</b>	<b>COSTO POR KM (Bs)</b>	<b>DISTANCIA DEL TRAMO (KM)</b>	<b>COSTO TOTAL DEL TRAMO EN Bs</b>	<b>CBR AL 100%</b>	<b>ESPESOR DE LA CAPA (cm)</b>
<b>AI 30%</b>	83731,44	5,97	499876,697	8	13

*Fuente: Elaboración propia*

- Concluimos que esta investigación es un aporte para un nuevo método de estabilización de suelos, para mejoramiento de subrasantes de caminos de tierra rurales.
- FINALMENTE DESPUÉS DE HABER ANALIZADO LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO DE INVESTIGACIÓN SOBRE MEZCLAS ENTRE SUELOS DE DIFERENTES TRAMOS CON ARENA TRITURADA SE CONCLUYE QUE AGREGANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE ARENA SI LOGRAMOS MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICO-MECANICAS DEL SUELO EN ESTUDIO.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

- Realizar una planilla de identificación de las muestras a ser analizadas en laboratorio, para que no exista confusión al momento de realizar los ensayos.
- Tener mucho cuidado en la desintegración del suelo extraído de campo, ya que se puede fraccionar el material pétreo y esto puede llegar a alterar la granulometría del suelo.
- Al momento de mezclar los diferentes porcentajes se tiene que tener cuidado en pesar las proporciones establecidas en base al calculo
- Prestar mucha atención al momento de hacer la lectura del extensómetro para el CBR.
- Se recomienda extraer las muestras de suelo natural para el ensayo de humedad en recipientes herméticamente cerrados (bolsas plásticas que no permita la evaporación del agua )
- Al momento de extraer la muestra del suelo natural se tiene que despejar todo el material orgánico y residuos que no pertenezcan al suelo original del sitio (si hubiese), por consiguiente se tiene que excavar una profundidad mínima de 0,30 metros antes de extraer la muestra a analizar.

