

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

El mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo es aplicado en obras ingenieriles, ya que a la hora de realizar o construir una obra vial nos encontramos con suelos que no poseen las condiciones físicas-mecánicas, lo cual el proceso de estabilización mecánica es uno de los más utilizados.

El grado de mejoramiento de las propiedades de los suelos finos, combinados con suelo aluvial para la subrasante, consiste en mejorar las propiedades mecánicas, aumentando resistencia de CBR y la disminución de su expansión.

En el contexto internacional, nacional y local existen varias investigaciones sobre estabilización de suelos en las cuales se utilizan distintos tipos de agentes estabilizantes y verifican el mejoramiento de sus propiedades mecánicas, no existen trabajos en el que se use suelo aluvial para el mejoramiento de suelos finos.

Un trabajo corresponde a Willam Vedia Fernández quien realizó un: “Análisis del comportamiento de las propiedades de resistencia de un suelo fino, al combinar con residuo clasificado de obras viales para subrasante de pavimento”.

El autor en este trabajo pretende analizar el mejoramiento de sus propiedades mecánicas de los suelos finos, combinados con suelo aluvial a distintos porcentajes, de tal manera que se pueda identificar sus mejoras para su aplicación en el diseño de obras civiles.

Este trabajo de investigación se basa en la teoría de estabilización de suelos para subrasantes con lo se comprobará que el suelo fino sea apto para terreno de fundación mediante normas como ser la AASHTO y ASTM, su aplicación consiste en la estabilización de un suelo fino combinado con un suelo aluvial mediante ensayos de laboratorio, que beneficiará en la construcción de obras viales, para la mejorar transitabilidad de vehículos y por lo tanto un buen servicio para la población.

1.2. Justificación

En la actualidad la existencia de los suelos finos presentan condiciones no adecuadas al momento de realizar la construcción de una obra vial, dentro de este grupo de suelos encontramos a las arcillas con una alta plasticidad y difícil de trabajar, clasificándolo en algunos casos como un terreno malo, esta situación da posibilidades de descartar el material que no cumplan con la norma especificada, reemplazar con otro material o modificar sus propiedades mecánicas del material existente, capaz de cumplir la norma.

Lo cual este proyecto pretende realizar un análisis del mejoramiento de las propiedades de los suelos finos, combinados con suelo aluvial a distintos porcentajes, de tal manera que se pueda observar como varían sus propiedades mecánicas de resistencia CBR y expansión mediante ensayos de laboratorio, por lo que el empleo de esta técnica puede resultar siendo una solución adecuada.

1.3. Diseño teórico

1.3.1. Planteamiento del problema

1.3.1.1. Situación problemática

El mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo es aplicado en obras ingenieriles, lo cual el proceso de estabilización mecánica es uno de los más utilizado.

El grado de mejoramiento de las propiedades de los suelos finos, combinados con suelo aluvial para la subrasante, consiste en mejorar las propiedades mecánicas, aumentando resistencia CBR y disminuir la expansión.

En el departamento de Tarija la predominación de los suelos finos es un problema que debe atenderse adecuadamente ya que es el cimiento para la estructura de una vía u otro tipo de estructura y dependerá de la capacidad portante CBR que logre para el soporte de las capas que conformen la misma para garantizar una respuesta a las solicitudes de cargas impuestas del tráfico, esto evitará que se formen ondulaciones, agrietamientos.

Esto nos impulsa a realizar la investigación sobre el análisis de los suelos finos, combinados con suelo aluvial lo que nos brindará resultados del mejoramiento de los

suelos de nuestro departamento, se verificarán y obtendrán en laboratorio mediante pruebas de resistencia.

Con la realización de la investigación se podrá conocer qué tan beneficioso es la estabilización de los suelos mediante el método expuesto en el párrafo anterior, además si es recomendable utilizarlo y en qué proporción de combinación.

1.3.1.2. Problema

¿De qué manera, un análisis de las propiedades de suelos finos, combinados con suelo aluvial nos brindará un mejoramiento?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar el mejoramiento de las propiedades de suelos finos, combinados con suelo aluvial a distintos porcentajes, con la finalidad de mejorar la resistencia CBR para una subrasante.

1.4.2. Objetivos específicos

- Elaborar una teoría de conceptos que introduzcan al tema de investigación de estabilización de suelos.
- Determinar las características y propiedades de los suelos a usar.
- Establecer los resultados obtenidos de los suelos finos con la combinación a diferentes porcentajes.
- Comprobar la hipótesis.
- Proponer una especificación técnica del método usado

1.5. Hipótesis

La combinación del suelo fino con aluvial mejora el valor del CBR.

1.6. Identificación de variables

1.6.1. Variable independiente

- Porcentajes aluvial
- Tipo de suelo fino

1.6.2. Variable dependiente

- Capacidad de soporte CBR

1.6.3. Definición operacional

Tabla 1: Operacionalización de variables.

Variable	Dimensión	Indicador	Valor / Acción
Tipo de suelo	Compactación	Densidad seca máxima gr/cm ³	Ensayo Proctor Modif. (ASTM D422 AASHTO T 180) sobre cada tipo de suelo al natural.
		Humedad óptima %	Ensayo Proctor Modif. (ASTM D422 AASHTO T 180) sobre cada tipo de suelo al natural
	CBR	Razón de soporte %	Obtenido de la curva CBR-densidad seca Ensayo de lab. (ASTM D1883 AASHTO T 193).
Porcentajes de suelo aluvial	Compactación	Densidad seca máxima gr/cm ³	Ensayo Proctor Modif. (ASTM D422 AASHTO T 180) sobre diferentes proporciones de mezcla de suelos.
		Humedad óptima %	Ensayo Proctor Modif. (ASTM D422 AASHTO T 180) sobre diferentes proporciones de mezcla de suelos.
	CBR	Razón de soporte %	Obtenido de la curva CBR-densidad seca Ensayo de lab. (ASTM D1883 AASHTO T 193).

Fuente: Elaboración propia.

1.7. Alcance de la investigación

Es un proyecto de investigación explicativa, implica buscar una relación causal entre dos o más variables y las causas que ocasionan un problema.

El investigador manipulará las variables independientes en un ambiente controlado para medir los efectos de las variables dependientes.

En la investigación se contempla el análisis de los suelos finos cuyas características son las que presentan menores resistencias, por lo cual se busca mejorar sus propiedades combinándolos con suelo aluvial a distintos porcentajes, aumentando su capacidad de resistencia.

Se clasificará por medio de los métodos de clasificación AASTHO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y el sistema de clasificación unificado USCS (Unified Soil Classification System).

Para la realización de los ensayos de granulometría, límites de Atterberg, compactación, resistencia CBR, se realizará una cantidad de ensayos en laboratorio cuyo procedimiento y equipos a ser utilizados en laboratorio estarán regidos bajo las especificaciones de la normas AASHTO y ASTM 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.

Para las interpretaciones de los resultados se usarán gráficas donde se podrá apreciar la variación de la resistencia CBR, debido a los distintos porcentajes de suelo aluvial.

El alcance principal del trabajo de investigación es comprobar, si al combinar el suelo fino con suelo aluvial a distintos porcentajes este mejorara la capacidad portante CBR, para el uso transitabilidad de vehículos y así mismo un buen servicio para la población.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Definición de suelos

Se dice que en ingeniería civil el suelo constituye cualquier tipo de material terroso no consolidado compuesto por distintas partículas sólidas. Su origen es producido por mecanismos que atacan el suelo, los cuales son: La desintegración mecánica que es la intemperización de la roca mediante agentes físicos (congelamiento del agua en las partículas de la roca y cambios de temperatura) y la descomposición química que son agentes que atacan a las rocas modificando su composición química donde el agua es el más importante, otros mecanismos que atacan las rocas son la carbonatación, oxidación e hidratación. Cualesquiera de estos ataques son generados por los cambios de temperatura, en zonas cálidas y húmedas se pueden encontrar suelos arcillosos, en zonas más frías se pueden encontrar gravas arenas o limos.¹

2.1.1. Suelos finos

Los suelos finos son aquellos que poseen una parte relevante de suelos cohesivos y están constituidos de partículas compuestas de fragmentos diminutos de roca, minerales y minerales de arcilla, con textura granular y en hojuelas lo cual condicionan su comportamiento en obras civiles.

2.1.2. Arcillas y limos

Las arcillas están constituidas por silicatos de aluminio hidratados, algunas arcillas presentan además silicatos de magnesio, hierro u otros metales hidratados. Cada partícula de arcilla tiene una carga eléctrica negativa, su intensidad de carga depende de la estructuración y composición.

¹ E. Juárez y A. Rico, (1973), Mecánica de suelos: Fundamentos de la mecánica de suelos, vol. tomo I, México D.F: Limusa. S.A.

Los suelos que contienen arcillas y limos presentan problemas geotécnicos para su empleo en obra civil debido a la elevada plasticidad, una reducida capacidad portante e inestabilidad de volumen en función de la humedad (expansión y contracción). Muchos de los suelos arcillosos se hallan en zonas de alta precipitación, presentando deficiencias en el drenaje, este suelo se caracteriza por su alto contenido de agua y su baja resistencia.

El tamaño de partículas de los suelos arcillosos varía desde 0.005mm hasta dimensiones coloidales, teniendo muchas partículas arcillosas con diámetro inferior a 0.002mm.

En el cuadro se muestra los distintos sistemas de clasificación según las organizaciones que actualmente utilizan los ingenieros en los proyectos.

Tabla 2: Límites de tamaño de los suelos separados.

Nombre de la Organización	Tamaño del grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de transporte y carreteras estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U:S:Army corps of Engineers; U.S. Bureau of reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcillas < 0.075)	

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja M. Das).

2.2. Contenido de humedad de los suelos

Se define como la cantidad de agua que se encuentra dentro de una muestra de suelo y que luego de someterlo a elevadas temperaturas se puede conocer su valor, expresada en porcentaje.²

² Juárez B., Rodríguez R., (2005), Mecánica de suelos, México DF, Grupo Noriega Editores.

La siguiente expresión define el cálculo del contenido de humedad del suelo.

$$W = \frac{W_W}{W_{SS}} \cdot 100$$

Donde:

W = Contenido de agua (%)

W_W = Peso del agua presente en el suelo (gr)

W_S = Peso del suelo seco después de secado al horno (gr)

Dentro del suelo, el agua se presenta de las siguientes formas:

Agua libre: Es el agua que circula a través del suelo sin dificultad alguna y por la acción de 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 adsorbe un suelo de la humedad del aire.
- Agua capilar: Es la retenida por efecto de la tensión superficial.

2.2.1. Métodos para la determinación del 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.³

2.2.1.1. Método estándar (horno)

Este método consiste en realizar el secado de la muestra de suelo húmedo en un horno durante 24 horas. A una temperatura de 100-105°C aproximadamente, pasado el tiempo definido, se pesa la cápsula junto con el material, es un método que da resultados precisos.

³ T.W. Lambe, R.V. Whitman, (1997), Mecánica de suelos, (La formación de suelos).

2.2.1.2. Método hornalla

Cosiste en realizar el secado del suelo húmedo en una hornalla en lapso de tiempo de 30 minutos, se dice que el material está seco cuando se coloca un vidrio encima y no se observa humedad de vapor. Si se utiliza este método se deberá realizar una corrección respecto del método estándar.

2.2.1.3. Método del alcohol

Consiste en agregar alcohol en una cantidad necesaria para saturar completamente el suelo, luego prender fuego hasta que el alcohol termine de consumirse por el fuego, por lo menos repetir dos veces esta prueba. Al igual que la anterior se debe realizar una corrección con respecto al método estándar.

2.3. Granulometría de suelos

La variedad en el tamaño de las partículas de suelos, casi es ilimitada; por definición, los granos mayores son los que se pueden mover con la mano, mientras que los más finos son tan pequeños que no se pueden apreciar con un microscopio corriente.

Debido a ello es que se realiza el análisis granulométrico que tiene por objeto determinar el tamaño de las partículas o granos que constituyen un suelo y fijar, en porcentaje de su peso total, la cantidad de granos de distinto tamaño que el mismo contiene. La importancia de realizar un análisis granulométrico es para identificar cual es la clase de suelo, la manera de hacer esta determinación es por medio de tamices de abertura cuadrada.

La ejecución del ensayo es simple y consiste en tomar una muestra de suelo de peso conocido, colocarlo en el juego de tamices ordenados de mayor a menor abertura, pesando los retenidos parciales de suelo en cada tamiz. Esta separación física de la muestra en dos o más fracciones que contiene cada una de las partículas de un solo tamaño, es lo que se conoce como “Fraccionamiento”.⁴

⁴ F. Mantilla, (2012), Mecánica de Suelos elemental en la Ingeniería Civil, Ambato: universidad técnica de Ambato.

2.3.1. Análisis mecánico del suelo

La determinación del peso de cada fracción que contiene partículas de un solo tamaño es llamado análisis mecánico.

Este es uno de los análisis de suelo más antiguo y común, brindando la información básica por revelar la uniformidad o graduación de un material dentro de rangos establecidos, y para la clasificación por textura de un suelo.

Sin embargo, debido a que el menor tamaño de tamiz que se utiliza corrientemente es el 0.075 mm (Malla N° 200), el análisis mecánico está restringido a partículas mayores que ese tamaño que corresponde a arenas limpias finas. Por lo tanto, si el suelo contiene partículas menores que ese tamaño la muestra de suelo analizada debe ser separada en dos partes, para análisis mecánico y por vía húmeda (hidrometría).

Por medio de lavado por el tamiz N° 200 y lo que pase por este tamiz será sometido a un análisis granulométrico por vía húmeda, basado en la sedimentación. Este proceso se utilizará para realizar la caracterización de las muestras o suelos a utilizar en el proyecto.

Figura 1: Juego de tamices.



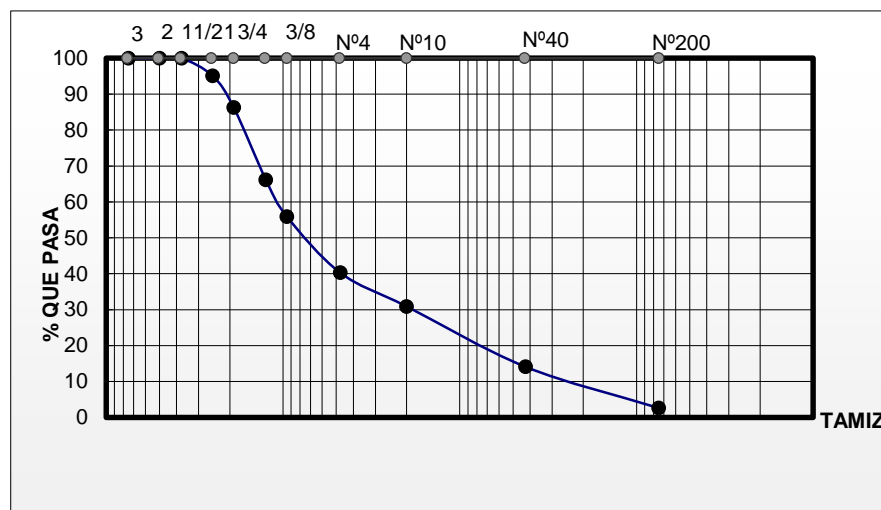
Fuente: Elaboración propia.

2.3.1.1. Curva de distribución granulométrica

La curva granulométrica que se dibuja, es a escala logarítmica ya que, de no ser así, la representación gráfica tendría que usar una escala demasiado grande. Se utilizan estas curvas 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.⁵

Figura 2: Curva de distribución granulométrica.



Fuente: Elaboración propia.

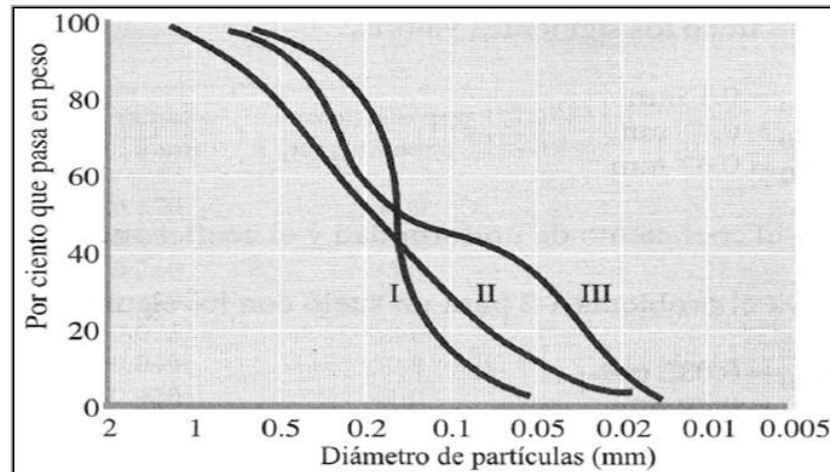
La curva I representa un tipo de suelo en el que la mayoría de los granos son del mismo tamaño y se llama suelo mal graduado.

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

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

⁵ F. Mantilla, (2012), Mecánica de Suelos elemental en la Ingeniería Civil, Ambato: universidad técnica de Ambato.

Figura 3: Tipos de diferentes curvas granulométricas.



Fuente: Braja M. Das.

2.3.1.2. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro

Con el análisis hidrométrico se puede determinar el porcentaje de limos y arcillas, en suelos que pasan el tamiz N° 200. Está basado en la sedimentación de un material en suspensión en un líquido con un agente dispersante o defloculante, este se añade a la solución para neutralizar las cargas sobre las partículas más pequeñas del suelo, que a menudo tienen carga negativa.

El hidrómetro sirve para la determinación de la variación de la densidad de la suspensión con el transcurso del tiempo y medir la altura de caída del gramo de tamaño más grande correspondiente a la densidad media. Se aplica a partículas de suelos que pasan el tamiz N° 200 (0.075 mm.), hasta 0.001 mm.

El análisis hidrométrico se basa en la ley de Stokes, puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños, la cual se expresa en:

$$V = \frac{\int s - \int w}{18 \times \eta} * D^2$$

Donde:

V = Velocidad

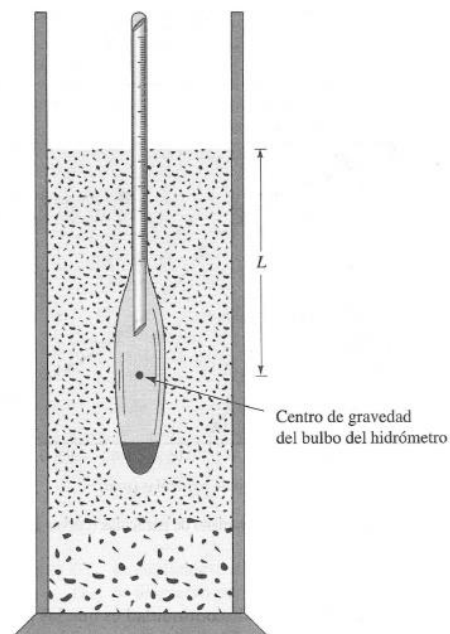
$\int s$ = Densidad de las partículas del suelo

$\int w$ = Densidad del agua

η = Viscosidad del agua

D = Diámetro de las partículas del suelo

Figura 4: Definición “L” en una prueba hidrométrica.



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja M. Das).

2.4. Límites de consistencia

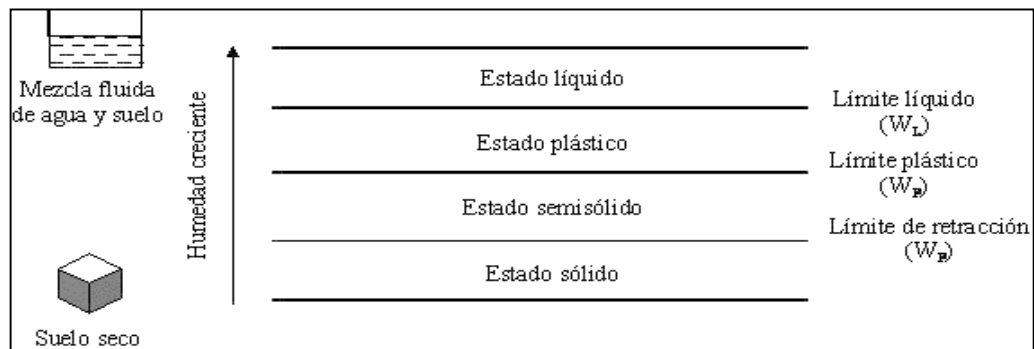
Los límites de consistencia o también llamados los límites de Atterberg se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo de su propia naturaleza y la cantidad de agua que contengan. Así un suelo se puede encontrar en un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

La plasticidad se convirtió en una propiedad ingenieril de interés científico escrito 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.

Cuando a un suelo cohesivo se le reduce lentamente su contenido de humedad el suelo pasa gradualmente del estado líquido a su estado plástico y así hasta llegar a su estado sólido. Los límites que son necesarios para la identificación del suelo son el límite líquido y el límite plástico.⁶

Figura 5: Estados de consistencia del suelo y límites de Atterberg.



Fuente: Apuntes de ingeniería civil.

El contenido de agua con que se produce el cambio entre estados varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente conocer el rango de humedades para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad). Se trata de la propiedad que presentan los suelos hasta cierto límite.

El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por el científico sueco Albert Atterberg en el año 1911. Los límites de Atterberg son propiedades, valores de humedad de los suelos que se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.

⁶ J. Bowles, (1978), Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, Bogotá: McGraw-Hill Latinoamericana, S.A.

2.4.1. Plasticidad de los suelos

Se define como plasticidad la capacidad que tenía un suelo de ser deformado sin agrietarse, ni producir rebote elástico. A su vez observa que los suelos arcillosos en condiciones húmedas son plásticos y se vuelven muy duros en condiciones secas, que los limos no son necesariamente plásticos y se vuelven menos duros con el secado y que las arenas son desmenuzables en condiciones sueltas y secas.

2.4.2. Índice de plasticidad

El índice de plasticidad indica la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, representa la variación de humedad que tiene el suelo para permanecer en estado plástico.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = Índice de plasticidad de suelo (%)

LL = Límite líquido de suelo (%)

LP = Límite plástico de suelo (%)

Tabla 3: Índice de plasticidad del suelo.

IP	Descripción
0 - 3	No plástico
3 - 15	Ligeramente plástico
15 - 30	Baja plasticidad
> 30	Alta plasticidad

Fuente: Apuntes de ingeniería civil.

2.4.3. Límite líquido

Se produce cuando el suelo pasa del estado semilíquido al estado plástico. Es el contenido de humedad al cual una muestra de suelo húmedo colocada en el aparato de Casagrande cierra una ranura de $\frac{1}{2}$ " de amplitud, a los 25 golpes generados a la cápsula de bronce, con un ritmo de dos golpes por segundo.

Figura 6: Aparato de Casagrande.



Fuente: Elaboración propia.

2.4.4. Límite plástico

El límite plástico es el contenido de agua en porcentaje, con el cual el suelo separa el estado semisólido del plástico. Se logra determinar amasando el suelo seco con poca agua y formando rollitos con la palma de la mano sobre una placa de vidrio hasta llegar a un diámetro de 3 mm y una longitud de 25 a 30 mm, el momento en que se empiezan a formar fisuras en fracciones de alrededor de 6mm, su humedad es la correspondiente al límite plástico. Los valores típicos entre limos y arcillas se encuentran entre 5 y 30%.⁷

⁷ Duque G., (2016), Consistencia y plasticidad.

Figura 7: Prueba del límite plástico.



Fuente: Elaboración propia.

2.5. Sistema de clasificación de suelos

Es un ordenamiento en grupos de los suelos que tienen propiedades similares, su propósito es estimar las propiedades que tienen el suelo por comparación de suelos de la misma clase las cuales sus propiedades son conocidas. Para la determinación su clasificación se realiza previamente un ensayo de granulometría y límites de Atterberg.⁸

La clasificación de suelos consiste en incluir un suelo en un grupo que presenta un comportamiento semejante. La correlación de unas ciertas propiedades con un grupo de un sistema de clasificación suele ser un proceso empírico puesto a punto a través de muchos años de experiencia.

La mayoría de las clasificaciones de suelos utilizan ensayos muy sencillos, para obtener las características del suelo necesarias para poderlo asignar a un determinado grupo, las propiedades ingenieriles básicas que suelen emplear las distintas clasificaciones son la distribución granulométrica, los límites de Atterberg, el contenido en materia orgánica, etc. Los dos sistemas principales de clasificación de suelos actualmente en uso son el sistema AASHTO y el sistema SUCS.

⁸ K. Terzaghi y R. B. Peck, (1973), *Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica*, segunda ed., Barcelona: El Ateneo, S.A.

2.5.1. Sistema de clasificación AASHTO

El sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), se usa principalmente para la evaluación cualitativa de la conveniencia de un suelo como material para la construcción de carreteras el cual ha derivado en la actualidad como AASHTO. De acuerdo con este sistema de clasificación, el suelo se clasifica en 7 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 N° 200.

Los suelos de los que más del 35% pasan por la malla N° 200 son clasificados en los grupos A-4, 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:

Tamaño del grano

Grava: fracción que pasa la malla de 75 mm y es retenida en la malla N° 10 (2 mm) de Estados Unidos.

Arena: fracción que pasa la malla N° 10 (2 mm) US. y es retenida en la malla N° 200 (0.075 mm) US.

Limo y arcilla: fracción que pasa la malla N° 200 US.

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.

Índice de grupo

El Índice de grupo se presenta en números enteros y si es negativo su valor será igual a 0 (cero). Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras, se incorpora también un número llamado índice de grupo (IG) junto con los grupos y subgrupos del suelo.

A la vez estos se evalúan en un “índice de grupo”, el cual se calcula con la siguiente fórmula empírica:

$$IG = (F - 35)(0.2 + 0.005(LL - 40)) + 0.01(F - 15)(IP - 10)$$

Donde:

F = Porcentaje que pasa por el tamiz N° 200 (0.075mm).

LL = Límite líquido

IP = Índice de plasticidad

Este índice de grupo se presenta en números enteros y si es negativo su valor será igual a O (cero). El grupo en que se clasifique incluyendo el índice de grupo, será utilizado para determinar la calidad relativa de suelos para terraplenes, material de subrasantes, subbases y bases.⁹

Disponiendo de los resultados obtenidos en laboratorio y estando posicionado sobre el cuadro de clasificación (tabla 4 y 5), realiza un recorrido de izquierda a derecha y el grupo correcto será el primero que satisfaga todos los valores, estos valores se aplicarán como números enteros, si algún número presenta un decimal este deberá ser aproximado al entero más cercano.

⁹ Niemann J., (2005), Clasificación de suelos, DuocUC, MS.

Tabla 4: Clasificación de suelos granulares por el sistema AASHTO.

Clasificación general	Materiales Granulares (35% o menos de la muestra que pasa la malla N° 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Grupo de clasificación	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamices (porcentaje que pasa las mallas)							
N° 10	50 máx.						
N° 40	30 máx.	50 máx.	51 mín.				
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Características de la fracción que pasa la malla N° 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	Excelente a bueno						

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja M. Das).

Tabla 5: Clasificación de suelos finos por el sistema AASHTO.

Clasificación general	Materiales limo arcillosos (más del 35% de la muestra que pasa la malla N° 200)				
	A-4	A-5	A-6	A-7	
Grupo de clasificación				A-7-5	A-7-6
Análisis de tamices (porcentaje que pasa las mallas)					
N° 10					
N° 40					
N° 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	
Características de la fracción que pasa la malla N° 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 subrasantes	Regular a malo				
Para A-7-5, $IP \leq LL-30$					
Para A-7-6, $IP > LL-30$					

Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica (Braja M. Das).

2.5.1.1. 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 dividen 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.

2.5.2. Sistema de clasificación Unificada

El sistema USCS (Unified Soil Classification System), fue propuesto inicialmente por Casagrande en 1942 y después revisado por el Bureau of Reclamation de Estados Unidos y por el Cuerpo de Ingenieros. Este sistema es el más extendido para la amplia variedad de problemas geotécnicos. El sistema USCS clasifica los suelos en base a su granulometría, los límites de Atterberg y el contenido en materia orgánica. A continuación, se muestra dicha clasificación, junto con los símbolos empleados en la misma, así como una descripción de las propiedades esperables de los grupos diferenciados.

Tabla 6: Símbolos de grupo según el sistema de clasificación Unificada.

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	Límite líquido alto(>50)	L
Turba	Pt	Límite líquido bajo(<50)	H

Fuente: Guía de laboratorio de suelos.

Tabla 7: Tipología de suelos según el sistema de clasificación Unificada.

Símbolo	Características generales		
GP	GRAVAS (>50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias	Bien graduadas
GM		(Finos<5%)	Pobremente graduadas
GC		Con finos	Componente limoso
GC		(Finos>12%)	Componente arcilloso
SW	ARENAS (<50% en tamiz #4 ASTM)	Limpias	Bien graduadas
SP		(Finos<5%)	Pobremente 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 ORGÁNICOS	Baja plasticidad (LL<50)	
OH		Alta plasticidad (LL>50)	
Pt	RURBA	Suelos altamente orgánicos	

Fuente: Guía de laboratorio de suelos.

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 clasificará como GW-GM.¹⁰

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:

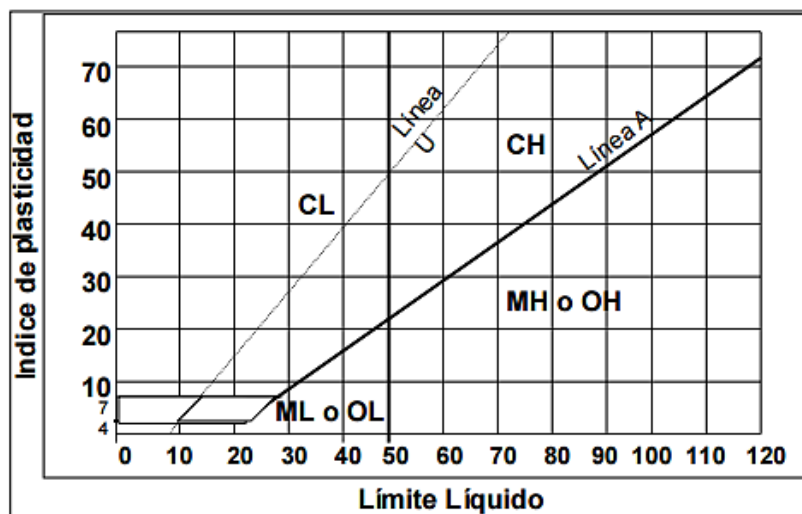
Línea A: $IP = 0.73*(LL-20)$

Línea B: $LL = 50$

¹⁰ Reglamento CIRSOC 401

Como muestra la siguiente gráfica:

Figura 8: Carta de plasticidad.



Fuente: Clasificación de suelos, Farias D, Niemann J.

Tabla 8: Clasificación de suelos gruesos por el sistema de clasificación Unificada.

Gruesos (< 50% pasa 0.08mm)						
Tipo de suelo	Símbolo	% pasa 5mm.***	% pasa 0.08mm.	CU	CC	IP
Gravas	GW	< 50	< 5	> 4	1 a 3	
	GP			≤ 6	< 1 ó > 3	< 0.73 (wl-20) ó < 4
	GM		> 12			> 0.73 (wl-20) ó > 7
	GC					
Arenas	SW	> 50	< 5	> 6	1 a 3	
	SP			≤ 6	< 1 ó > 3	
	SM		> 12			< 0.73 (wl-20) ó < 4
	SC					> 0.73 (wl-20) ó > 7
*Entre 5 y 12% usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM, SP-SC.						
***respecto a la fracción retenida en el tamiz 0.080 mm						
***SI IP= 0.73 (wl-20) ó si IP entre 4 y 7 e IP>0.73 (WL-20), usar símbolo doble: GM-GC, SM-SC						
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej: GW-GM en vez de GW-GC.						
$C_u = (D_{60})/D_{10}$				$C_u = (D_{30}^2)/(D_{60} \cdot D_{10})$		

Fuente: Clasificación de suelos, Gonzalo Duque y Carlos E. Escobar.

Tabla 9: Clasificación de suelos finos por el sistema de clasificación Unificada.

Finos ($\geq 50\%$ pasa 0.08mm)			
Tipo de suelo	Símbolo	Límite líquido W_L	Índice de plasticidad
Limos inorgánicos	ML	< 50	$< 0.73 (w_l-20)$ ó < 4
	MH	> 50	$< 0.73 (w_l-20)$
Arcillas inorgánicas	CL	< 50	$> 0.73 (w_l-20)$ ó > 7
	CH	> 50	$> 0.73 (w_l-20)$
Limos y arcillas orgánicos	OL	< 50	** W_L seco al horno $\leq 75\%$ de W_L seco al aire
	OH	> 50	
Turba	Pt	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente.	
Si $IP = 0.73 (W_L - 20)$ ó si IP entre 4 y 7 e $IP > 0.73 (W_L - 20)$, usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH			
** Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente W_L seco al horno			
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej: CH-MH en vez de CL-ML.			
Si $W_L = 50$; CL-CH ó ML-MH			

Fuente: Clasificación de suelos, Gonzalo Duque y Carlos E. Escobar.

2.6. Compactación de suelos

“La compactación es el proceso artificial/mecánico, por el cual se pretende obtener mejores características en los suelos que constituyen la sección estructural de las carreteras, de tal manera que la obra resulte duradera y cumpla con el objetivo por el cual fue proyectada” (Terzagui, 1986).

La compactación logra una disminución de los huecos del suelo ocupados por aire, Se realiza mediante la aplicación de energía a la masa de suelo, por un proceso mecánico a través del que se busca obtener la máxima densidad seca del material, estando el suelo humectado con el contenido de agua óptimo.

La compactación en obra se lo puede realizar con múltiples equipos y maquinarias entre estas existen: los rodillos de ruedas lisas, los rodillos patas de cabra, los rodillos con

neumáticos de hule, especialmente se utiliza el rodillo vibratorio para la densificación de los suelos granulares.¹¹

Entre las ventajas de compactar un suelo tenemos:

- Aumenta resistencia y capacidad de carga del suelo.
- Reduce la compresibilidad y disminuye la aptitud para absorber el agua.
- Reduce los asentamientos debido a la disminución de la relación de vacíos.
- Reduce el efecto de contracción.
- Mejora las condiciones de esfuerzo- deformación del suelo.

2.6.1. 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.

2.6.2. 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.

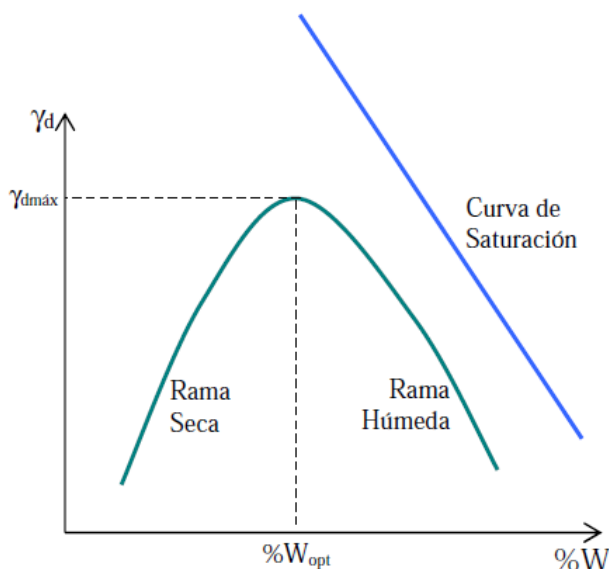
También el suelo compactado no debe deformarse tanto, por efecto de las cargas que resiste, de manera que no se dañe dicho suelo ni la estructura que soporta, es decir, no debe retraerse ni expenderse excesivamente.

¹¹ D. Morales, (2015), Valoración de las cenizas de carbón para la estabilización de suelos mediante activación alcalina y su uso en vías no pavimentadas, Medellín.

2.6.3. Curvas de compactación

Cuando se compacta un suelo bajo diferentes condiciones de humedad y siendo cualquiera el método empleado, se relaciona las densidades con los porcentajes de humedad, lo que da como resultado una curva como la que se muestra.

Figura 9: Representación gráfica de la densidad máxima seca vs humedad óptima (%).



Fuente: Ensayo de compactación de suelo, Andrés Botía D.

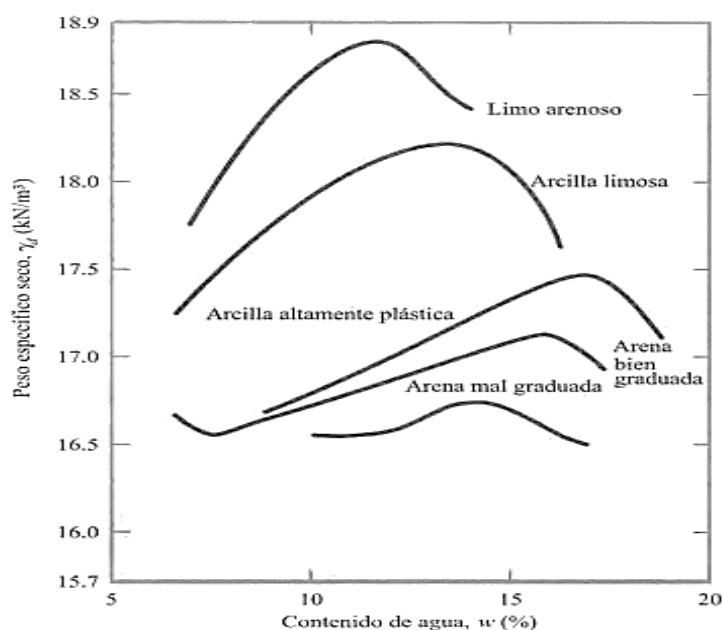
En la figura se observa que densidad máxima seca es la mayor densidad que puede alcanzar un suelo al ser compactado a la humedad óptima.

- Densidad máxima seca; corresponde a la mayor densidad que puede alcanzar un suelo al ser compactado a la humedad óptima, que se determina dividiendo la masa seca por su volumen.
- Humedad óptima; es el porcentaje de humedad para el cual un suelo sometido a una energía de compactación determinada presenta su máxima densidad.

2.6.4. Curva de saturación

La curva de saturación representa las densidades de un suelo en estado de saturación, es decir cuando el volumen de vacíos es cero, razón por la cual se le conoce también como “Curva de cero vacíos de aire” o de “saturación completa”. Cada suelo reacciona de diferente manera con respecto a la densidad máxima y humedad óptima, por lo tanto, cada uno tendrá su propia y única curva de control. Las curvas típicas de compactación para diferentes tipos de suelos, se muestran en la figura.

Figura 10: Representación gráfica de densidad seca vs humedad (%).



Fuente: Mecánica de suelos, Braja MD.

2.6.5. Energía de compactación

La energía de compactación en laboratorio implica de un trabajo mecánico que comprende la altura de caída, número de golpes, peso del pisón, número de capas. Los datos que determinan la energía específica, fueron establecidos por Proctor como los adecuados para reproducir los pesos específicos secos que podían lograrse económicamente con el equipo disponible en aquella época.

2.7. Prueba de relación de soporte del suelo CBR

La finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Es un método desarrollado por la división de carreteras del Estado de California (EE.UU.) y sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, subbase y base de pavimentos.

La capacidad de soporte se refiere a la resistencia que presenta a las deformaciones bajo la aplicación de cargas de tráfico, presentan factores que interviene en la capacidad de soporte de los suelos como la resistencia al esfuerzo cortante, este depende de la densidad alcanzada y su humedad, los suelos saturados poseen baja capacidad de soporte en comparación a suelos no saturados, debido a la relación que a mayor humedad menor capacidad de soporte del suelo.¹²

El número de CBR se obtiene de la relación de carga unitaria (lb/pulg²) necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración con el pistón de penetración (2" de diámetro, 19.4cm²), mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte. El (%) CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón normalizado (con carga de una capacidad mínima de 26.7 kN o 6.000 lbf) penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y velocidad uniforme de 1.27 mm/min, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material chancado.

2.8. Suelo aluvial

Un suelo aluvial, es un suelo sedimentario que se ha formado a partir de material que ha sido transportado por corrientes de agua. Aunque generalmente los suelos aluviales son

¹² C. Kraemer y J. Pardillo y S. Rocci y M. Romana y V. Sánchez y M. Del Va, (2004), Ingeniería de Carreteras, Madrid: McGraw Hill Interamericana.

considerados de origen fluvial, las corrientes de agua que transportan el sedimento pueden provenir también de la lluvia o de las marismas.¹³

Se les llama así a los depósitos formados por desalojo, transporte y acumulación de detritos en los lechos de corriente, desde las laderas adyacentes de torrentes y ríos, junto con detritos dispuestos por gravedad, todos estos detritos son sometidos a un tratamiento especial por las corrientes antes de disponerse en capas. Existen varios tipos de suelos aluviales y muchas geoformas asociadas a estos distintos tipos de depósito.

Los ríos acumulan los depósitos que ellos mismos producen y aún pueden excavar en el fondo de los lechos a través de estos depósitos.

Figura 11: Suelo aluvial.



Fuente: Elaboración propia.

2.8.1. Carácter de los depósitos aluviales

Cualquiera que sea su forma original, los fragmentos y partículas transportadas por corrientes se redondean a causa de la abrasión a que son sometidos en el transporte.

Además, debido al delicado equilibrio impuesto por la capacidad de transporte, los fragmentos se clasifican según su tamaño y peso, a lo largo del cauce (clasificación progresiva), como en cualquier punto de este, (clasificación local), segregándose también mineralógicamente. Capas de cantos y gravas se intercalan con capas de arena y estas a su turno se intercalan con capas y lentes de limo y arcilla.

¹³ <https://www.slideshare.net/ClubProyecto/los-suelos-aluviales>.

2.8.2. Comportamiento de los suelos aluviales en ingeniería.

El comportamiento en ingeniería de los suelos aluviales depende entre otros factores de los siguientes:

De su relación con la roca parental

- A diferencia de los suelos residuales los suelos transportados presentan capas diferentes y límites bien marcados entre unas y otras.
- La Fracción fina de los depósitos aluviales corresponde a partículas de limo y arcilla que resultan de la descomposición de las rocas y que poseen tamaños menores de 0.06 mm de diámetro (caolinita, montmorillonita, ilita, vermiculita, clorita, y otras partículas diminutas); mientras que la Fracción Gruesa corresponde a partículas producidas por desintegración mecánica, que poseen un tamaño mayor de 0.006 mm, y están constituidos principalmente de cuarzo o de fragmentos de roca.
- Por lo general, la fracción fina (arcillas) forma los suelos cohesivos, es decir aquellos formados por laminitas pequeñas y livianas con alta superficie específica y fuerzas físico eléctricas más importante que las fuerzas de gravedad en su proceso de sedimentación.
- Por su parte la fracción gruesa (algunos limos, arenas y gravas) corresponde a la de los suelos no cohesivos, en los cuales las fuerzas de gravedad son más importantes durante la sedimentación que las fuerzas eléctricas entre partículas. En los suelos de la fracción fina, su consistencia varía en la medida que cambia su estado de humedad. El comportamiento de los suelos de la fracción gruesa depende en cambio de su estado de densidad, el cual varía con la forma como están empaquetadas las partículas.

Del tratamiento de las partículas en el proceso de transporte. En el caso de los suelos aluviales las partículas gruesas se redondean y su textura se vuelve muy suave al tacto.

De la selección progresiva (a lo largo del cauce de las corrientes) o local (en una misma sección) de los tamaños de las partículas. Primero las partículas finas se

segregan de las gruesas y luego los depósitos se acumulan formando capas con fragmentos de tamaño semejante (capas de grava; lentes de arena etc.).¹⁴

2.9. Subrasante

Es el suelo que sirve como fundación y soporta el paquete estructural de un pavimento, puede ser un terreno en condiciones naturales para implantar cimientos o la capa explanada de una carretera, por ende, debe soportar las cargas producidas por el tránsito, el espesor de la estructura del pavimento depende de la composición y las propiedades de la sub-rasante. La subrasante debe soportar cargas vehiculares en su construcción, proveer una resistencia a la compactación de capas de la estructura del pavimento y soportar continuamente las cargas de tránsito durante su vida útil.¹⁵

La subrasante corresponde al fondo de las excavaciones en terreno natural, donde subrasante será clasificada en función al CBR, como se muestra a continuación:

Tabla 10: Clasificación de la subrasante, según el valor de CBR.

Clasificación	CBR
Subrasante muy pobre	< 3%
Subrasante pobre	3% - 6%
Subrasante regular	6% - 10%
Subrasante buena	10% - 20%
Subrasante Muy buena	20% - 30%
Subrasante excelente	> 30%

Fuente: Manual de carreteras suelos, geotecnia-MTC sección suelos y pavimentos

¹⁴ <https://www.docsity.com/es/meteorizacion-de-suelos/2612052/>.

¹⁵ H. Rondón y F. Reyes, (2015), Pavimentos, materiales, construcción y diseño, Bogotá: Ecoe.

2.10. Estabilización de suelos

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

Existe una gran mayoría de suelos que necesitan modificar sus propiedades, se logra una mejoría por medios mecánicos, por drenaje, por calor y por medios químicos, los diferentes tipos de suelos y sus composiciones hacen que cada método resulte solo aplicable a un número limitado de suelos y por lo tanto la inversión económica es diferente para cada tipo de estabilización por lo que se debe reconocer que la estabilización no es una herramienta ventajosa en todos los casos, hay que tomar siempre en cuenta las propiedades que se desee mejorar, el esfuerzo y la inversión económica que se debería realizar.

Las propiedades de los suelos más estudiados cuando se los estabilizan son:

- **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 indicará una modificación del agua adsorbida por el suelo.

- **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 esta 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.

- **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. Así mismo, 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.

- **Resistencia**

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.

2.10.1. 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.¹⁶

- Estabilización mecánica
- Estabilización física o granulométrica
- Estabilización química o por medios químicos
- Estabilización físico-químico
- Estabilización por medios eléctricos

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.

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:

¹⁶ A. Rico y H. Del Castillo, (1978L), Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, México: Limusa.

Procesos físicos:

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

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 suelo aluvial, ya que tienen propiedades similares.

Por ejemplo, los suelos de grano grueso como las grava-arenas tienen una alta fricción interna lo que lo hacen soportar grandes esfuerzos, pero esta cualidad no hace que sea estable como para ser firme de una carretera ya que al no tener cohesión sus partículas se mueven libremente y con el paso de los vehículos se pueden separar e incluso salirse del camino.

Las arcillas, por lo contrario, tienen una gran cohesión y muy poca fricción lo que provoca que pierdan estabilidad cuando hay mucha humedad. La mezcla adecuada de estos dos tipos de suelo puede dar como resultado un material estable en el que se puede aprovechar la gran fricción interna de uno y la cohesión del otro para que las partículas se mantengan unidas.

2.10.2. Importancia de la estabilización de 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.

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1. Criterios metodológicos de la investigación

3.1.1. Unidades de estudio y decisión muestral por variable

3.1.2. Unidad de estudio o muestreo

La unidad de estudio o muestreo serán los ensayos de CBR de suelos finos combinados con suelo aluvial a distintos porcentajes.

3.1.3. Población y muestra

La población son todos los ensayos de caracterización del suelo estudiado, así como los ensayos de CBR.

La muestra se puede considerar los ensayos de CBR y resistencia cortante como los más importantes para la investigación.

3.1.4. Tamaño de muestra

El tamaño de la muestra se calculará mediante el método de proporciones de población finita, para luego obtener el tamaño de la muestra ahora conocida se desarrollará el cálculo de muestra estratificada por fijación proporcional.

3.1.5. Selección de las técnicas de muestreo

La técnica de muestreo que optamos por seguir es el método del muestreo probabilístico:

-Muestreo estratificado por fijación proporcional

Donde:

p_i = Probabilidad de ocurrencia

q_i = Probabilidad de no ocurrencia

E= Error

NC= Nivel de confianza

Fórmula:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n Ni.p.q}{N\left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^n Ni.p.q}{N}}$$

Cálculo de muestra:

Nivel de confianza	50	75	80	85	90	95	96	97	98	99
Z	0.574	1.15	1.28	1.44	1.64	1.96	2.05	2.17	2.33	2.58

NC= 95%

Z= 1.96

pi= 50%

qi=5 0%

E= 5%

Ensayos	Ni	p	q	Ni.p.q	fi	ni
Caracterización del suelo fino						
Granulometría	4	0.5	0.5	1	0.0320	4
Límite líquido	4	0.5	0.5	1	0.0320	4
Límite plástico	4	0.5	0.5	1	0.0320	4
Caracterización del suelo Aluvial						
Granulometría	3	0.5	0.5	0.75	0.0240	3
Límite líquido	3	0.5	0.5	0.75	0.0240	3
Límite plástico	3	0.5	0.5	0.75	0.0240	3
Elaboración de ensayos de resistencia en suelo natural						
Compactación	4	0.5	0.5	1	0.0320	3
Ensayos de CBR	4	0.5	0.5	1	0.0320	3
Elaboración de ensayos de resistencia combinados con suelo aluvial						
Compactación	48	0.5	0.5	12	0.3840	36
Ensayos de CBR	48	0.5	0.5	12	0.3840	36
	125			31.25		99

n = 94,31 ensayos

3.2. Métodos y técnicas empleadas

3.2.1. Método

En la investigación se realizará ensayos en el laboratorio característicos de clasificación de suelos siguiendo la norma indicada y verificación de la resistencia, posteriormente se hará un análisis de datos.

3.2.2. Experimento y técnica

- Análisis granulométrico (ASTM D422 AASHTO T88).
- Determinación del límite líquido y límite plástico de los suelos (ASTM D4318 AASHTO T89).
- Compactación (ASTM D1557 AASHTO 180).
- Relación de soporte de california CBR (ASTM D1883-99).

Todo esto con la finalidad de ver las características que presentan los suelos finos, y se analizará el mejoramiento de los suelos al combinarlo con distintos porcentajes de suelo aluvial, de tal manera permita al investigador partir de la observación que enmarcan el problema de investigación.

3.2.3. Descripción de los instrumentos para la obtención de datos

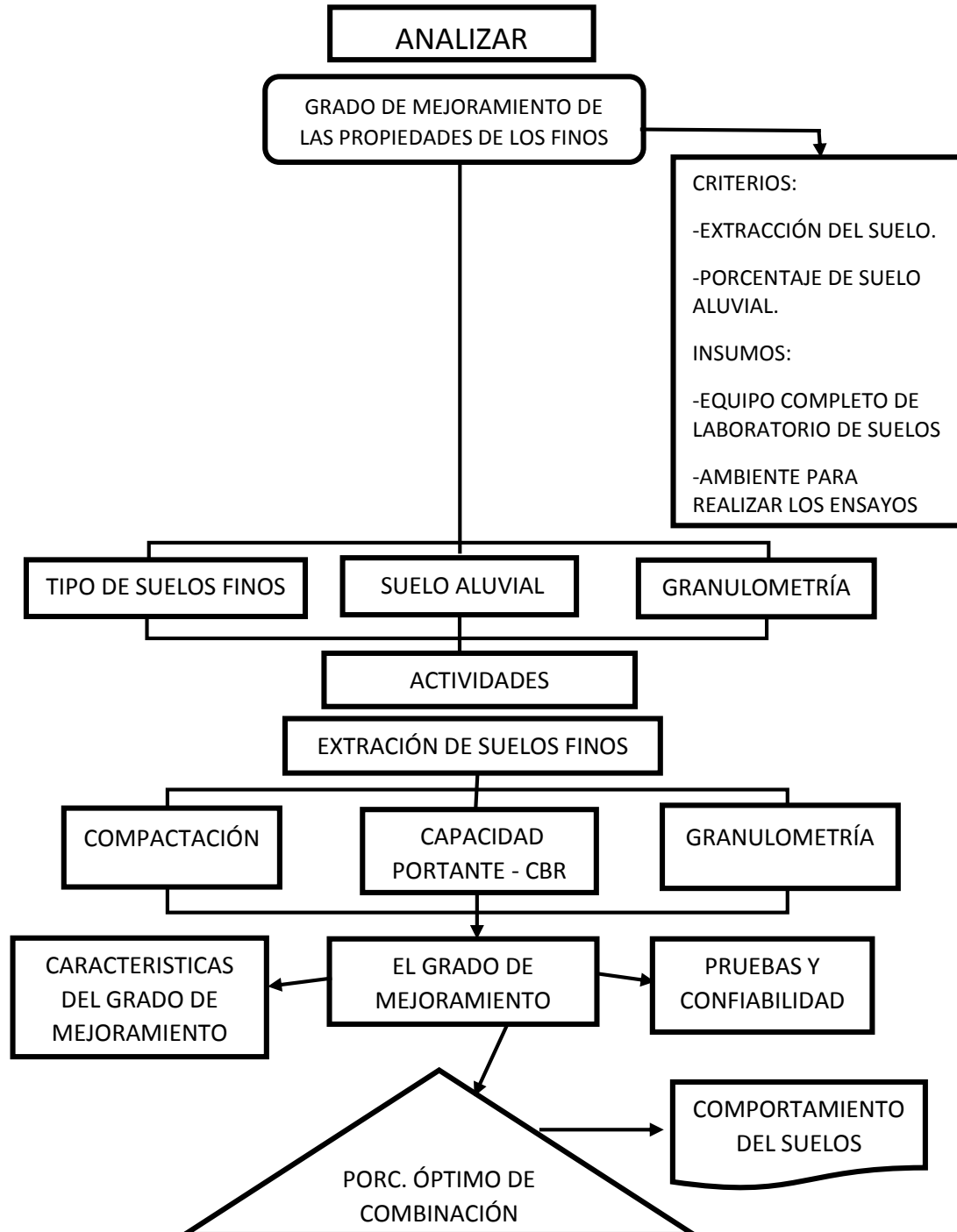
Son los equipos y materiales estandarizados de laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho empleados para la realización de los ensayos del presente trabajo los cuales fueron mencionados anteriormente.

3.2.4. Procedimiento de aplicación

- Se realizará un muestreo a cada una de las zonas para obtener los tipos de suelos finos y la extracción de las muestras por debajo de los 30 cm para evitar extraer desechos orgánicos.
- Las muestras deben ser identificadas adecuadamente por medio de ensayos de clasificación en laboratorio (granulometría, límites, compactación y CBR).
- Después de realizar la caracterización de los suelos naturales será combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial (10%, 20%,30% y 35%).

- Al combinar la muestra con el suelo aluvial se debe realizar los ensayos de compactación y CBR.
- Se ejecutarán los cálculos, y resultados que permitirán verificar la incidencia del suelo aluvial en los suelos finos.

3.2.5. Esquema de actividades en función a la perspectiva.



3.3. Reconocimiento de la zona de muestreo

Para el área de estudio se examinó varias zonas de la ciudad de Tarija, que presentaron visualmente composición de suelos finos, arcillosos expansivos, los cuales sabemos que por teoría son desfavorables, los materiales fueron extraídos de los siguientes barrios.

- Barrio Fray Quebracho
- Barrio Moto Méndez
- Barrio Lourdes
- Barrio Nueva Terminal

Se realizó la extracción de la muestra de estos lugares debido a una inspección visual, en la cual se pudo observar mucha existencia de suelo fino y los mismos cuentan con apertura de calles, lo cual la presencia de polvo es desfavorable para la sociedad, así mismo la transitabilidad de vehículos en épocas de lluvia, de tal manera en un futuro se podrían mejorar con este trabajo de investigación.

Figura 12: Ubicación de la zona de muestreo barrio Fray Quebracho.



Fuente: Elaboración propia.

La muestra está ubicada en el barrio Fray Quebracho a dos cuadras de la parada de frufis de la bandera verde. El terreno está compuesto por suelo fino con contenido de arcilla de color medio plomo seca y textura fina.

Figura 13: Ubicación de la zona de muestreo barrio Moto Méndez.



Fuente: Elaboración propia.

La muestra está ubicada en el barrio en el barrio Moto Méndez entre las calles Baldivieso y Carandaiti, está compuesto por material muy fino de arcilla de color blanquecino de alta plasticidad con textura fina y seca.

Figura 14: Ubicación de la zona de muestreo barrio Lourdes.



Fuente: Elaboración propia.

La muestra está ubicada en el barrio Lourdes, una cuadra antes de llegar al mercado Lourdes, está compuesta por suelo fino de color amarillo con textura fina.

Figura 15: Ubicación de la zona de muestreo barrio Nueva Terminal.



Fuente: Elaboración propia.

La muestra está ubicada a dos cuadras de la Nueva terminal, está compuesta por suelo fino de color amarillo con textura fina y seca.

3.4. Obtención de las muestras

Se obtuvo una muestra representativa para poder determinar de una forma afectiva de las propiedades de los suelos en estudio.

Para la extracción del material se utilizó pala, pico y bolsas plásticas, así mismo cumpliendo las especificaciones y siguiendo el procedimiento de la guía de laboratorio para la extracción de muestras (ASTM D-4220) del manual de carreteras Vol. 4 Ensayos de suelos y materiales (Tomo 1).

3.4.1. Muestreo zona de estudio: barrio Fray Quebracho

Para el muestreo se procedió a la toma directa del material, debido a que se encontraba excavado por maquinaria pesada y libre de materia orgánica. Las muestras tomadas se colocaron en bolsas de nylon (etiquetadas) para evitar la pérdida de humedad natural del suelo y saquillos en la cual se extrajo 200 kg de suelo para los ensayos de estabilización, al cual se le realizaron los ensayos de acuerdo a lo indicado en los manuales técnicos para el diseño de Carreteras. Vol. 4 Ensayos de suelos y materiales.

Figura 16: Extracción de la muestra (barrio Fray Quebracho).



Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Muestreo zona de estudio: barrio Moto Méndez

Se procedió a la toma directa del material debido a que estaba removido por maquinaria pesada y se colocaron en bolsas de nylon (etiquetadas) para sus respectivos ensayos en laboratorio.

Figura 17: Extracción la muestra (barrio Moto Méndez).



Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Muestreo zona de estudio: barrio Lourdes

Se procedió a limpiar la zona de extracción y quitar las ramas y basura existente, se excavo de manera uniforme desde la superficie hasta el fondo, por último, se depositó el material en bolsas de nylon (etiquetadas) para sus respectivos ensayos en laboratorio.

Figura 18: Extracción de la muestra (barrio Lourdes).



Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Muestreo zona de estudio: barrio Nueva Terminal

Se procedió a recoger directamente el material de la zona de estudio debido a que estaba removido por maquinaria para luego colocarlo en bolsas de nylon(etiquetadas) para sus respectivos ensayos en laboratorio.

Figura 19: Extracción de la muestra (barrio Nueva Terminal).



Fuente: Elaboración propia.

3.4.5. Ubicación del estabilizante en estudio (aluvial)

El suelo aluvial se encuentra ubicado en la comunidad de Equis Norte (provincia Méndez) aproximadamente a 10 minutos de Tarija, la capital del departamento.

Para la extracción del material se utilizó pala, pico y saquillos (etiquetadas), en la cual se extrajo una muestra representativa de suelo aluvial para realizar los respectivos ensayos de laboratorio en la U.A.J.M.S.

Figura 20: Ubicación de la muestra del suelo aluvial.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21: Extracción de la muestra (suelo aluvial).



Fuente: Elaboración propia.

3.5. Descripción de las características de los equipos usados en laboratorio

En el desarrollo del presente trabajo de investigación, se utilizó los siguientes materiales:

Figura 22: Equipo y materiales para el ensayo de granulometría.



Fuente: Elaboración propia.

Los tamices son de alambre (acero inoxidable), abertura cuadrada espaciado entre ellos, empleada para selección de áridos, arenas y gravas tensados.

Los marcos son metálicos suficientemente rígidos y firmes para fijar y ajustar las telas de alambre, a fin de evitar pérdidas de material durante el tamizado y alteraciones en la abertura de las mallas. Son circulares, con diámetros de 200 mm, al momento de realizar el ensayo se hizo una revisión donde se observó que en una de las aberturas de los tamices no estaba completamente libre de material, lo cual esto podría influir en los resultados de los ensayos realizados.

Otros materiales

Bandejas, cuchara, balanza de 0.01gr de precisión, se dispuso de un horno con capacidad que permita el secado de muestras de 110 con error $\pm 5^{\circ}\text{c}$.

Figura 23: Equipo y materiales para el ensayo de límites de Atterberg.



Fuente: Elaboración propia.

Equipo de Casagrande

Este aparato tiene incorporado un contador de revoluciones mecánico para registrar cantidad de golpes en la copa de ensayos, incluye una herramienta para ranurar y un bloque calibrador, la manivela se puede cambiar para operación de la mano de izquierda a derecha. En este ensayo se hizo la revisión y observación del equipo, accesorios, ubicación completa de las partes, teniendo en cuenta la calibración de una altura de caída de $1\text{cm} \pm 0.05\text{ mm}$ de la copa metálica, que también fue verificada con el mismo ranurador del equipo que se encuentra acondicionado para tal efecto y realizar el ensayo para darle confiabilidad al proceso y trazabilidad en margen de error al mismo.

Horno de secado

En cuanto al equipo de laboratorio empleado para controlar la temperatura, se dispuso de un horno con capacidad que permita el secado de muestras de 110 con error $\pm 5^{\circ}\text{c}$.

Placa de vidrio esmerilado

Base de vidrio con superficie de amasado de 20 x 20 cm de forma cuadrada.

Otros materiales

Cápsulas donde se colocaron las muestras de suelos son de aluminio inoxidable, tamiz N°40, balanza con precisión de 0.01gr, platos, espátula, probetas graduadas de 500 – 1000 ml u otros recipientes.

Figura 24: Equipo y materiales para el ensayo de compactación



Fuente: Elaboración propia.

Moldes Metálicos

Tienen una forma cilíndrica que están constituidos por una pieza completa o hendida por una generatriz o bien por dos piezas semicilíndricas ajustables.

El molde cuenta con un collar separable de aproximadamente 60 mm de altura.

Pisón metálico

El pisón metálico, se utilizó para compactar la masa de suelo con número de golpes y procedimiento específico y a una altura fija, tiene una cara circular de aprox. 50.8 mm con un margen de error ± 0.2 mm de diámetro, su peso de 44.5 N y una altura de caída del pisón de 457.2 mm con un margen de error de ± 2 mm.

Balanza

Una balanza de 60kg de capacidad y precisión de 5gr y otra de 2kg de capacidad y 0.1 de precisión.

Horno de secado

Se dispuso de un horno con capacidad que permita el secado de muestras de 110 con error $\pm 5^{\circ}\text{c}$.

Otros materiales

Recipientes, probetas graduadas de 500 - 1000ml, espátulas, reglas de acero de 300mm (30cm) de largo, taras o cápsulas, brochas, cronómetro, tamices $\frac{3}{4}$, N° 4 de tamaños nominales de las aberturas según la norma, etc.

Figura 25: Equipo y materiales para el ensayo de CBR (Relación de Soporte de California).



Fuente: Elaboración propia.

La prensa de ensayo CBR (Relación de Soporte de California)

Esta prensa posee un bastidor de dos columnas con travesaño superior regulable en altura, un marco de carga con una capacidad mínima de 44.5 kN (10.000 lbf), una velocidad uniforme de ensayo de 1.27 mm/min, un recorrido máximo del pistón de 120 mm, un anillo dinamométrico (extensómetro de carga) de 50 kN con divisiones de 0.001 mm, un reloj comparador de 30 ± 0.01 mm y un pistón de penetración ajustable, sus dimensiones (D x W x H) son 392 x 495 x 1194 mm y el peso aproximado de la prensa es 75 kg, se observó que al realizar los 2 primeros ensayos de CBR se trabajó con una calibración de anillo dinamométrico que ya tenía, que no demorando mucho tiempo este fue nuevamente calibrado por el personal del laboratorio, ya teniendo la ecuación calibrada que presentaba un $R^2 = 1$, se hizo los demás ensayos, así mismo nuevamente los 2 primeros ensayos, en la cual se observó que existía un margen de error de los CBR, tomando en cuenta que existe también error por el investigador al realizar la lectura de los ensayos.

Moldes metálicos

Los moldes metálicos, utilizados en laboratorio con las dimensiones y capacidad volumétrica como se indica según norma especificada ASTM, con un diámetro interno de 152.4 mm con un margen de error ± 0.7 mm y una altura de 177.8 mm con una tolerancia ± 0.5 mm, con un collar de extensión metálico de 50.8 mm de altura y una placa base metálica de 9.5mm de espesor con perforaciones de un diámetro menor o igual que 1.6 mm, se utilizó un disco espaciador metálico con un diámetro de 150.8 con una tolerancia ± 0.8 mm y una altura de 61.4 con margen de error ± 0.2 mm.

Pisón metálico

El pisón metálico que cumple con lo especificado en la norma ASTM, se utilizó para compactar la masa de suelo con número de golpes y procedimiento específico y a una altura fija. Su diámetro es de aprox. 50.8 mm con un margen de error ± 0.2 mm, su peso de 44.5 N y una altura de caída del pisón de 457.2 mm con un margen de error de ± 2 mm.

Sobrecargas

Para cada molde se debe disponer de una carga metálica anular y varias cargas ranuradas de 2.27 ± 0.05 Kg. cada una. La carga anular, de diámetro exterior de 149.2 ± 1.6 mm, debe disponer de una perforación u orificio en el centro de aproximadamente 54 mm de diámetro.

Expansómetro

El aparato medidor de expansión (Hinchamiento), está compuesto por una placa metálica de 149.2 ± 1.6 mm de diámetro, por cada molde. La placa debe tener perforaciones de un diámetro menor o igual que 1,6mm, y esta provista por un vástago ajustable de metal en el centro, con un sistema de tornillo y contratuerca que permita regular y fijar su altura, un trípode metálico por cada molde, cuyas patas puedan apoyarse en el borde de este, y que lleve montado en el centro un calibre comparador con indicador de dial, con precisión de lectura 0,01mm. El vástago se desplazó libremente y coincidió con el de la placa, de forma tal que permita controlar la posición de esta y medir el hinchamiento y un dial para medir expansión por cada molde con precisión de lectura 0.01 mm.

Balanza

Una balanza de 60kg de capacidad y precisión de 5gr y otra de 2kg de capacidad y 0.1 de precisión.

Horno de secado

En cuanto al equipo de laboratorio empleado para controlar la temperatura, se dispuso de un horno con capacidad que permita el secado de muestras de 110 con error $\pm 5^{\circ}\text{c}$

Otros materiales

Recipientes para muestras de suelos, probetas graduadas de 500 – 1000ml, espátulas, reglas de acero de 300mm (30cm) de largo, taras o capsulas, brochas, discos de papel filtro, cronómetro, tamices $\frac{3}{4}$, N° 4 de tamaños nominales de las aberturas según la norma, etc.

3.6. Caracterización de los materiales a mejorar

Para conocer la caracterización de los materiales utilizados en este trabajo de investigación, se tomaron las muestras de suelo y se procedió a realizar todos los ensayos necesarios para clasificar, de tal manera determinar sus propiedades de las mismas según la norma AASHTO (ver tabla 4 y 5) Clasificación de suelos según SUCS, todo este procedimiento se realizado en el ambiente del laboratorio de suelos perteneciente a la U.A.J.M.S.

3.6.1. Análisis granulométrico por el método de lavado (ASTM D-422 / AASHTO T-88)

Este ensayo 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. para su posterior clasificación, se utiliza el siguiente material:

- Tamices, balanza, tamaños nominales de las aberturas según el Manual técnico Suelos (Nº 4, Nº 10, Nº 40, Nº 200).
- Tapa, base, horno, rodillo, brochas espátulas y recipientes.

El ensayo de análisis granulométrico por tamizado se realizó mediante el método del lavado en el cual se pesa 500 gr como peso total del material en esto natural para curarlo durante el tiempo necesario de 24 horas para que se mezclen homogéneamente, se procede a realizar el lavado por la malla Nº 200 de acuerdo a la norma AASHTO T-88, después que el suelo está seco se pesa y se procede al tamizado por la malla Nº 40 y Nº 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, después se realiza el pesaje del material retenido en cada malla.

Figura 26: Lavado del suelo por el tamiz N° 200.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 27: Tamizado del suelo después del lavado.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11: Resultados del análisis granulométrico del suelo natural.

Zona de estudio	Barrio Fray Quebracho	Barrio Moto Méndez	Barrio Lourdes	Barrio Nueva Terminal
Tamices	% Que pasa del total	% Que pasa del total	% Que pasa del total	% Que pasa del total
3"	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	100.00	100.00	100.00	100.00
1"	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	100.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	100.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	100.00	100.00	100.00	100.00
Nº 4	100.00	100.00	100.00	100.00
Nº 10	99.75	99.84	99.60	99.98
Nº 40	98.75	99.51	99.17	98.78
Nº 200	97.15	98.93	78.90	96.71

Fuente: Elaboración propia.

3.6.2. Determinación del peso específico y calibración del picnómetro (ASTM D-854 / AASHTO T-100)

Es el cociente entre la masa de un material y la masa de un volumen igual de agua, el valor del peso específico o gravedad específica es necesaria para establecer las relaciones volumétricas gravimétricas de la muestra de arcilla que ensayamos en el laboratorio y para poder trazar la curva de saturación del suelo. Los materiales a utilizar son picnómetro de capacidad igual o mayor que 500 ml, balanza, recipientes para las muestras, embudo, pipeta, termómetro, hornilla eléctrica, trapo, agua destilada, alcohol, solución disolvente de grasas, hielo, etc.

Calibración del picnómetro, se limpia (con jabón, se enjuaga con agua destilada y se deja escurrir colocándolo boca abajo, luego se lava con alcohol, dejando escurrir) se seca y se pesa la masa del picnómetro vacío 178.1 gr.

Se llenó con agua destilada a temperatura ambiente hasta la mitad de la marca de calibración. Se somete al calor a baño maría hasta alcanzar 60 °C. Retirar de la hornilla,

y llenar con ayuda de la pipeta, hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de calibración. Con un termómetro se determine y registre la temperatura de calibración.

Se seca el interior del cuello del picnómetro y también el exterior. Se pesa y registra la masa del picnómetro más el agua. Se somete el picnómetro a un baño frío, tomando la temperatura y peso correspondientes (entre los 30 a 15 °C) en total de 4 para obtener la curva de calibración. Se obtiene la densidad del agua en función a la temperatura (T °C, de la Tabla S0307_1 del Manual técnico Densidad del agua en función de la temperatura). Para la realización del ensayo se tomó una muestra que pase por el tamiz N° 10, con una masa de 76.4 gr. La muestra de ensaye puede estar con su humedad natural o seca en horno. En este caso se realizará a humedad natural para suelos finos. Se mezcla con agua hasta formar una pasta, se coloca en el picnómetro, cuidando de evitar pérdidas. Agregue agua destilada, evitando la formación de burbujas, hasta alcanzar la mitad de la capacidad de la botella.

Se coloca el picnómetro en un baño maría para expulsar el aire contenido en el material, esperar a que el picnómetro alcance los 60 °C y retirar del baño. Agregue agua destilada hasta llenar el picnómetro, limpie y seque el exterior.

Determine y registre la masa y temperatura del picnómetro con la muestra y el agua. Se somete el picnómetro a un baño frío, tomando la temperatura y peso, se tomaron 4 puntos entre los 30 a 15 °C. Se retira el material del picnómetro agregando agua para remover todo el material del frasco y así determinar la masa seca al final del ensayo, evaporando el agua en el horno.

Tabla 12: Resultados de los ensayos peso específico del suelo natural.

Zona de estudio	Peso específico relativo (gr/cm³)
Barrio Fray Quebracho	2.72
Barrio Moto Méndez	2.75
Barrio Lourdes	2.68
Barrio Nueva Terminal	2.70

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3. Análisis granulométrico por medio del hidrómetro (ASTM D-422)

Para determinar la distribución por tamaños de la fracción bajo tamiz 0.075 mm (N° 200), se puede utilizar el procedimiento de sedimentar esa fracción en un líquido conocido, generalmente agua destilada, basándose en la Ley de Stokes. Los materiales utilizados son:

- Tamices N° 10 y N° 200
- Hidrómetro, graduado para leer, de acuerdo con la escala que tenga grabada, el peso específico de la suspensión
- Agente Dispersante, una solución de hexametáfosfato de sodio; se usará en agua destilada o desmineralizada en proporción de 40 gr de hexametáfosfato de sodio por litro de solución
- Probeta de volumen de 1000 ml, termómetro, balanza, plato y espátula

La cantidad requerida para limos y arcillas de 50 a 60 gr seco, mezclar con 125 ml de solución de defloculante dejando reposar por una noche.

Se transfiere la mezcla a la probeta con cuidado de quitar todos los remanentes que queden en el recipiente con ayuda de agua, luego se tapa la boca de la probeta con la mano y se agita por un minuto. Al pasar el minuto se coloca la probeta en una mesa y se empieza a medir el tiempo, se introduce el hidrómetro tomando las lecturas a un minuto y luego a dos, se retira el hidrómetro y se lava, después se toman las medidas a los 5, 14, 30, 60, 120, 250 y 1.440 minutos.

Tabla 13: Resultados de los ensayos de análisis granulométrico por medio del hidrómetro del suelo natural.

Zona de estudio	Hidrómetro	
	% Arcilla	% Limo
Barrio Fray Quebracho	41.06	58.32
Barrio Moto Méndez	49.30	50.70
Barrio Lourdes	34.30	46.14
Barrio Nueva Terminal	34.66	63.99

Fuente: Elaboración propia.

3.6.4. Límites de Atterberg (ASTM D-4318 / AASHTO T-90)

Los límites de plasticidad se realizaron conforme a la norma y este 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.

Determinación del 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 N° 40. Para ello, se coloca sobre el mencionado Casagrande 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 determinará interpolando en una gráfica normalizada las cuatro determinaciones obtenidas experimentalmente.

Figura 28: Determinación del límite líquido del suelo.



Fuente: Elaboración propia.

Determinación del límite plástico: Se determina en base de la menor humedad de un suelo que permite realizar con el cilindro 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 límites 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.

Figura 29: Determinación del límite plástico del suelo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14: Resultados de los límites de Atterberg del suelo natural.

Zona de estudio	Límite líquido (LL) %	Límite plástico (LP) %	Índice de plasticidad (IP) %
Barrio Fray Quebracho	46.20	21.70	24.50
Barrio Moto Méndez	54.90	31.10	23.80
Barrio Lourdes	26.60	20.50	6.10
Barrio Nueva Terminal	37.20	23.50	13.80

Fuente: Elaboración propia.

3.6.5. Contenido de humedad

El ensayo de contenido de humedad natural se realizó acuerdo a la tabla (Tabla S0301_1 del Manual técnico Suelos) se toma una cantidad de muestra representativa para el ensayo aproximadamente unos 150 gr. Se coloca la muestra húmeda en un plato seco de peso conocido, determine el peso del recipiente y la muestra de material usando una balanza apropiada, registrando los valores.

Coloque el recipiente con el material húmedo en el horno, después que el material se haya secado se retira del horno esperando que se enfríen a la temperatura ambiente y luego se toma el peso del recipiente y de la muestra secada en el horno.

Figura 30: Contenido de humedad del suelo natural.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15: Resultados del contenido de humedad natural del suelo.

Zona de estudio	Contenido de humedad w(%)
Barrio Fray Quebracho	4.39
Barrio Moto Méndez	7.84
Barrio Lourdes	2.62
Barrio Nueva Terminal	9.83

Fuente: Elaboración propia.

3.6.6. Clasificación de los suelos finos

En función a la granulometría por lavado, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad se determina la clasificación del suelo en base a las normativas de AASHTO Y SUCS.

Tabla 16: Resultados de la Clasificación de los suelos según AASHTO Y SUCS.

Zona de estudio	Clasificación		Descripción
	AASHTO	SUCS	
Barrio Fray Quebracho	A-7-6 (14)	CL	Arcilla inorgánica de media plasticidad.
Barrio Moto Méndez	A-7-5 (16)	CH	Arcilla inorgánica de alta plasticidad.
Barrio Lourdes	A-4 (8)	CL-ML	Suelos limos arcillosos inorgánicos de baja compresibilidad.
Barrio Nueva Terminal	A-6 (16)	CL	Arcilla inorgánica de baja plasticidad.

Fuente: Elaboración propia.

3.6.7. Ensayo de compactación (AASHTO T-180 / ASTM D-1557)

El ensayo de proctor se realizó por el método de la norma (AASHTO T-88/ ASTM D-1557) 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 les dan a las capas de bases y sub-bases varían entre el 95% y el 100%.

El procedimiento de ensayo consiste en apisonar en cinco capas consecutivas una cantidad aproximadamente de 5 kg de suelo previamente tamizada por el tamiz N° 4 y dividida por cuarteo en cinco partes aproximadamente iguales. La muestra se humecta y se introduce en un molde metálico de dimensiones normalizadas (968.4 cm³).

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 máxima seca”.

Figura 31: Materiales y tamizado del suelo por el tamiz N° 4.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 32: Ensayo de compactación del suelo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: Resultados de los ensayos de compactación del suelo natural.

Zona de estudio	Densidad máxima	Humedad óptima
	(gr/cm ³)	(%)
Barrio Fray Quebracho	1.74	15.81
Barrio Moto Méndez	1.67	14.96
Barrio Lourdes	1.89	11.62
Barrio Nueva Terminal	1.86	14.04

Fuente: Elaboración propia.

3.6.8. Determinación de la relación de soporte del suelo en laboratorio CBR (ASTM D-1883 / AASHTO T-193)

El ensayo de CBR 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, con 12, 25 y 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 CBR 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.

Figura 33: Compactación de moldes CBR a distintos golpes.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 34: Determinación de la resistencia a la penetración.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: Resultados de los ensayos de la relación de soporte CBR del suelo natural.

Zona de estudio	CBR		Expansión
	al 100% D. máx.	al 95% D. máx.	(%)
Barrio Fray Quebracho	3.13	3.09	4.01
Barrio Moto Méndez	2.97	2.85	4.43
Barrio Lourdes	4.36	4.23	2.92
Barrio Nueva Terminal	3.58	3.49	3.58

Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron ensayos de CBR de los suelos finos en estado natural para caracterizar la resistencia del suelo, en la cual observa que es un material expansivo y con un valor bajo de CBR por lo que necesita ser estabilizado.

3.7. Caracterización del suelo aluvial (estabilizante)

Se entiende por suelo aluvial a un suelo sedimentario que se ha formado a partir de material que ha sido transportado por corrientes de agua, lo cual en este trabajo de investigación se tomará como un estabilizante, que será clasificada mediante una granulometría controlada y se añadirá en diferentes porcentajes al suelo a estabilizar, tomando en cuenta los respectivos porcentajes de combinaciones respecto al suelo.

3.7.1. Análisis granulométrico del suelo aluvial (ASTM D-422 / AASHTO T-88)

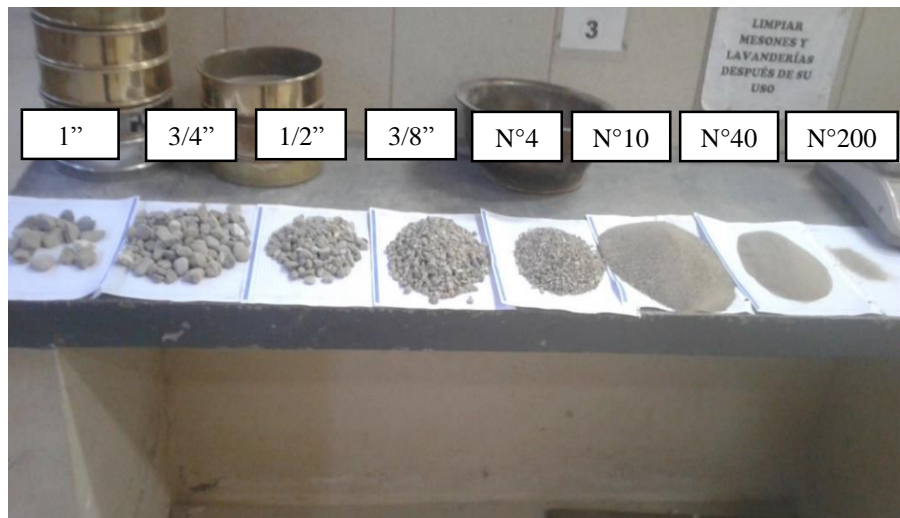
La prueba de granulometría sirve para determinar el porcentaje en peso de las partículas de diferentes tamaños, teniendo una visión de la distribución del tamaño de los granos presentes en el suelo aluvial. El ensayo de análisis granulométrico por tamizado se realizó pesando 5000 gr como peso total, se procede a realizar el tamizado por las mallas de acuerdo a la norma AASHTO T-88. El primer tamiz es el de mayor tamaño en donde inicia el tamizado y el último tamiz está abajo que descansa sobre un recipiente (base), luego se procede al pesaje del material retenido en cada malla.

Figura 35: Tamizado del suelo aluvial.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36: Muestra retenida en cada tamiz.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 19: Resultados del análisis granulométrico del suelo aluvial.

Tamices	Tamaño (mm)	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Promedio
		% que pasa del total	% que pasa del total	% que pasa del total	% que pasa del total
3"	75.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	50.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	37.50	100.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.00	99.02	93.83	95.16	94.01
3/4"	19.00	85.36	86.16	87.50	86.34
1/2"	12.50	62.63	64.14	65.37	64.05
3/8"	9.50	48.74	50.35	54.78	51.26
Nº 4	4.75	32.45	34.16	34.79	33.80
Nº 10	2.00	23.46	24.57	22.80	23.61
Nº 40	0.425	11.41	11.00	8.77	10.39
Nº 200	0.075	4.75	3.84	1.57	3.39

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20: Clasificación del suelo aluvial.

Clasificación de suelos	
SUCS:	GW
AASHTO:	A-1-a

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE

RESULTADOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Descripción de la investigación

Una vez determinado todas las características de los suelos naturales de los barrios, se desarrolla el estudio con la combinación de suelo aluvial, el cual es analizado a partir de la compactación, los ensayos de soporte de california (CBR) a distintos porcentajes de suelo aluvial.

Lo que se busca es mejorar ciertas propiedades de los suelos finos, mejor compactación con menos pasadas mejorando el manejo del suelo para rangos más amplios de humedad óptima de compactación, reducción de expansión reteniendo finos a lo largo plazo lo que produce menos grietas y baches.

Para eso, se mezcló a cada muestra con 4 diferentes porcentajes de suelo aluvial para determinar cómo varía su resistencia entre una y otra prueba.

Para el porcentaje de suelo aluvial, se mezcló entre los rangos de 10% al 35% para hallar el porcentaje recomendable de la mezcla.

4.2. Dosificación de muestras

Se propone una dosificación experimental en donde se utiliza varios contenidos del estabilizante a utilizar para la preparación de las mezclas y someterlas a ensayos de compactación y CBR.

La dosificación propuesta son 4 porcentajes diferentes que serán aplicados a cada una de las muestras. Los porcentajes están referidos siempre al peso del suelo seco y son los siguientes.

Tabla 21: Distribución de dosificaciones para cada muestra de suelo.

Zona de estudio	Combinaciones a distintos porcentajes de suelo aluvial
Barrio Fray Quebracho	Mezcla 1: A-7-6 Suelo fino - 10% aluvial Mezcla 2: A-7-6 Suelo fino - 20% aluvial Mezcla 3: A-7-6 Suelo fino - 30% aluvial Mezcla 4: A-7-6 Suelo fino - 35% aluvial
Barrio Moto Méndez	Mezcla 1: A-7-5 Suelo fino - 10% aluvial Mezcla 2: A-7-5 Suelo fino - 20% aluvial Mezcla 3: A-7-5 Suelo fino - 30% aluvial Mezcla 4: A-7-5 Suelo fino - 35% aluvial
Barrio Lourdes	Mezcla 1: A-4 Suelo fino - 10% aluvial Mezcla 2: A-4 Suelo fino - 20% aluvial Mezcla 3: A-4 Suelo fino - 30% aluvial Mezcla 4: A-4 Suelo fino - 35% aluvial
Barrio Nueva Terminal	Mezcla 1: A-6 Suelo fino - 10% aluvial Mezcla 2: A-6 Suelo fino - 20% aluvial Mezcla 3: A-6 Suelo fino - 30% aluvial Mezcla 4: A-6 Suelo fino - 35% aluvial

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Caracterización de la muestra suelo - aluvial

La caracterización del suelo - aluvial al igual que el suelo natural se hizo ensayos de análisis granulométrico, compactación y CBR.

4.3.1. Análisis granulométrico suelo - aluvial (ASTM D-422 / AASHTO T-88)

Se realizó el análisis granulométrico para cada tipo de suelo, controlando los pesos retenidos en cada tamiz, tanto del suelo aluvial como del suelo natural, teniendo en cuenta los porcentajes de dosificación a 10%, 20%, 30% y 35% de suelo aluvial.

Figura 37: Tamizado de la muestra suelo - aluvial.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Determinación de la compactación suelo - aluvial (AASHTO T-180 / ASTM D-1557)

Para la determinación de la humedad óptima y la densidad máxima en laboratorio se procedió a mezclar de acuerdo a la dosificación empleada de 10% aluvial - 90% suelo fino, 20% aluvial - 80% suelo fino, 30% aluvial - 70% suelo fino, 35% aluvial - 65% suelo fino, para posteriormente compactar en 5 capas, cada capa de 56 golpes, con diferentes porcentajes de humedad para poder obtener la densidad máxima a una humedad óptima.

Figura 38: Combinación y compactación de la muestra suelo- aluvial.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39: Enrasado y pesado de la muestra suelo – aluvial.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.3. Determinación de la relación de soporte CBR del suelo - aluvial (ASTM D-1883 / AASHTO T-193)

Con la dosificación establecida de 10%, 20%, 30% y 35% se prepara el material para cada tipo de suelo, calculando la cantidad de suelo aluvial y suelo natural en cada ensayo.

Con el contenido óptimo de humedad y la densidad seca máxima compactada de acuerdo al ensayo de Proctor, se determinará este ensayo para cada tipo de suelo, que consiste en realizar 3 ensayos de CBR, lo cual se realiza compactando tres moldes de 5 capas cada uno, pero con distintos golpes cada molde de 12, 25 y 56 golpes, cada molde esta compactado con distintos niveles de energía, posteriormente se los pesa, se lectura 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 lecturar 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" superficie extrayendo muestras en taras.

Figura 40: Preparado y mezclado de la muestra suelo - aluvial.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 41: Moldes de CBR suelo - aluvial con diferentes golpes de energías.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 42: Rotura de la probeta en la prensa y lectura de la expansión.



Fuente: Elaboración propia.

4.3.4. Resultados de los ensayos de suelo - aluvial

4.3.4.1. Resultados de la muestra del barrio Fray Quebracho

Análisis granulométrico de la combinación del suelo con aluvial

Tabla 22: Resultados del ensayo de análisis granulométrico del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial.

Análisis granulométrico				
Zona de estudio	Barrio Fray Quebracho			
% de aluvial	10%	20%	30%	35%
3"	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	100.00	100.00	100.00	100.00
1"	99.41	99.03	98.50	98.00
3/4"	98.51	97.23	95.87	95.19
1/2"	96.57	93.23	89.84	88.26
3/8"	95.57	91.17	86.78	84.56
Nº 4	93.97	88.05	82.16	79.12
Nº 10	92.76	85.97	79.09	75.33
Nº 40	91.05	82.43	73.89	69.75
Nº 200	87.57	78.22	68.49	63.74

Fuente: Elaboración propia.

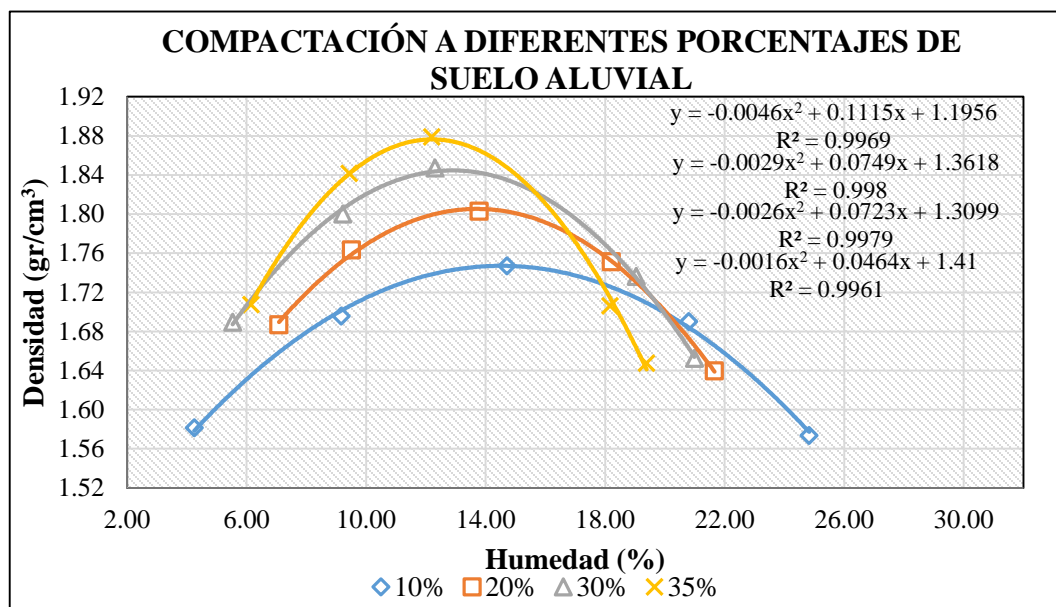
Compactación de la combinación del suelo con aluvial

Tabla 23: Resultados del ensayo de compactación del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial.

Compactación					
Zona de estudio		Barrio Fray Quebracho			
% de aluvial	Número de ensayos	1	2	3	Promedio
10%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.75	1.74	1.75	1.75
	Humedad óptima (%)	14.50	14.98	14.33	14.60
20%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.81	1.81	1.81	1.81
	Humedad óptima (%)	13.90	13.92	13.89	13.90
30%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.84	1.85	1.85	1.85
	Humedad óptima (%)	12.91	12.91	12.88	12.90
35%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.88	1.88	1.87	1.88
	Humedad óptima (%)	12.17	12.09	12.12	12.13

Fuente: Elaboración propia.

Figura 43: Curvas de compactación del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial a 10%, 20%, 30%, 35%.



Fuente: Elaboración propia.

CBR y expansión de la combinación del suelo con aluvial

Tabla 24: Resultados del ensayo de CBR y expansión del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial.

CBR y expansión					
Zona de estudio		Barrio Fray Quebracho			
% de aluvial	Número de ensayos	1	2	3	Promedio
10%	CBR al 100% D. máx.	6.71	6.57	6.94	6.74
	CBR al 95% D. máx.	6.37	6.23	6.59	6.40
	Expansión (%)	3.13	3.09	3.12	3.11
20%	CBR al 100% D. máx.	10.37	9.76	9.80	9.98
	CBR al 95% D. máx.	9.10	8.69	8.72	8.84
	Expansión (%)	2.23	2.22	2.20	2.22
30%	CBR al 100% D. máx.	13.86	13.88	13.96	13.90
	CBR al 95% D. máx.	12.17	12.34	12.45	12.32
	Expansión (%)	1.95	1.91	1.93	1.93
35%	CBR al 100% D. máx.	17.96	17.68	17.84	17.83
	CBR al 95% D. máx.	16.38	16.09	16.20	16.22
	Expansión (%)	1.56	1.51	1.54	1.54

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 23 como se puede observar, se realizó 3 ensayos de compactación con 10% aluvial - 90% suelo natural, 3 ensayos de compactación con 20% aluvial - 80% suelo natural, 3 ensayos de compactación con 30% aluvial - 70% suelo natural y 3 ensayos de compactación con 35% aluvial - 65% suelo natural.

Así mismo en la tabla 24, se realizó 3 ensayos de CBR con 10% aluvial - 90% suelo natural, 3 ensayos de CBR con 20% aluvial - 80% suelo natural, 3 ensayos de CBR con 30% aluvial - 70% suelo natural y 3 ensayos de CBR con 35% aluvial - 65% suelo natural.

4.3.4.2. Resultados de la muestra del barrio Moto Méndez

Análisis granulométrico de la combinación del suelo con aluvial

Tabla 25: Resultados del ensayo de análisis granulométrico del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial.

Análisis granulométrico				
Zona de estudio	Barrio Moto Méndez			
% de aluvial	10%	20%	30%	35%
3"	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	100.00	100.00	100.00	100.00
1"	99.14	98.99	98.45	98.24
3/4"	98.14	97.10	95.59	95.15
1/2"	96.30	93.14	89.80	88.14
3/8"	95.37	91.15	86.72	84.56
Nº 4	94.01	88.13	82.10	79.13
Nº 10	92.37	86.07	79.16	75.71
Nº 40	90.44	83.34	75.17	71.71
Nº 200	88.30	78.69	70.03	65.35

Fuente: Elaboración propia.

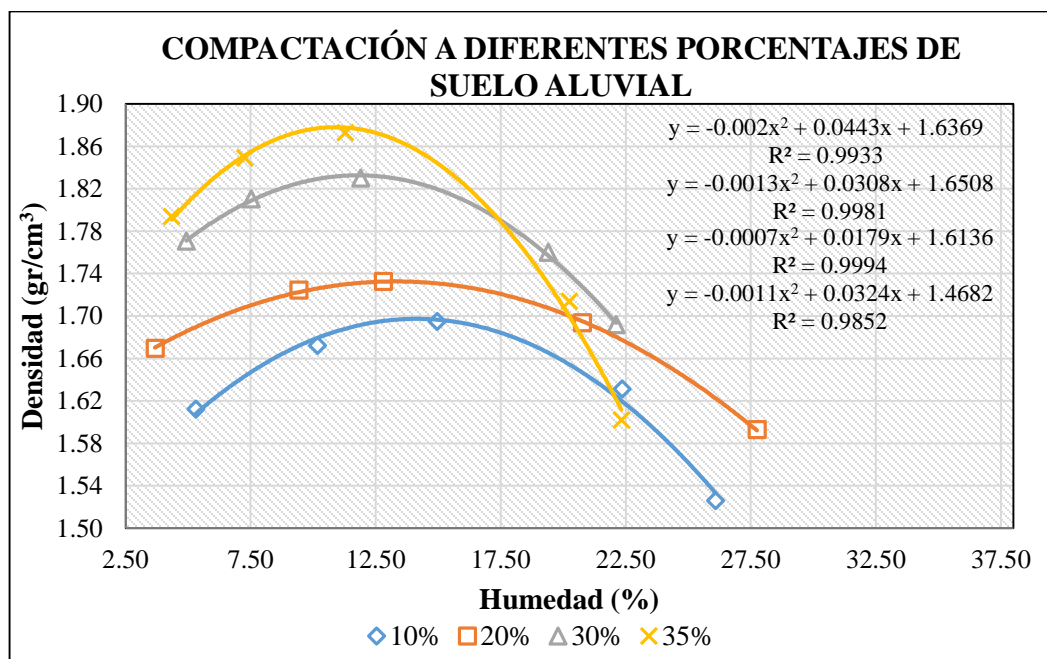
Compactación de la combinación del suelo con aluvial

Tabla 26: Resultados del ensayo de compactación del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial.

Compactación					
Zona de estudio		Barrio Moto Méndez			
% de aluvial	Número de ensayos	1	2	3	Promedio
10%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.71	1.71	1.72	1.71
	Humedad óptima (%)	14.80	14.73	14.50	14.68
20%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.73	1.74	1.73	1.73
	Humedad óptima (%)	12.88	12.33	12.57	12.59
30%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.83	1.83	1.83	1.83
	Humedad óptima (%)	11.85	11.97	11.66	11.83
35%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.87	1.88	1.87	1.87
	Humedad óptima (%)	11.00	11.08	11.33	11.14

Fuente: Elaboración propia.

Figura 44: Curvas de compactación del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial a 10%, 20%, 30%, 35%.



Fuente: Elaboración propia.

CBR y expansión de la combinación del suelo con aluvial

Tabla 27: Resultados del ensayo de CBR y expansión del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial.

CBR y expansión					
Zona de estudio		Barrio Moto Méndez			
% de aluvial	Número de ensayos	1	2	3	Promedio
10%	CBR al 100% D. máx.	5.99	5.73	5.78	5.83
	CBR al 95% D. máx.	5.53	5.35	5.38	5.42
	Expansión (%)	3.05	3.06	3.08	3.06
20%	CBR al 100% D. máx.	8.42	8.60	8.51	8.51
	CBR al 95% D. máx.	6.77	6.97	6.90	6.88
	Expansión (%)	2.61	2.64	2.60	2.62
30%	CBR al 100% D. máx.	12.65	12.98	12.97	12.87
	CBR al 95% D. máx.	11.45	11.76	11.73	11.65
	Expansión (%)	1.69	1.63	1.61	1.64
35%	CBR al 100% D. máx.	15.84	15.79	15.67	15.77
	CBR al 95% D. máx.	14.83	14.74	14.71	14.76
	Expansión (%)	1.34	1.33	1.35	1.34

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 26 como se puede observar, se realizó 3 ensayos de compactación con 10% aluvial - 90% suelo natural, 3 ensayos de compactación con 20% aluvial - 80% suelo natural, 3 ensayos de compactación con 30% aluvial - 70% suelo natural y 3 ensayos de compactación con 35% aluvial - 65% suelo natural.

Así mismo en la tabla 27, se realizó 3 ensayos de CBR con 10% aluvial - 90% suelo natural, 3 ensayos de CBR con 20% aluvial - 80% suelo natural, 3 ensayos de CBR con 30% aluvial - 70% suelo natural y 3 ensayos de CBR con 35% aluvial - 65% suelo natural.

4.3.4.3. Resultados de la muestra del barrio Lourdes

Análisis granulométrico de la combinación del suelo con aluvial

Tabla 28: Resultados del ensayo de análisis granulométrico del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial.

Análisis granulométrico				
Zona de estudio	Barrio Lourdes			
% de aluvial	10%	20%	30%	35%
3"	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	100.00	100.00	100.00	100.00
1"	99.20	99.01	98.59	98.30
3/4"	98.26	97.20	95.74	95.10
1/2"	96.47	93.28	90.32	88.18
3/8"	95.58	91.16	86.75	84.36
Nº 4	94.14	88.07	82.22	79.10
Nº 10	92.52	85.87	78.98	75.55
Nº 40	89.60	81.01	73.63	69.71
Nº 200	74.85	64.10	56.28	52.24

Fuente: Elaboración propia.

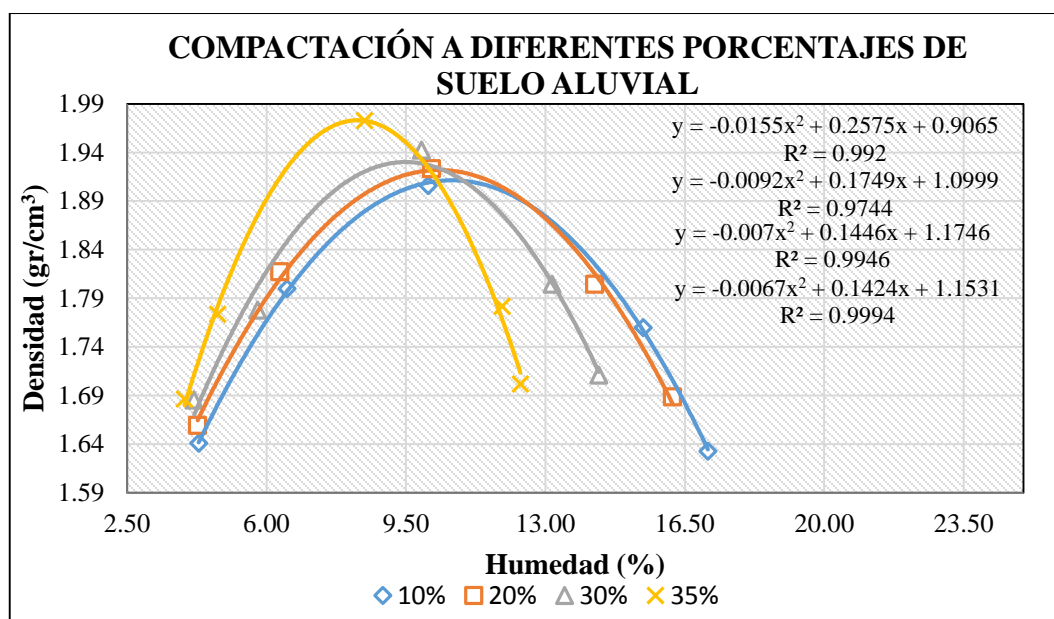
Compactación de la combinación del suelo con aluvial

Tabla 29: Resultados del ensayo de compactación del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial.

Compactación					
Zona de estudio		Barrio Lourdes			
% de aluvial	Número de ensayos	1	2	3	Promedio
10%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.91	1.90	1.90	1.90
	Humedad óptima (%)	10.76	10.69	10.67	10.71
20%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.93	1.92	1.92	1.92
	Humedad óptima (%)	10.36	10.34	10.32	10.34
30%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.94	1.94	1.94	1.94
	Humedad óptima (%)	9.71	9.66	9.69	9.69
35%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.98	1.97	1.97	1.97
	Humedad óptima (%)	8.12	8.05	7.99	8.05

Fuente: Elaboración propia.

Figura 45: Curvas de compactación del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial a 10%, 20%, 30%, 35%.



Fuente: Elaboración propia.

CBR y expansión de la combinación del suelo con aluvial

Tabla 30: Resultados del ensayo de CBR y expansión del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial.

CBR y expansión					
Zona de estudio		Barrio Lourdes			
% de aluvial	Número de ensayos	1	2	3	Promedio
10%	CBR al 100% D. máx.	9.90	9.85	9.75	9.83
	CBR al 95% D. máx.	8.92	8.91	8.88	8.90
	Expansión (%)	2.47	2.42	2.46	2.45
20%	CBR al 100% D. máx.	13.74	13.84	13.90	13.83
	CBR al 95% D. máx.	12.63	12.68	12.69	12.67
	Expansión (%)	1.43	1.44	1.44	1.44
30%	CBR al 100% D. máx.	18.87	18.55	18.59	18.67
	CBR al 95% D. máx.	17.06	16.78	16.72	16.85
	Expansión (%)	1.36	1.35	1.37	1.36
35%	CBR al 100% D. máx.	20.34	20.47	20.38	20.40
	CBR al 95% D. máx.	18.21	18.28	18.06	18.18
	Expansión (%)	0.43	0.42	0.44	0.43

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 29 como se puede observar, se realizó 3 ensayos de compactación con 10% aluvial - 90% suelo natural, 3 ensayos de compactación con 20% aluvial - 80% suelo natural, 3 ensayos de compactación con 30% aluvial - 70% suelo natural y 3 ensayos de compactación con 35% aluvial - 65% suelo natural.

Así mismo en la tabla 30 se realizó 3 ensayos de CBR con 10% aluvial - 90% suelo natural, 3 ensayos de CBR con 20% aluvial - 80% suelo natural, 3 ensayos de CBR con 30% aluvial - 70% suelo natural y 3 ensayos de CBR con 35% aluvial - 65% suelo natural.

4.3.4.4. Resultados de la muestra del barrio Nueva Terminal

Análisis granulométrico de la combinación del suelo con aluvial

Tabla 31: Resultados del ensayo de análisis granulométrico del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial.

Análisis granulométrico				
Zona de estudio	Barrio Nueva Terminal			
% de aluvial	10%	20%	30%	35%
3"	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	100.00	100.00	100.00	100.00
1"	99.33	99.04	98.57	98.21
3/4"	98.60	97.18	95.62	95.15
1/2"	96.78	93.26	89.93	88.20
3/8"	95.88	91.22	86.74	84.75
Nº 4	94.23	88.13	82.11	79.35
Nº 10	93.04	86.13	79.26	75.90
Nº 40	90.34	81.96	73.84	69.16
Nº 200	87.23	77.61	68.59	63.72

Fuente: Elaboración propia.

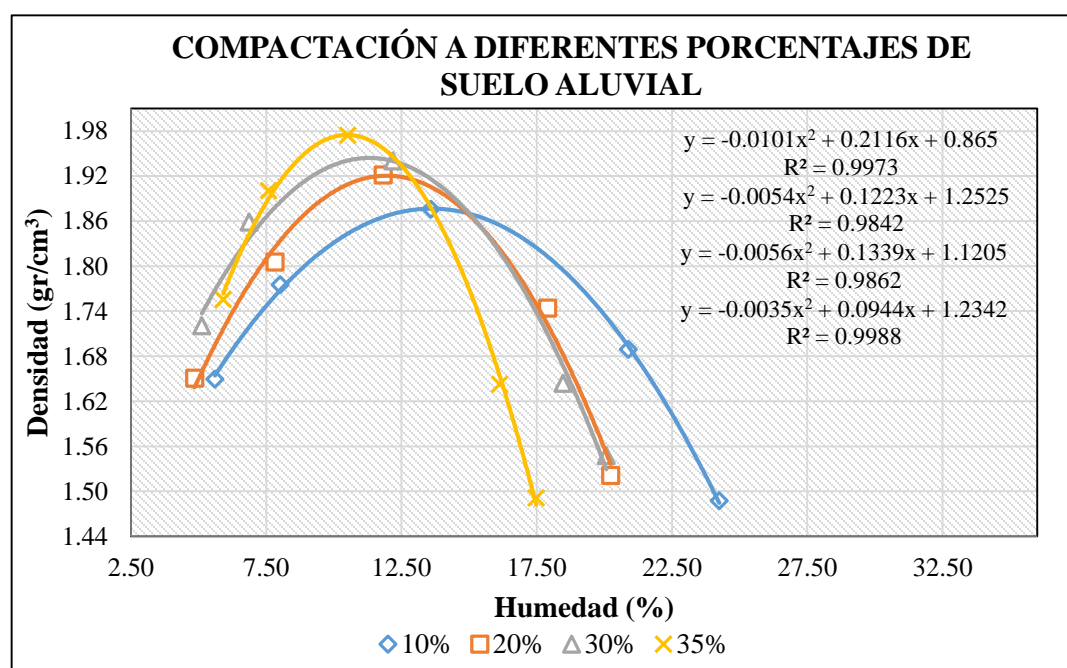
Compactación de la combinación del suelo con aluvial

Tabla 32: Resultados del ensayo de compactación del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial.

Compactación					
Zona de estudio		Barrio Nueva Terminal			
% de aluvial	Número de ensayos	1	2	3	Promedio
10%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.88	1.88	1.87	1.88
	Humedad óptima (%)	13.65	13,69	13.63	13.66
20%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.92	1.92	1.91	1.92
	Humedad óptima (%)	11.95	11.98	11.94	11.96
30%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.95	1.96	1.95	1.95
	Humedad óptima (%)	11.16	11.29	11.20	11.22
35%	Densidad máxima (gr/cm ³)	1.98	1.97	1.98	1.98
	Humedad óptima (%)	10.36	10.51	10.50	10.46

Fuente: Elaboración propia.

Figura 46: Curvas de compactación del suelo combinados con distintos porcentajes de suelo aluvial a 10%, 20%, 30%, 35%.



Fuente: Elaboración propia.

CBR y expansión de la combinación del suelo con aluvial

Tabla 33: Resultados del ensayo de CBR y expansión del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial.

CBR y Expansión					
Zona de estudio		Barrio Nueva Terminal			
% de aluvial	N° Ensayos	1	2	3	Promedio
10%	CBR al 100% D. máx.	7.47	7.36	7.31	7.38
	CBR al 95% D. máx.	6.79	6.68	6.66	6.71
	Expansión (%)	2.29	2.27	2.25	2.27
20%	CBR al 100% D. máx.	12.54	12.88	12.98	12.80
	CBR al 95% D. máx.	11.34	11.50	11.59	11.48
	Expansión (%)	1.47	1.46	1.48	1.47
30%	CBR al 100% D. máx.	15.99	15.93	15.87	15.93
	CBR al 95% D. máx.	14.89	14.79	14.75	14.81
	Expansión (%)	1.37	1.38	1.39	1.38
35%	CBR al 100% D. máx.	19.36	19.50	19.75	19.54
	CBR al 95% D. máx.	18.10	18.21	18.47	18.26
	Expansión (%)	1.28	1.29	1.30	1.29

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 32 como se puede observar, se realizó 3 ensayos de compactación con 10% aluvial - 90% suelo natural, 3 ensayos de compactación con 20% aluvial - 80% suelo natural, 3 ensayos de compactación con 30% aluvial - 70% suelo natural y 3 ensayos de compactación con 35% aluvial - 65% suelo natural.

Así mismo en la tabla 33 se realizó 3 ensayos de CBR con 10% aluvial - 90% suelo natural, 3 ensayos de CBR con 20% aluvial - 80% suelo natural, 3 ensayos de CBR con 30% aluvial - 70% suelo natural y 3 ensayos de CBR con 35% aluvial - 65% suelo natural.

4.3.5. Resumen de resultados de los ensayos de suelo - aluvial

Barrio Fray Quebracho

En la siguiente tabla se presenta un resumen del análisis granulométrico del suelo fino combinado con suelo aluvial.

Tabla 34: Resumen del análisis granulométrico del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial (barrio Fray Quebracho).

% de aluvial	Granulometría de los suelos										
	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
0%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.75	98.75	97.15
10%	100.00	100.00	100.00	99.41	98.51	96.57	95.57	93.97	92.76	91.05	87.57
20%	100.00	100.00	100.00	99.03	97.23	93.23	91.17	88.05	85.97	82.43	78.22
30%	100.00	100.00	100.00	98.50	95.87	89.84	86.78	82.16	79.09	73.89	68.49
35%	100.00	100.00	100.00	98.00	95.19	88.26	84.56	79.12	75.33	69.75	63.74

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 34, se observa los valores de la granulometría para el suelo en estado natural y combinados a distintos porcentajes de suelo aluvial, controlando los pesos retenidos en cada tamiz, teniendo en cuenta sus respectivos porcentajes de 10% aluvial - 90% suelo natural, 20% aluvial - 80% suelo natural, 30% aluvial - 70% suelo natural y 35% aluvial - 65% suelo natural.

En el ensayo de granulometría surgieron cambios del porcentaje que pasa en cada tamiz, esto debido a la combinación del suelo natural con suelo aluvial en distintos porcentajes.

Tabla 35: Resumen de las características mecánicas del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial (barrio Fray Quebracho).

% de aluvial	Compactación		CBR Promedio		Expansión (%)
	Densidad máxima (gr/cm ³)	Humedad óptima (%)	al 100% D. máx.	al 95% D. máx.	
0%	1.74	15.81	3.13	3.09	4.01
10%	1.75	14.60	6.74	6.40	3.11
20%	1.81	13.90	9.98	8.84	2.22
30%	1.85	12.90	13.90	12.32	1.93
35%	1.88	12.13	17.83	16.22	1.54

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 35, se puede ver que en los ensayos de compactación y CBR, se tomó en cuenta el valor promedio de los 3 ensayos realizados en cada porcentaje combinado con suelo aluvial.

Barrio Moto Méndez

En la siguiente tabla se presenta un resumen del análisis granulométrico del suelo fino combinado con suelo aluvial.

Tabla 36: Resumen del análisis granulométrico del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial (barrio Moto Méndez).

% de aluvial	Granulometría de los suelos										
	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
0%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.84	99.51	98.93
10%	100.00	100.00	100.00	99.14	98.14	96.30	95.37	94.01	92.37	90.44	88.30
20%	100.00	100.00	100.00	98.99	97.10	93.14	91.15	88.13	86.07	83.34	78.69
30%	100.00	100.00	100.00	98.45	95.59	89.80	86.72	82.10	79.16	75.17	70.03
35%	100.00	100.00	100.00	98.24	95.15	88.14	84.56	79.13	75.71	71.71	65.35

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 36, se observa los valores de la granulometría para el suelo en estado natural y combinados a distintos porcentajes de suelo aluvial, controlando los pesos retenidos en cada tamiz, teniendo en cuenta sus respectivos porcentajes de 10% aluvial - 90% suelo fino, 20% aluvial - 80% suelo fino, 30% aluvial - 70% suelo fino y 35% aluvial - 65% suelo fino.

En el ensayo de granulometría surgieron cambios del porcentaje que pasa en cada tamiz, esto debido a la combinación del suelo natural con suelo aluvial en distintos porcentajes.

Tabla 37: Resumen de las características mecánicas del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial (barrio Moto Méndez).

% de aluvial	Compactación		CBR Promedio		Expansión (%)
	Densidad máxima (gr/cm ³)	Humedad óptima (%)	al 100% D. máx.	al 95% D. máx.	
0%	1.67	14.96	2.97	2.85	4.43
10%	1.71	14.68	5.83	5.42	3.06
20%	1.73	12.59	8.51	6.88	2.62
30%	1.83	11.83	12.87	11.65	1.64
35%	1.87	11.14	15.77	14.76	1.34

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 37, se puede ver que en los ensayos de compactación y CBR, se tomó en cuenta el valor promedio de los 3 ensayos realizados en cada porcentaje combinado con suelo aluvial.

Barrio Lourdes

En la siguiente tabla se presenta un resumen del análisis granulométrico del suelo fino combinado con suelo aluvial.

Tabla 38: Resumen del análisis granulométrico del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial (barrio Lourdes).

% de aluvial	Granulometría de los suelos										
	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
0%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.60	99.17	78.90
10%	100.00	100.00	100.00	99.20	98.26	96.47	95.58	94.14	92.52	89.60	74.85
20%	100.00	100.00	100.00	99.01	97.20	93.28	91.16	88.07	85.87	81.01	64.10
30%	100.00	100.00	100.00	98.59	95.74	90.32	86.75	82.22	78.98	73.63	56.28
35%	100.00	100.00	100.00	98.30	95.10	88.18	84.36	79.10	75.55	69.71	52.24

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 38, se observa los valores de la granulometría para el suelo en estado natural y combinados a distintos porcentajes de suelo aluvial, controlando los pesos retenidos en cada tamiz, teniendo en cuenta sus respectivos porcentajes de 10% aluvial - 90% suelo fino, 20% aluvial - 80% suelo fino, 30% aluvial - 70% suelo fino y 35% aluvial - 65% suelo fino. En el ensayo de granulometría surgieron cambios del porcentaje que pasa en cada tamiz, esto debido a la combinación del suelo natural con suelo aluvial en distintos porcentajes.

Tabla 39: Resumen de las características mecánicas del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial (barrio Lourdes).

% de aluvial	Compactación		CBR Promedio		Expansión (%)
	Densidad máxima (gr/cm ³)	Humedad óptima (%)	al 100% D. máx.	al 95% D. máx.	
0%	1.89	11.62	4.36	4.23	2.92
10%	1.90	10.71	9.83	8.90	2.45
20%	1.92	10.34	13.83	12.67	1.44
30%	1.94	9.69	18.67	16.85	1.36
35%	1.97	8.05	20.40	18.18	0.43

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 39, se puede ver que en los ensayos de Compactación y CBR, se tomó en cuenta el valor promedio de los 3 ensayos realizados en cada porcentaje combinado con suelo aluvial.

Barrio Nueva Terminal

En la siguiente tabla se presenta un resumen del análisis granulométrico del suelo fino combinado con suelo aluvial.

Tabla 40: Resumen del análisis granulométrico del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial (barrio Nueva Terminal).

% de aluvial	Granulometría de los suelos										
	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200
0%	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.98	98.78	96.71
10%	100.00	100.00	100.00	99.33	98.26	96.78	95.88	94.23	93.04	90.34	87.23
20%	100.00	100.00	100.00	99.04	97.18	93.26	91.22	88.13	86.13	81.96	77.61
30%	100.00	100.00	100.00	98.57	95.62	89.93	86.74	82.11	79.26	73.84	68.59
35%	100.00	100.00	100.00	98.21	95.15	88.20	84.75	79.35	75.90	69.16	63.72

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 40, se observa los valores de la granulometría para el suelo en estado natural y combinados a distintos porcentajes de suelo aluvial, controlando los pesos retenidos en cada tamiz, teniendo en cuenta sus respectivos porcentajes de 10% aluvial - 90% suelo

fino, 20% aluvial - 80% suelo fino, 30% aluvial - 70% suelo fino y 35% aluvial - 65% suelo fino.

En el ensayo de granulometría surgieron cambios del porcentaje que pasa en cada tamiz, esto debido a la combinación del suelo natural con suelo aluvial en distintos porcentajes.

Tabla 41: Resumen de las características mecánicas del suelo combinado con distintos porcentajes de suelo aluvial (barrio Nueva Terminal).

% de aluvial	Compactación		CBR Promedio		Expansión (%)
	Densidad máxima (gr/cm ³)	Humedad óptima (%)	al 100% D. máx.	al 95% D. máx.	
0%	1.86	14.04	3.58	3.49	3.55
10%	1.88	13.66	7.38	6.71	2.27
20%	1.92	11.96	12.80	11.48	1.47
30%	1.95	11.22	15.93	14.81	1.38
35%	1.98	10.46	19.54	18.26	1.29

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 41, se puede ver que en los ensayos de Compactación y CBR, se tomó en cuenta el valor promedio de los 3 ensayos realizados en cada porcentaje combinado con suelo aluvial.

4.3.6. Análisis de resultados

Las muestras de los suelos que fueron extraídas de los barrios Fray Quebracho, Moto Méndez, Lourdes y Nueva Terminal fueron clasificadas por el método AASHTO y SUCS.

El suelo extraído del barrio Fray Quebracho, en el ensayo de granulometría atraviesa por todos los tamices, pasando 97.15% por el tamiz N° 200, se trata por lo tanto de un material fino, para su clasificación entre limo o arcilla se requiere de los límites de consistencia.

Del límite líquido resultó un valor de 46.20%, el límite plástico es de 21.70% y el índice de plasticidad es 24.50% por lo tanto, el suelo corresponde al grupo A-7-6 (14), es decir suelo fino (arcillas), de la compactación del suelo se tiene una densidad máxima de 1.74 gr/cm³ y humedad óptima de 15.81%, al realizar el ensayo de CBR el resultado fue un valor muy bajo de 3.09 al 95% de su densidad máxima.

El suelo que procede del barrio Moto Méndez, en el ensayo de granulometría atraviesa por todos los tamices, pasando 98.93% por el tamiz N° 200, de igual manera que en el anterior suelo se trata de un material fino, para su clasificación entre limo o arcilla se requiere de los límites de consistencia.

Para el límite líquido resultó un valor de 54.90%, indicando un grado de expansión media y dentro de los rangos establecidos para los suelos arcillosos pues se sabe que 40 a 60% corresponde a suelos arcillosos, el límite plástico es de 31.10%, y el índice de plasticidad es de 23.8% por lo tanto, el suelo corresponde al grupo A-7-5 (16), es decir un suelo fino con un índice de plasticidad elevado que lo ubica en el rango de las arcillas, de la compactación del suelo se tiene una densidad máxima de 1.67 gr/cm³ y humedad óptima de 14.96%, en el ensayo de CBR el resultado fue un valor muy bajo de 2.85 al 95% de su densidad máxima.

Para el barrio Lourdes, en el ensayo de granulometría el porcentaje que pasa del total es 78.90% por el tamiz N° 200, para su clasificación entre limo o arcilla se requiere de los límites de consistencia.

El límite líquido tuvo un valor de 26.60%, el límite plástico es de 20.50%, y el índice de plasticidad es 6.10% por lo tanto, el suelo corresponde al grupo A-4 (8), es decir un suelo fino (limo), de la compactación del suelo se tiene una densidad máxima de 1.89 gr/cm³ y humedad óptima de 11.62%, en el ensayo de CBR el resultado fue un valor de 4.23 al 95% de su densidad máxima.

Por último, para el barrio Nueva Terminal, en el ensayo de granulometría el porcentaje que pasa del total es 96.71% por el tamiz N° 200, para su clasificación entre limo o arcilla se requiere de los límites de consistencia.

El límite líquido tuvo un valor de 37.20%, el límite plástico es 23.50% y el índice de plasticidad es de 13.80% por lo tanto, el suelo corresponde al grupo A-6 (16), es decir un suelo fino (arcillas), de la compactación del suelo se tiene una densidad máxima de 1.86 gr/cm³ y humedad óptima de 14.04%, en el ensayo de CBR el resultado fue un valor de 3.49 al 95% de su densidad máxima.

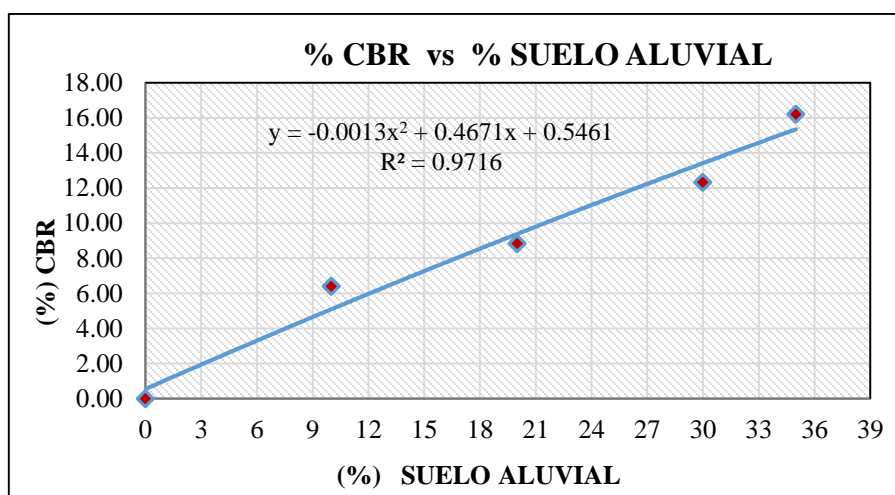
4.3.6.1. Análisis de resultados de los ensayos de suelo - aluvial

Se analizará el mejoramiento de los suelos finos combinados con suelo aluvial a distintos porcentajes de 10%, 20%, 30% y 35%.

4.3.6.1.1. Análisis de resultados de los ensayos de suelo A-7-6 (14) - aluvial (barrio Fray Quebracho)

Se priorizará el ensayo de CBR debido a que tiene una gran importancia ya que los valores determinaran el porcentaje de aluvial.

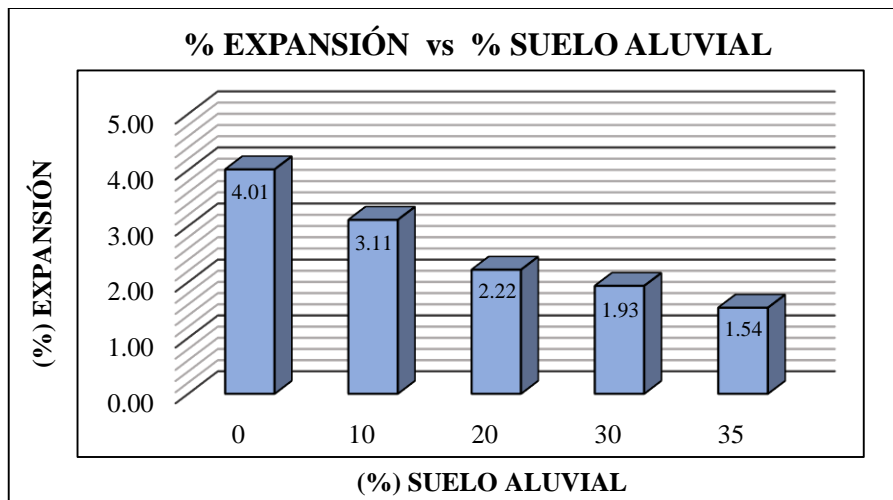
Figura 47: Influencia del suelo aluvial en el CBR del suelo A-7-6 (14).



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 47, se puede observar como aumenta la resistencia del suelo, de la combinación del suelo A-7-6 (14) con aluvial a distintos porcentajes respecto al valor de CBR natural de 3.09%, al agregar el 10% de suelo aluvial incrementa a 6.40%, al 20% incrementa un CBR de 8.84%, al 30% es de 12.32% y al 35% de suelo aluvial agregado es de 16.22%.

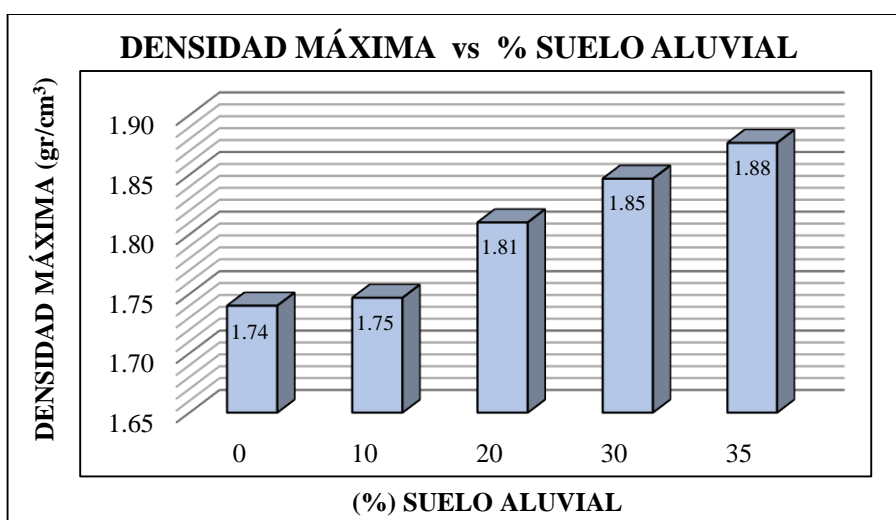
Figura 48: Influencia del suelo aluvial en la expansión del suelo A-7-6 (14).



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la figura 48, la influencia de la combinación del suelo A-7-6 (14) con aluvial a distintos porcentajes en la expansión, la cual tiende a disminuir significativamente respecto del suelo natural que tiene un valor de 4.01% y al combinarlo con suelo aluvial al 10% disminuye a 3.11%, a un 20% la expansión es de 2.22%, a un 30% es de 1.93% y finalmente agregando un porcentaje de 35% disminuye 1.54%.

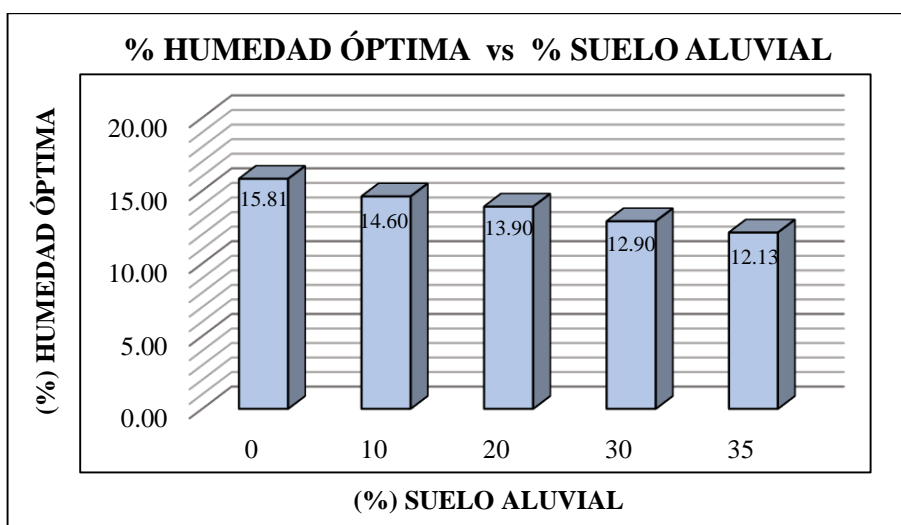
Figura 49: Influencia del suelo aluvial en la densidad máxima del suelo A-7-6 (14).



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que en la figura 49, la densidad máxima de compactación sufre alteraciones al ser combinados con distintos porcentajes de suelo aluvial, para el suelo natural se tiene un valor de 1.74 gr/cm^3 , al 10% de suelo aluvial este va aumentando a 1.75 gr/cm^3 , al 20% la densidad es 1.81 gr/cm^3 , al 30% es de 1.85 gr/cm^3 y finalmente agregando un porcentaje de 35% la densidad es 1.88 gr/cm^3 , este aumento del peso seco del suelo con aluvial es favorable ya que esto da una mejor compactación.

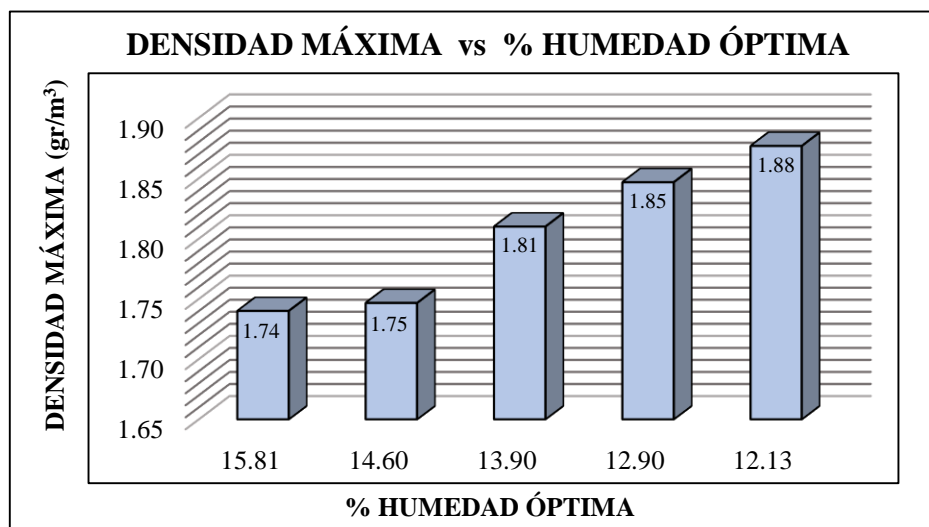
Figura 50: Influencia del suelo aluvial en la humedad óptima del suelo A-7-6 (14).



Fuente: Elaboración propia.

En la humedad óptima como se observa en la figura 50, al ser combinado con suelo aluvial tiene una tendencia a reducir en cada combinación de 10%, 20%, 30% y 35%, teniendo un valor de 15.81% en estado natural del suelo y un 12.13% al 35% de suelo aluvial agregado.

**Figura 51: Relación de la densidad máxima vs humedad óptima del suelo A-7-6
(14) - suelo aluvial a distintos porcentajes.**

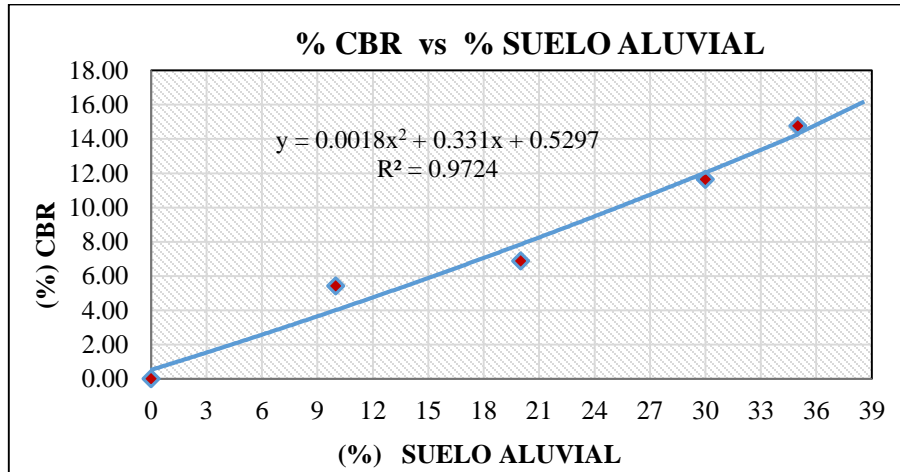


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 51, la densidad máxima aumenta y la humedad óptima disminuye según el porcentaje de suelo aluvial agregado al suelo natural en cada combinación, para el suelo natural se tiene una densidad máxima de 1.74 gr/cm³ y una humedad óptima 15.81%, cuando se agrega un 10% de suelo aluvial se tiene un valor de 1.75 gr/cm³ y una humedad óptima de 14.60% , al 20% aumenta un 1.81 gr/cm³ y la humedad óptima disminuye a 13.90%, al 30% se tiene 1.85 gr/cm³ y humedad óptima de 12.90% y finalmente al agregar un porcentaje de 35% aumenta un 1.88 gr/cm³ y disminuye la humedad óptima a 12.13%.

4.3.6.1.2. Análisis de resultados de los ensayos de suelo A-7-5 (16) - aluvial (barrio Moto Méndez)

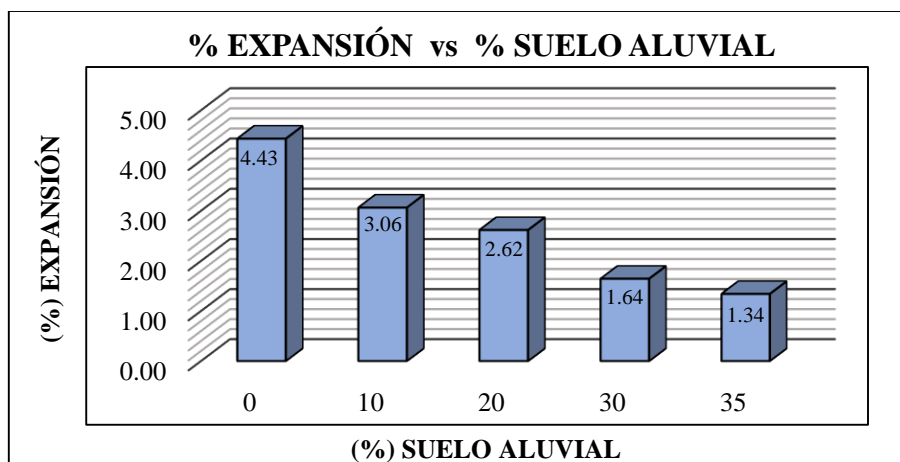
Figura 52: Influencia del suelo aluvial en el CBR del suelo A-7-5 (16).



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 52, se puede observar como aumenta la resistencia del suelo, de la combinación del suelo A-7-5 (16) con aluvial a distintos porcentajes respecto al valor de CBR natural de 2.85%, al agregar el 10% de suelo aluvial incrementa a 5.42%, al 20% incrementa un CBR de 6.88%, al 30% es de 11.65% y al 35% de suelo aluvial agregado es de 14.76%.

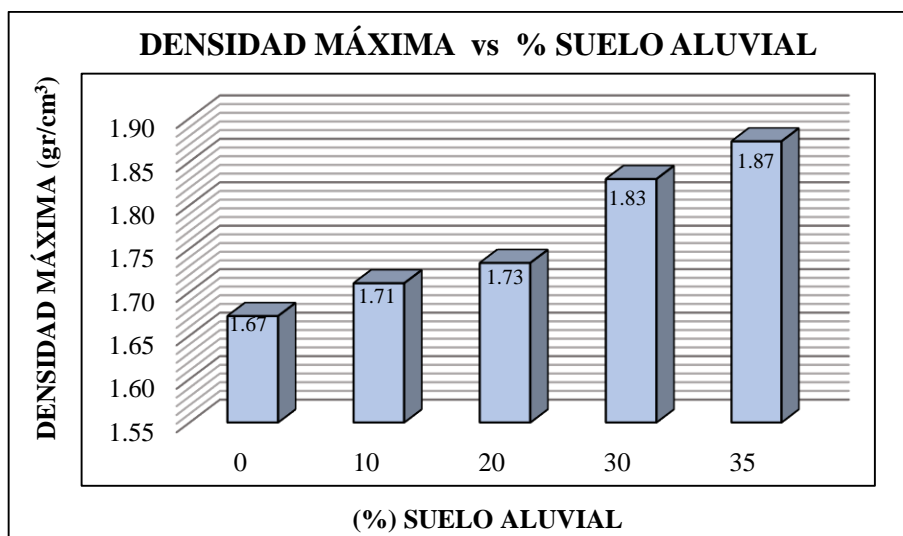
Figura 53: Influencia del suelo aluvial en la expansión del suelo A-7-5 (16).



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la figura 53, la influencia de la combinación del suelo A-7-5 (16) con aluvial a distintos porcentajes en la expansión, la cual tiende a disminuir significativamente respecto del suelo natural que tiene un valor de 4.43% y al combinarlo con suelo aluvial al 10% disminuye a 3.06%, a un 20% la expansión es de 2.62%, a un 30% es de 1.64% y finalmente agregando un porcentaje de 35% disminuye 1.34%.

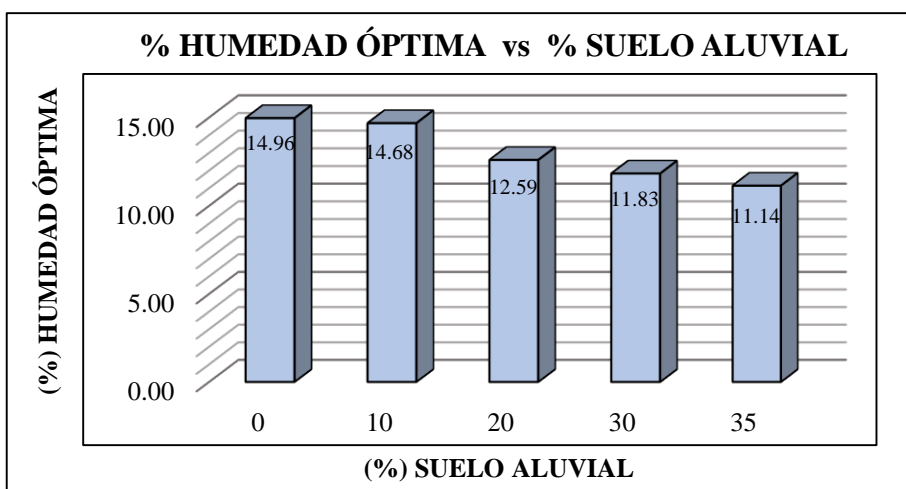
Figura 54: Influencia del suelo aluvial en la densidad máxima del suelo A-7-5 (16).



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que en la figura 54, la densidad máxima de compactación sufre alteraciones al ser combinados con distintos porcentajes de suelo aluvial, para el suelo natural se tiene un valor de 1,67 gr/cm³, al 10% de suelo aluvial este va aumentando a 1.71 gr/cm³, al 20% la densidad máxima es 1.73 gr/cm³, al 30% es de 1.83 gr/cm³ y finalmente agregando un porcentaje de 35% incrementa 1.87 gr/cm³, este aumento del peso seco del suelo natural con aluvial es favorable ya que esto da una mejor compactación.

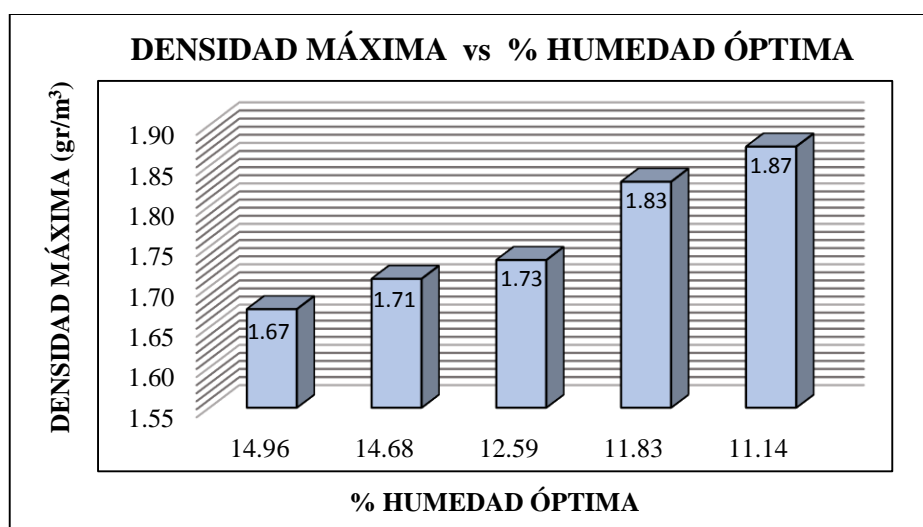
Figura 55: Influencia del suelo aluvial en la humedad óptima del suelo A-7-5 (16).



Fuente: Elaboración propia.

En la humedad óptima como se observa en la figura 55, al ser combinado con suelo aluvial tiene una tendencia a reducir en cada combinación de 10%, 20%, 30% y 35%, teniendo un valor de 14.96% en estado natural del suelo y un 11.14% al 35% de suelo aluvial agregado.

Figura 56: Relación de la densidad máxima vs humedad óptima del suelo A-7-5 (16) - suelo aluvial a distintos porcentajes.

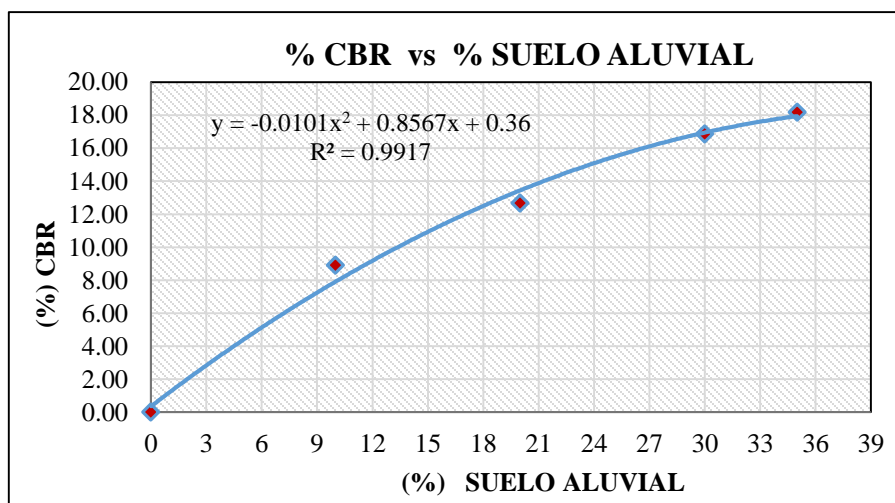


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 56, la densidad máxima aumenta y la humedad óptima disminuye según el porcentaje de suelo aluvial agregado al suelo natural en cada combinación, para el suelo natural se tiene una densidad máxima de 1.67 gr/cm³ y una humedad óptima 14.96%, cuando se agrega un 10% de suelo aluvial se tiene un valor de 1.71 gr/cm³ y una humedad óptima de 14.68% , al 20% aumenta un 1.73 gr/cm³ y la humedad óptima disminuye a 12.69%, al 30% se tiene 1.83 gr/cm³ y humedad óptima de 11.83% y finalmente al agregar un porcentaje de 35% aumenta un 1.87 gr/cm³ y disminuye la humedad óptima a 11.14%.

4.3.6.1.3. Análisis de resultados de los ensayos de suelo A-4 (8) - aluvial (barrio Lourdes)

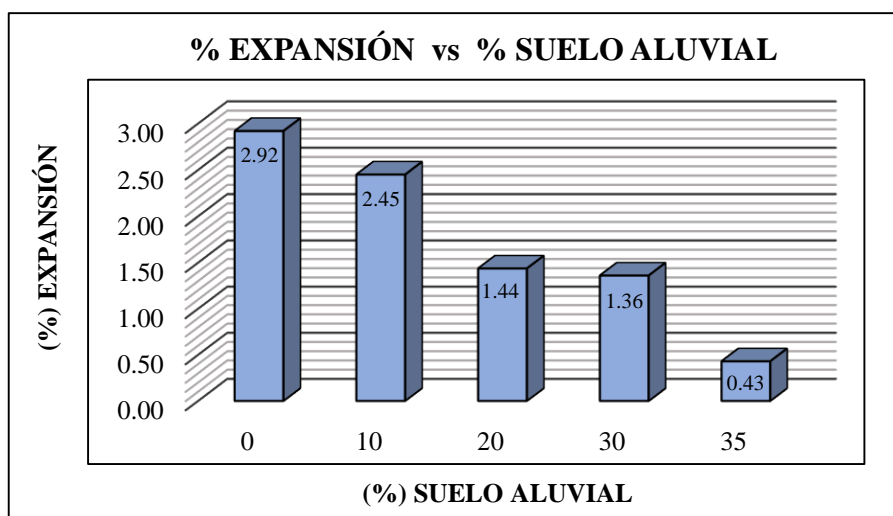
Figura 57: Influencia del suelo aluvial en el CBR del suelo A-4 (8).



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 57, se puede observar como aumenta la resistencia del suelo, de la combinación del suelo A-4 (8) con aluvial a distintos porcentajes respecto al valor de CBR natural de 4.23%, al agregar el 10% de suelo aluvial incrementa a 8.90%, al 20% incrementa un CBR de 12.67%, al 30% es de 16.85% y al 35% de suelo aluvial agregado es de 18.18%.

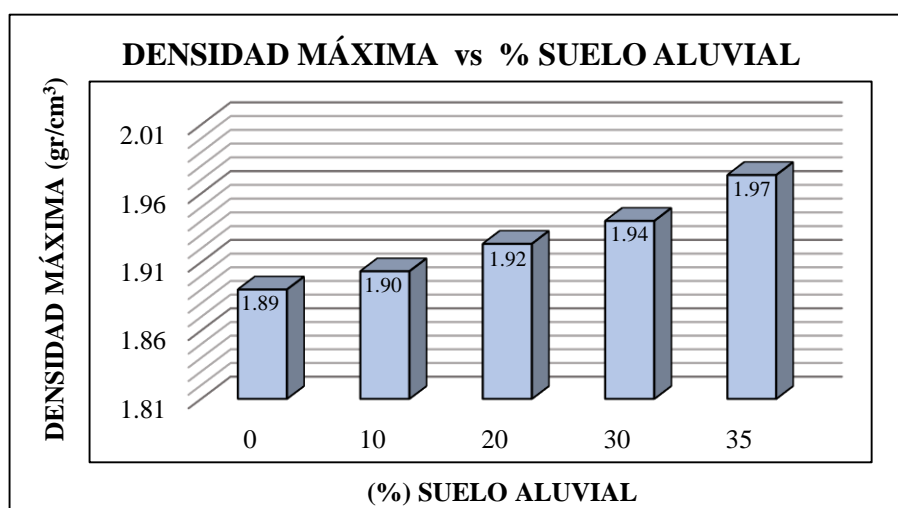
Figura 58: Influencia del suelo aluvial en la expansión del suelo A-4 (8).



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la figura 58, la influencia de la combinación del suelo A-4 (8) con aluvial a distintos porcentajes en la expansión, la cual tiende a disminuir significativamente respecto del suelo natural que tiene un valor de 2.92% y al combinarlo con suelo aluvial al 10% disminuye a 2.45%, a un 20% la expansión es de 1.44%, a un 30% es de 1.36% y finalmente agregando un porcentaje de 35% disminuye 0.43%.

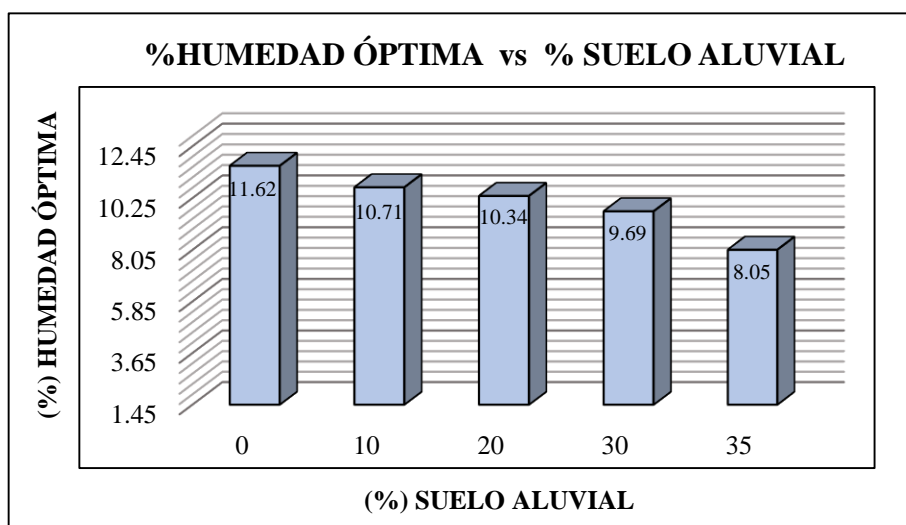
Figura 59: Influencia del suelo aluvial en la densidad máxima del suelo A-4 (8).



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que en la figura 59, la densidad máxima de compactación sufre alteraciones al ser combinados con distintos porcentajes de suelo aluvial, para el suelo natural se tiene un valor de $1,89 \text{ gr/cm}^3$, al 10% de suelo aluvial este va aumentando a $1,90 \text{ gr/cm}^3$, al 20% la densidad es $1,92 \text{ gr/cm}^3$, al 30% es de $1,94 \text{ gr/cm}^3$ y finalmente agregando un porcentaje de 35% la densidad es $1,97 \text{ gr/cm}^3$, este aumento del peso seco del suelo natural con aluvial es favorable ya que esto da una mejor compactación.

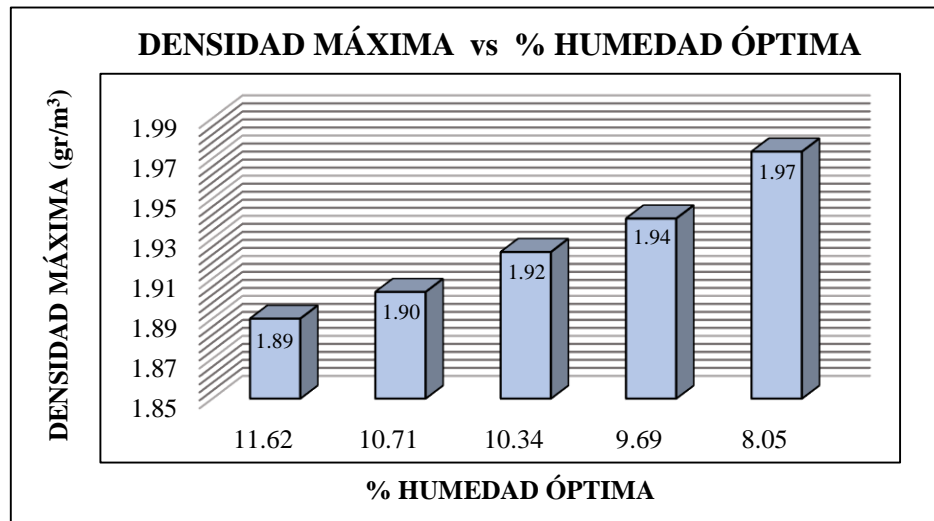
Figura 60: Influencia del suelo aluvial en la humedad óptima del suelo A-4 (8).



Fuente: Elaboración propia.

En la humedad óptima como se observa en la figura 60, al ser combinado con suelo aluvial tiene una tendencia a reducir en cada combinación de 10%, 20%, 30% y 35%, teniendo un valor de 11.62% en estado natural del suelo y un 8.05% al 35% de suelo aluvial agregado.

Figura 61: Relación de la densidad máxima vs humedad óptima del suelo A-4 (8) - suelo aluvial a distintos porcentajes.

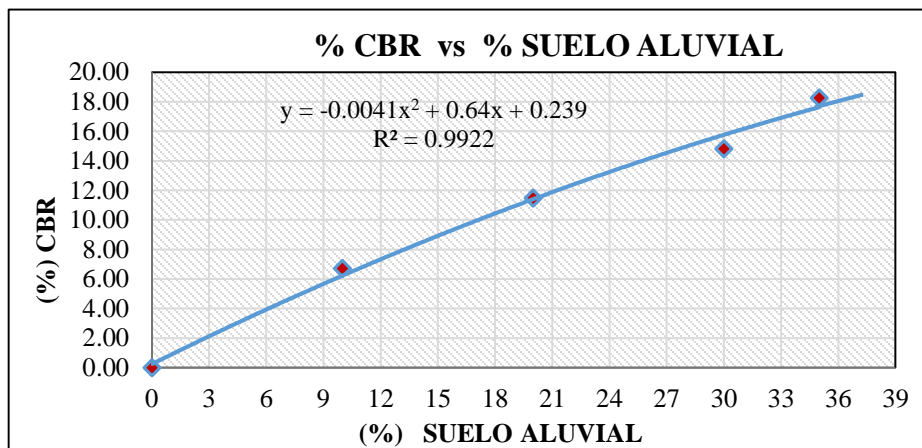


Fuente: Elaboración propia.

En la figura 61, la densidad máxima aumenta y la humedad óptima disminuye según el porcentaje de suelo aluvial agregado al suelo natural en cada combinación, para el suelo natural se tiene una densidad máxima de 1.89 gr/cm³ y una humedad óptima 11.62%, cuando se agrega un 10% de suelo aluvial se tiene un valor de 1.90 gr/cm³ y una humedad óptima de 10.71% , al 20% aumenta un 1.92 gr/cm³ y la humedad óptima disminuye a 10.34%, al 30% se tiene 1.94 gr/cm³ y humedad óptima de 9.69% y finalmente al agregar un porcentaje de 35% aumenta un 1.97 gr/cm³ y disminuye la humedad óptima a 8.05%.

4.3.6.1.4. Análisis de resultados de los ensayos de suelo A-6 (16) - aluvial (barrio Nueva Terminal)

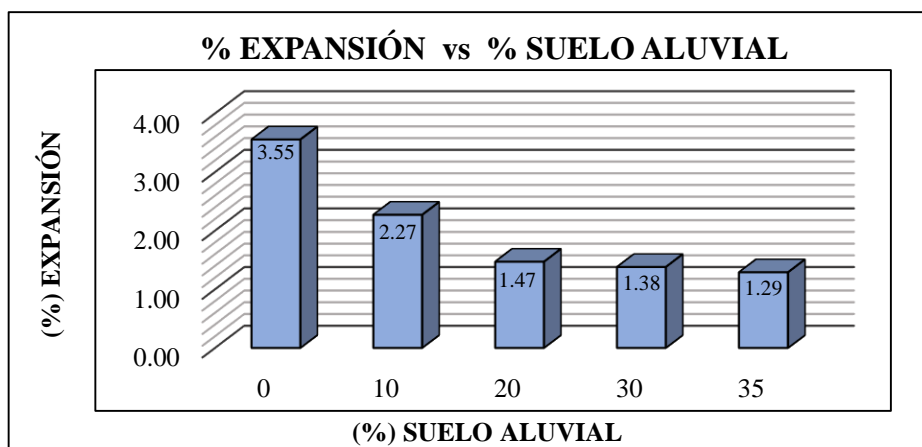
Figura 62: Influencia del suelo aluvial en el CBR del suelo A-6 (16).



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 62, se puede observar como aumenta la resistencia del suelo, de la combinación del suelo A-6 (16) con aluvial a distintos porcentajes respecto al valor de CBR natural de 3.49%, al agregar el 10% de suelo aluvial incrementa a 6.71%, al 20% incrementa un CBR de 11.48%, al 30% es de 14.81% y al 35% de suelo aluvial agregado es de 18.26%.

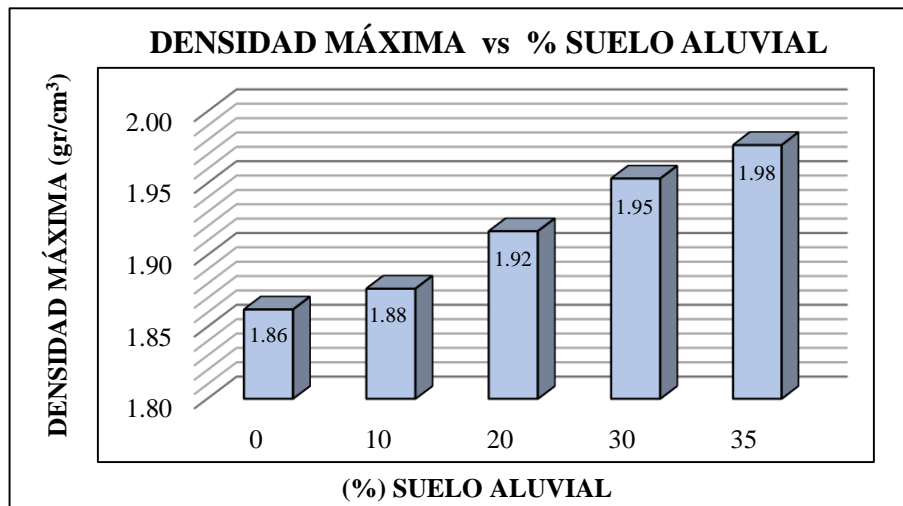
Figura 63: Influencia del suelo aluvial en la expansión del suelo A-6 (16).



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la figura 63, la influencia de la combinación del suelo A-6 (16) con aluvial a distintos porcentajes en la expansión, la cual tiende a disminuir significativamente respecto del suelo natural que tiene un valor de 3.55% y al combinarlo con suelo aluvial al 10% disminuye a 2.27%, a un 20% la expansión es de 1.47%, a un 30% es de 1.38% y finalmente agregando un porcentaje de 35% disminuye 1.29%.

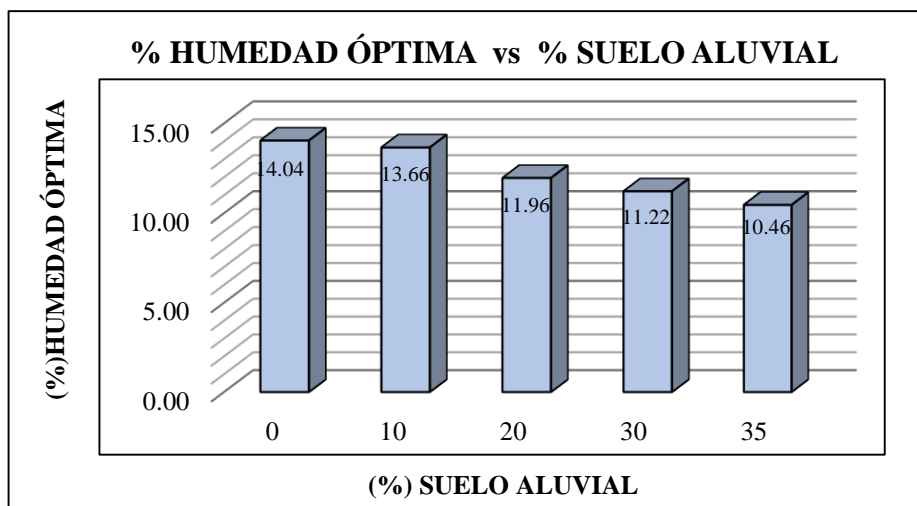
Figura 64: Influencia del suelo aluvial en la densidad máxima del suelo A-6 (16).



Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar que en la figura 64, la densidad máxima de compactación sufre alteraciones al ser combinados con distintos porcentajes de suelo aluvial, para el suelo natural se tiene un valor de 1,86 gr/cm³, al 10% de suelo aluvial este va aumentando a 1.88 gr/cm³, al 20% la densidad es 1.92 gr/cm³, al 30% es de 1.95 gr/cm³ y finalmente agregando un porcentaje de 35% la densidad es 1.98 gr/cm³, este aumento del peso seco del suelo natural con aluvial es favorable ya que esto da una mejor compactación.

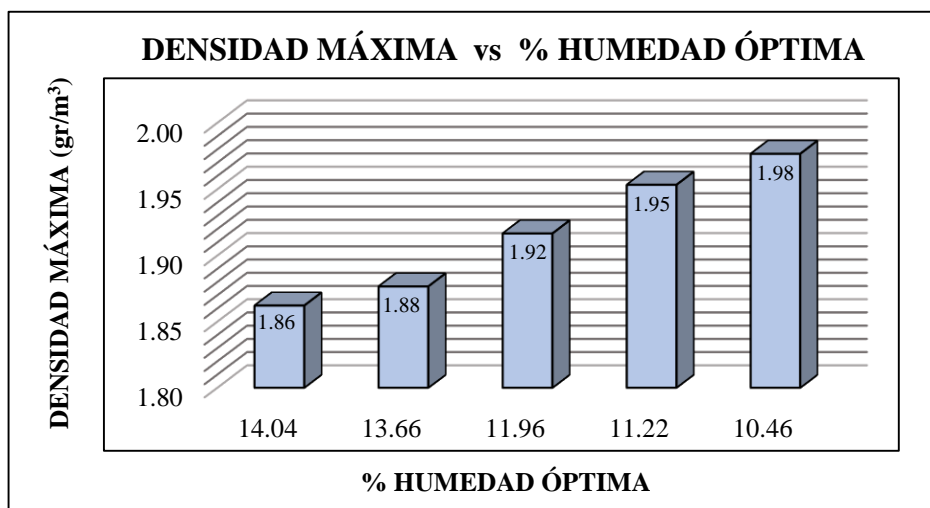
Figura 65: Influencia del suelo aluvial en la humedad óptima del suelo A-6 (16).



Fuente: Elaboración propia.

En la humedad óptima como se observa en la figura 65, al ser combinado con suelo aluvial tiene una tendencia a reducir en cada combinación de 10%, 20%, 30% y 35%, teniendo un valor de 14.04% en estado natural del suelo y un 10.46% al 35% de suelo aluvial agregado.

Figura 66: Relación de la densidad máxima vs humedad óptima del suelo A-6 (16) - suelo aluvial a distintos porcentajes.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura 66, la densidad máxima aumenta y la humedad óptima disminuye según el porcentaje de suelo aluvial agregado al suelo natural en cada combinación, para el suelo natural se tiene una densidad máxima de 1.86 gr/cm³ y una humedad óptima 14.04%, cuando se agrega un 10% de suelo aluvial se tiene un valor de 1.88 gr/cm³ y una humedad óptima de 13.66% , al 20% aumenta un 1.92 gr/cm³ y la humedad óptima disminuye a 11.96%, al 30% se tiene 1.95 gr/cm³ y humedad óptima de 11.22% y finalmente al agregar un porcentaje de 35% aumenta un 1.98 gr/cm³ y disminuye la humedad óptima a 10.46%.

4.3.7. Porcentaje recomendable de suelo aluvial para cada suelo.

Analizando el mejoramiento de las propiedades de los suelos finos, se presenta el porcentaje recomendable de suelo aluvial para cada suelo fino, según especificación técnica para una clasificación de una subrasante.

4.3.7.1. Porcentaje recomendable de suelo aluvial para el suelo A-7-6 (14)

Tabla 42: Cantidad recomendable de suelo aluvial para el suelo A-7-6 (14).

Tipo de suelo	% de aluvial	CBR Promedio		Expansión (%)	Rango de CBR (%)
		al 100% D. máx.	al 95% D. máx.		
A-7-6	10%	6.74	6.40	3.11	6 - 10
	20%	9.98	8.84	2.22	6 - 10
	30%	13.90	12.32	1.93	10 - 20
	35%	17.83	16.22	1.54	10 - 20

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la muestra de suelo A-7-6 (14), se puede establecer que combinando este suelo con suelo aluvial al 20%, es la más recomendable para mejorar este tipo de suelo, donde se obtiene una capacidad portante (CBR) de 8.84%, ya que este valor según la tabla AASHTO nos da una clasificación de regular – buena, con lo que logra cumplir las normas y características de un suelo aceptable para una capa subrasante. Los mejoramientos logrados de este suelo con la combinación de suelo aluvial se ven reflejados en sus propiedades estudiadas como la densidad máxima que aumento de 1.74 gr/cm³ a 1.81 gr/cm³, en la humedad óptima esta redujo de 15.81% a 13.90% y en la expansión que disminuye de 4.01% a 2.22%.

4.3.7.2. Porcentaje recomendable de suelo aluvial para el suelo A-7-5 (16)

Tabla 43: Cantidad recomendable de suelo aluvial para el suelo A-7-5 (16).

Tipo de suelo	% de aluvial	CBR Promedio		Expansión (%)	Rango de CBR (%)
		al 100% D. máx.	al 95% D. máx.		
A-7-5	10%	5.83	5.42	3.06	3 - 6
	20%	8.51	6.88	2.62	6 - 10
	30%	12.87	11.65	1.64	10 - 20
	35%	15.77	14.76	1.34	10 - 20

Fuente: Elaboración propia.

En la muestra del suelo A-7-5 (16), es recomendable un porcentaje de mezcla de 20% de suelo aluvial, obteniéndose una capacidad portante (CBR) de 6.88% para mejorar este tipo de suelo, ya que este valor cumple con las normas y características de calidad para suelos adecuados en una capa subrasante. Los mejoramientos logrados de este suelo con la combinación de suelo aluvial se ven reflejados en sus propiedades estudiadas como la densidad máxima que aumento de 1.67 gr/cm³ a 1.73 gr/cm³, en la humedad óptima esta redujo de 14.96% a 12.59% y en la expansión disminuye de 4.43% a 2.62%.

4.3.7.3. Porcentaje recomendable de suelo aluvial para el suelo A-4 (8)

Tabla 44: Cantidad recomendable de suelo aluvial para el suelo A-4 (8).

Tipo de suelo	% de aluvial	CBR Promedio		Expansión (%)	Rango de CBR (%)
		al 100% D. máx.	al 95% D. máx.		
A-4	10%	9.83	8.90	2.45	6 - 10
	20%	13.83	12.67	1.44	10 - 20
	30%	18.67	16.85	1.36	10 - 20
	35%	20.40	18.18	0.43	10 - 20

Fuente: Elaboración propia.

Es recomendable un porcentaje de mezcla de 10% de suelo aluvial, obteniéndose una capacidad portante (CBR) de 8.90% para la muestra del suelo A-4 (8), ya que este valor cumple con las normas y características de calidad para suelos aceptable en una capa subrasante. Los mejoramientos logrados para este tipo suelo con la combinación de suelo

aluvial se ven en sus propiedades estudiadas como la densidad máxima que incremento de 1.89 gr/cm^3 a 1.90 gr/cm^3 , en la humedad óptima redujo de 11.62% a 10.71% y en la expansión el suelo ha disminuido de 2.92% a 2.45%.

4.3.7.4. Porcentaje recomendable de suelo aluvial para el suelo A-6 (16)

Tabla 45: Cantidad recomendable de suelo aluvial para el suelo A-6 (16).

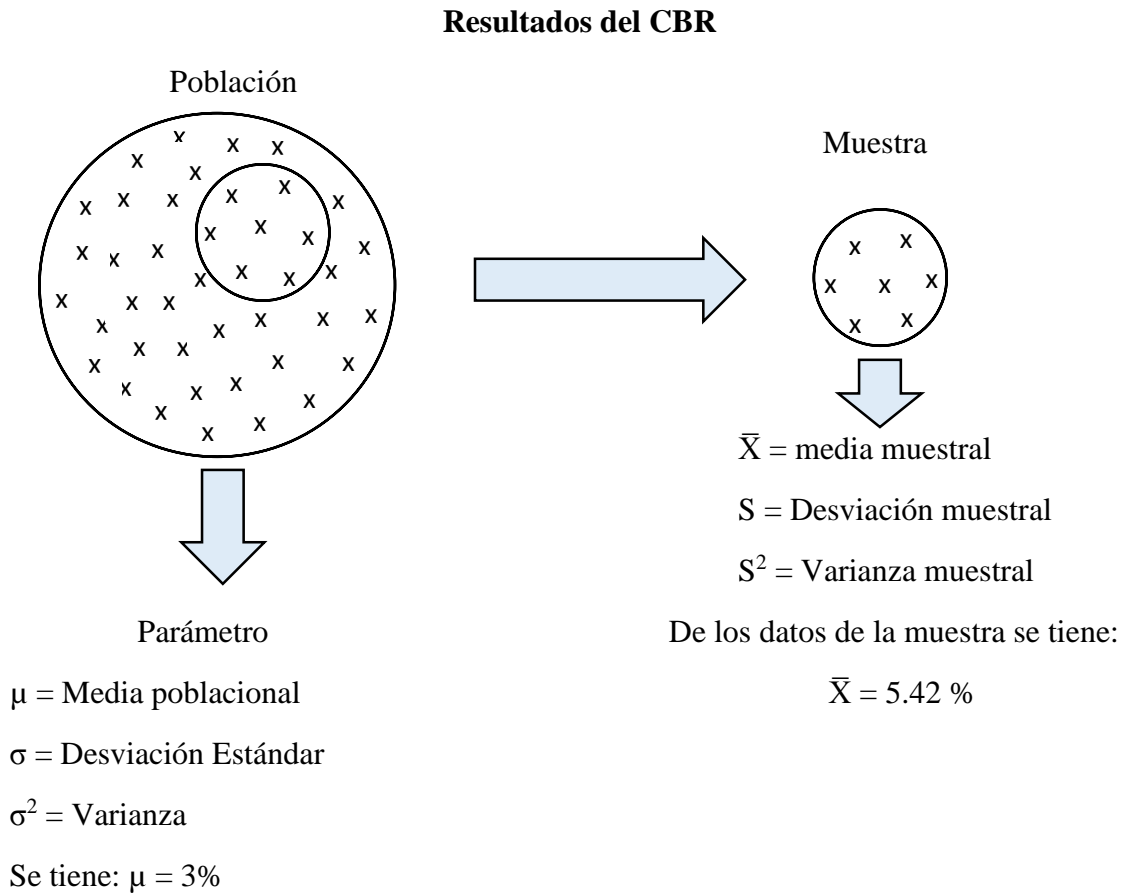
Tipo de suelo	% de aluvial	CBR Promedio		Expansión (%)	Rango de CBR
		al 100% D. máx.	al 95% D. máx.		
A-6	10%	7.38	6.71	2.27	6 - 10
	20%	12.80	11.48	1.47	10 - 20
	30%	15.93	14.81	1.38	10 - 20
	35%	19.54	18.26	1.29	10 - 20

Fuente: Elaboración propia.

Analizando la muestra de suelo A-6 (16), se puede establecer que combinando este suelo con suelo aluvial al 10% es recomendable para mejorar este tipo de suelo, donde capacidad portante CBR es de 6.71%, ya que este valor logra cumplir las normas y características para una capa subrasante. Los mejoramientos logrados de este suelo con la combinación de suelo aluvial se ven reflejados en sus propiedades estudiadas como la densidad máxima que aumento de 1.86 gr/cm^3 a 1.88 gr/cm^3 , en la humedad óptima esta redujo de 14.04% a 13.66% y en la expansión disminuye de 3.55% a 2.27%.

4.3.8. Prueba de hipótesis de la investigación

La combinación de suelo fino con aluvial mejora el valor de CBR.



Aplicación de la distribución t de Student

Tabla 46: Datos de CBR del suelo A-7-5 para tratamiento estadístico.

Número de ensayos	CBR
1	5.53
2	5.35
3	5.38

Fuente: Elaboración propia.

Paso 1: Planteamiento de la hipótesis alternativa (H_1) e hipótesis nula (H_0)

Hipótesis alternativa (H_1)

La media de resultados de CBR de suelos combinados es mayor que la media poblacional.

$$H_1: \mu < \bar{X}$$

$$3\% < 5.42\%$$

Hipótesis nula (H_0)

La media de resultados de CBR de suelos combinados es menor que la media poblacional.

$$H_0: \mu > \bar{X}$$

$$3\% > 5.42\%$$

Como la media muestral es mayor que la media poblacional, se planteara una hipótesis alternativa de $\mu < \bar{X}$

Paso 2: Se selecciona el nivel de significancia para la prueba

Con un intervalo de confianza de 95% se tiene $\alpha = 0.05$ que se utiliza para proyectos de investigación.

Paso 3: Estadística de prueba aplicando la distribución de probabilidad

Para $n < 30$ y σ desconocida se utiliza la siguiente ecuación:

Calculando t^*

$$t^* = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

\bar{x} = Media muestral

μ = Media poblacional

S = Desviación Muestral

n = Tamaño de muestra

$$t^* = \frac{5.42 - 3}{\frac{0.0964}{\sqrt{3}}}$$

$$t^* = 43.481$$

Paso 4: Toma de decisión

Se especifica un criterio de aceptación o rechazo de la hipótesis nula.

De la tabla puntos porcentuales de la distribución ANEXO (IV) se tiene t_c :

Nivel de significancia = 0.05 y grados de libertad = 2

Valor crítico $t_c = 2.919$

Si $t^* > t_c$

$43.481 > 2.919 \longrightarrow$ entonces se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1).

Paso 5: Conclusión

En nuestro caso t^* es mayor a t_c para una cola, con un intervalo de confianza de 95%, donde t_c se encuentra en la zona de rechazo, entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

Se tiene evidencia estadística suficiente para afirmar que los valores de CBR de la muestra de suelo A-7-5 combinado con suelo aluvial mejora cumpliendo con la norma de especificación técnica con un nivel de significancia de 0.05.

4.3.9. Porcentaje de suelo aluvial recomendable en función del CBR óptimo para diversas etapas en la construcción de los terraplenes

Suelo A-7-6

De la figura 47, CBR (%) vs % de suelo aluvial, se tomó CBR óptimos para diversas etapas de la construcción de terraplenes según la norma de especificación técnica, con lo que se determinó el porcentaje de suelo aluvial adecuado.

Tabla 47: Porcentaje de suelo aluvial recomendable en función del CBR (%) óptimo, según parámetros de la especificación técnica para cuerpo de terraplén.

Tipo de suelo	CBR (%) óptimo	% de aluvial
A-7-6	3%	5
	8%	17
	16%	35

Fuente: Elaboración propia.

Suelo A-7-5

De la figura 52, CBR (%) vs % de suelo aluvial, se tomó CBR óptimos para diversas etapas de la construcción de terraplenes según la norma de especificación técnica, con lo que se determinó el porcentaje de suelo aluvial adecuado.

Tabla 48: Porcentaje de suelo aluvial recomendable en función del CBR (%) óptimo, según parámetros de la especificación técnica para cuerpo de terraplén.

Tipo de suelo	CBR (%) óptimo	% de aluvial
A-7-5	3%	7
	8%	20
	16%	38

Fuente: Elaboración propia.

Suelo A-4

De la figura 57, CBR (%) vs % de suelo aluvial, se tomó CBR óptimos para diversas etapas de la construcción de terraplenes según la norma de especificación técnica, con lo que se determinó el porcentaje de suelo aluvial adecuado.

Tabla 49: Porcentaje de suelo aluvial recomendable en función del CBR (%) óptimo, según parámetros de la especificación técnica para cuerpo de terraplén.

Tipo de suelo	CBR (%) óptimo	% de aluvial
A-4	3%	3
	8%	10
	16%	27

Fuente: Elaboración propia.

Suelo A-6

De la figura 62, CBR (%) vs % de suelo aluvial, se tomó CBR óptimos para diversas etapas de la construcción de terraplenes según la norma de especificación técnica, con lo que se determinó el porcentaje de suelo aluvial adecuado.

Tabla 50: Porcentaje de suelo aluvial recomendable en función del CBR (%) óptimo, según parámetros de la especificación técnica para cuerpo de terraplén.

Tipo de suelo	CBR (%) óptimo	% de aluvial
A-6	3%	4.5
	8%	13.5
	16%	36

Fuente: Elaboración propia.

4.3.10. Especificación técnica del método usado

Mejoramiento de los suelos finos con distintos porcentajes de suelo aluvial

1. Definición

Las técnicas de mejoramiento de suelos consisten en modificar las características de un suelo, este método es aplicado para suelos finos que necesitan ser mejoradas las propiedades de resistencia CBR y dar una alternativa solución para subrasantes inadecuados que no cumplan con la norma de especificación técnica.

El procedimiento de este método usado, para mejoramiento de suelo fino combinado con suelo aluvial está basado en las normas AASHTO y ASTM.

2. Materiales y equipos para este método empleado

Los materiales que se utilicen para el mejoramiento de los suelos finos combinados con suelo aluvial, deberán estar normalizados.

A continuación, se muestra los materiales y equipos utilizados para este método empleado.

I. Extracción de la muestra	
Suelo fino	
Extracción de la muestra de suelo	Materiales y equipos
	Machete, barreno, Pico, pala, cuchillo, balde, bolsas plásticas limpias, marcadores, hojas para identificar las muestras de suelo, etc.
Suelo aluvial	
Extracción de la muestra de suelo	Materiales y equipos
	Machete, barreno, Pico, pala, cuchillo, balde, bolsas plásticas limpias, marcadores, hojas para identificar las muestras de suelo, etc.
II. Ensayos de caracterización del suelo	
Granulometría (ASTM D-422 / AASHTO T-88)	Materiales y equipos
	Juego de tamices (3"; 2 ½"; 2"; 1 ½; 1"; ¾"; ⅜"; N°4; N°10; N°40; N°200), balanza, bandeja, espátula, brocha, recipiente para pesaje, etc.

Límite líquido (ASTM D-4318 / AASHTO T-90)	Materiales y equipos
	Tamiz N°40, frasco lavador, balanza, horno, espátula, aparato de casa grande, plato, ranurador, 5 cápsulas con tapa.
Límite plástico (ASTM D-4318 / AASHTO T-90)	Materiales y equipos
	3 cápsulas con tapa, plato, base de vidrio liso, rociador, espátula.
III. Ensayos de resistencia del suelo natural	
Compactación (AASHTO T-180 / ASTM D-1557)	Instrumentos y equipos
	Molde metálicos, collarín movable, martillo de 5lb y altura de caída de 12", probeta graduada de 500- 1000ml, balanza, horno, regla metálica para enrazar, brocha, etc.
CBR (Relación de soporte California) (ASTM D-1883 / AASHTO T-193)	Instrumentos y equipos
	Molde cilíndrico diámetro inferior 6" y altura 7" a 8", collarín de 2" de altura, base perforadora, disco espaciador de acero de 2.5" de altura, tamiz N°4, papel filtro, pisón o martillo de 10 lb y altura de caída de 18", palto y vástago con altura regulable, trípode y extensómetro, pesas anulares.
IV. Ensayos de resistencia combinados con suelo aluvial	
Compactación (AASHTO T-180 / ASTM D-1557)	Instrumentos y equipos
	Molde metálicos, collarín movable, martillo de 5lb y altura de caída de 12", probeta graduada de 500- 1000ml, balanza, horno, regla metálica para enrazar, brocha, etc.
CBR (Relación de soporte California) (ASTM D-1883 / AASHTO T-193)	Instrumentos y equipos
	Molde cilíndrico diámetro inferior 6" y altura 7" a 8", collarín de 2" de altura, base perforadora, disco espaciador de acero de 2.5" de altura, tamiz N°4, papel filtro, pisón o martillo de 10lb y altura de caída de 18", palto y vástago con altura regulable, trípode y extensómetro, pesas anulares.

3. Procedimiento para el mejoramiento del suelo fino combinado con suelo aluvial

Pasos para realizar los ensayos en laboratorio, con la finalidad de ver las características que presenta el suelo fino y el mejoramiento de este suelo al combinarlo con distintos porcentajes de suelo aluvial.

3.1. Preparación de la muestra de suelo

La preparación de la muestra de suelo consiste en vaciar el material sobre una bandeja para así triturar los terrones con un martillo o combo que ayudará a reducir el tamaño de los terrones hasta tener un suelo suelto y homogéneo para los ensayos que se requieran, se repite el procedimiento en caso de necesitar material y guardar en bolsas para extraer de allí las porciones necesarias para los ensayos.

3.2. Ensayos de caracterización para la muestra del suelo natural

3.2.1. Procedimiento para el contenido de humedad del suelo

Es importante este ensayo ya que determina en laboratorio el contenido de agua del suelo por peso, se toma una cantidad de muestra representativa para el ensayo aproximadamente entre 40 y 80 gr por cada cápsula. Se coloca la muestra húmeda en una cápsula seca de peso conocido (w_r), determine el peso de la cápsula y la muestra de material usando una balanza apropiada (w_1), registrando los valores. Se coloca la cápsula con el material húmedo en un horno, después que el material se haya secado se retira del horno esperando que se enfríen a la temperatura ambiente y luego se toma el peso de la cápsula y de la muestra secada en el horno (w_2).

3.2.2. Procedimiento para la granulométrica del suelo método de lavado

El ensayo de análisis granulométrico por tamizado se realiza mediante el método del lavado en el cual se pesa 500 gr como peso total del material en esto natural para curarlo durante el tiempo necesario de 24 horas para que se mezclen homogéneamente, inmediatamente se procede a realizar el lavado por la malla N° 200 y se vacía el material retenido en una bandeja, dejando secar en un horno de acuerdo a la norma AASHTO T-88. Después que el suelo está seco, se pesa y se procede al tamizado por la malla (N° 4, N° 10, N° 40, N° 200). 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.

3.2.3. Procedimiento para la determinación del límite líquido del suelo

Se determina mediante el método de la cuchara de casa grande. 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 N° 40. Para ello, se coloca sobre el aparato de Casagrande y se acciona el mecanismo de esto dos golpes por segundo, contándose el número de golpes necesario para cerrar un surco de aproximadamente 1.27cm (realizado previamente con un ranurador normalizado), inmediatamente con la espátula en forma perpendicular a la ranura realizar dos cortes a la muestra para extraer la porción del suelo y depositarla a la cápsula ya pesadas e identificadas tomando como dato el peso de cápsula más la muestra húmeda, introducir la cápsula al horno durante 24 horas, dejar enfriar para luego pesar la cápsula más la muestra seca. El ensayo se dará por válido 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, con los valores se pueden calcular diferentes contenidos de humedad a sus respectivos números de golpes y llenar la planilla del límite líquido.

3.2.4. Procedimiento para la determinación del límite plástico del suelo

Se determina en base de la menor humedad de un suelo que permite realizar rollitos 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 límites 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. Se recomienda realizar este procedimiento al menos 3 veces para disminuir los errores de interpretación o medición.

3.2.5. Clasificación del suelo

En función a la granulometría por lavado, límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad se determina la clasificación del suelo en base a las normativas de AASHTO.

3.3. Ensayos de resistencia para la muestra del suelo natural

3.3.1. Procedimiento para la compactación del suelo

Se debe preparar el suelo aproximadamente de 25 kg desintegrando los terrones y grumos hasta que pase por el tamiz N° 4 y desechar el retenido en el tamiz, una vez preparado la muestra se debe calcular su contenido de humedad antes de compactarlo.

Se divide el suelo en 5 partes iguales de 5000 gr cada uno, depositar en fuentes y en cada uno se incrementa agua en diferentes porcentajes.

Se pesa el molde con la base y sin collarín y se determina su volumen, una vez calculado los porcentajes requeridos de humedad se procede a incrementar tales cantidades de agua al suelo mezclando y homogeneizando la muestra para luego introducir al molde compuesto con su extensión o collarín en cinco capas iguales compactando cada capa a 56 golpes. Una vez completada la compactación se retira el collarín y se enraza con la regla metálica hasta dejar una superficie lisa hasta la altura del molde, luego se pesa el molde con su base con el suelo compactado y enrazado, registrando en la planilla de cálculos, seguidamente se retira el molde de su base y se extrae tres muestras del corazón del suelo compactado para determinar el contenido de humedad real del suelo compactado. Luego de esto realizar los cálculos y graficar la curva de densidades en el eje de las ordenadas y porcentaje de humedad en el eje de las abscisas para obtener una ecuación y obtener la humedad óptima que será donde se dé la densidad máxima de compactación.

3.3.2. Procedimiento de la relación de soporte California CBR del suelo

El ensayo de CBR 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, este ensayo se realiza normalmente a suelos compactados en laboratorio con la humedad óptima y densidad máxima del suelo.

Para cada molde colocar el disco espaciador sobre la placa base, fijar el molde con su collar de extensión sobre dicha placa y colocar un disco de papel filtro sobre el espaciador. Compactar cada una de las porciones de suelo húmedo en el molde, en un número de capas iguales al de las probetas usadas en el ensayo de humedad - densidad. Cada probeta se debe compactar con distinta energía de 12, 25, 56 golpe y pesar la muestra húmeda más molde.

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 CBR de los suelos bajo las condiciones más críticas, esto durante un período mínimo de 96 horas donde se colocan pesas sobre las mismas, por otro lado determinar su expansión efectuando 4 lecturas empleando un extensómetro debidamente calibrado, cumpliendo con periodo de inmersión retirar la muestra de la piscina para luego dejar drenar por un lapso de 15 minutos y secar sus superficies expuestas, se debe registrar el peso muestra saturada más molde.

Al aplicar la carga en el pistón de penetración a una velocidad sea de 1.27 mm/min, registrar las lecturas de carga en los siguientes niveles de penetración de 0.63; 1.27; 1.91; 2.54; 3.18; 3.81; 4.45; 5.08; 7.62; 10.16; y 12.7mm anotando la carga máxima alcanzada a una penetración dada. Sacar el molde de la prensa de CBR para extraer muestra del fondo, de la superficie y la segunda superficie y depositarlas en cápsulas determinando su peso húmedo más cápsula, inmediatamente se lleva al horno por 24 horas para después determinar su peso seco más cápsula, con los datos procesados y los resultados de estos se graficará la carga vs penetración.

3.4. Ensayos de resistencia para la muestra del suelo fino combinado con suelo aluvial

Una vez determinado todas las características del suelo fino se desarrolla el estudio con la combinación del suelo aluvial a distintos porcentajes de 10%, 20%, 30% y 35%, el cual es analizado a partir de la compactación, los ensayos de la relación de soporte California (CBR) para hallar el porcentaje recomendable de la mezcla.

3.4.1. Procedimiento para la compactación del suelo natural combinado con suelo aluvial

Para la determinación de la humedad óptima y la densidad máxima en laboratorio se procedió a mezclar de acuerdo a la dosificación empleada de 10% aluvial - 90% suelo fino, 20% aluvial - 80% suelo fino, 30% aluvial - 70% suelo fino, 35% aluvial - 65% suelo fino, se prepara una muestra de suelo aproximadamente de 25 kg combinando un 10% de suelo aluvial y 90 % de suelo fino, una vez preparado la muestra se debe calcular su contenido de humedad antes de compactarlo.

Se divide el suelo en 5 partes iguales de 5000 gr cada uno, depositar en fuentes y en cada uno se incrementa agua en diferentes porcentajes.

Se pesa el molde con la base y sin collarín y se determina su volumen, una vez calculado los porcentajes requeridos de humedad se procede a incrementar tales cantidades de agua al suelo mezclando y homogeneizando la muestra para luego introducir al molde compuesto con su extensión o collarín en cinco capas iguales compactando cada capa a 56 golpes. Una vez completada la compactación se retira el collarín y se enrasa con la regla metálica hasta dejar una superficie lisa hasta la altura del molde, luego se pesa el molde con su base con el suelo compactado y enrazado, registrando en la planilla de cálculos, seguidamente se retira el molde de su base y se extrae tres muestras del corazón del suelo compactado para determinar el contenido de humedad real del suelo compactado. Luego de esto realizar los cálculos y graficar la curva de densidades en el eje de las ordenadas y porcentaje de humedad en el eje de las abscisas para obtener una ecuación y obtener la humedad óptima que será donde se dé la densidad máxima de compactación, repetir este procedimiento para las demás combinaciones de suelo aluvial de 20% 30% y 40%.

3.4.2. Procedimiento de la relación de soporte California CBR del suelo natural combinado con suelo aluvial

Con la dosificación establecida de 10%, 20%, 30% 35% se prepara el material para el suelo fino, calculando la cantidad de suelo aluvial y el suelo fino que se necesita en cada ensayo, con el contenido óptimo de humedad y la densidad máxima compactada de acuerdo al ensayo de proctor se compacta 3 moldes o probetas con diferentes energías.

Para cada molde colocar el disco espaciador sobre la placa base, fijar el molde con su collar de extensión sobre dicha placa y colocar un disco de papel filtro sobre el espaciador. Compactar cada una de las porciones de suelo húmedo en el molde, en un número de capas iguales al de las probetas usadas en el ensayo de humedad - densidad. Cada probeta se debe compactar con distinta energía de 12, 25, 56 golpe y pesar la muestra húmeda más molde.

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 CBR de los suelos bajo las condiciones más críticas, esto durante un período mínimo de 96 horas donde se colocan pesas sobre las mismas, por otro lado determinar su expansión efectuando 4 lecturas empleando un extensómetro debidamente calibrado, cumpliendo con periodo de inmersión retirar la muestra de la piscina para luego dejar drenar por un lapso de 15 minutos y secar sus superficies expuestas, se debe registrar el peso muestra saturada más molde.

Al aplicar la carga en el pistón de penetración a una velocidad sea de 1.27 mm/min, registrar las lecturas de carga en los siguientes niveles de penetración de 0.63; 1.27; 1.91; 2.54; 3.18; 3.81; 4.45; 5.08; 7.62; 10.16; y 12.7mm anotando la carga máxima alcanzada a una penetración dada. Sacar el molde de la prensa de CBR para extraer muestra del fondo, de la superficie y la segunda superficie y depositarlas en cápsulas determinando su peso húmedo más cápsula, inmediatamente se lleva al horno por 24 horas para después determinar su peso seco más cápsula, con los datos procesados y los resultados de estos se graficará la carga vs penetración.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En función a los capítulos del trabajo de investigación y del análisis de resultados se concluye lo siguiente:

- De la teoría de estabilización de suelos se definió conceptos y adquirió conocimientos de la cual se realizó un análisis minucioso de los componentes del objeto de estudio de la investigación.
- Se extrajo las muestras de los suelos finos y se caracterizó mediante ensayos de laboratorio de granulometría, contenido de humedad, límites de Atterberg, compactación y finalmente CBR, según guía de laboratorio regidas en base a la norma AASHTO y ASTM aplicadas en nuestro medio.
- El suelo extraído del barrio Fray Quebracho, en el ensayo de granulometría atraviesa por todos los tamices, pasando 97.15% por el tamiz N° 200, se trata por lo tanto de un material fino, del límite líquido resultó un valor de 46.20%, el límite plástico es de 21.70% y el índice de plasticidad es 24.50% por lo tanto, el suelo corresponde al grupo A-7-6 (14), es decir suelo fino (arcillas), de la compactación del suelo se tiene una densidad máxima de 1.74 gr/cm³ y humedad óptima de 15.81%, al realizar el ensayo de CBR el resultado fue un valor muy bajo de 3.09 al 95% de su densidad máxima.
- El suelo que procede del barrio Moto Méndez, en el ensayo de granulometría atraviesa por todos los tamices, pasando 98.93% por el tamiz N° 200, de igual manera que en el anterior suelo se trata de un material fino, para el límite líquido se obtuvo un valor de 54.90%, indicando un grado de expansión media y dentro de los rangos establecidos para los suelos arcillosos pues se sabe que 40 a 60% corresponde a suelos arcillosos, el límite plástico es de 31.10%, y el índice de plasticidad es de 23.8% por lo tanto, el suelo corresponde al grupo A-7-5 (16), es decir un suelo fino con un índice de plasticidad elevado que lo ubica en el rango de las arcillas, de la compactación del suelo se tiene una densidad máxima de 1.67

gr/cm³ y humedad óptima de 14.96%, en el ensayo de CBR el resultado fue un valor muy bajo de 2.85 al 95% de su densidad máxima.

- Para el barrio Lourdes, en el ensayo de granulometría el porcentaje que pasa del total es 78.90% por el tamiz N° 200, el límite líquido resultó un valor de 26.60%, el límite plástico es de 20.50%, y el índice de plasticidad es 6.10% por lo tanto, el suelo corresponde al grupo A-4 (8), de la compactación del suelo se tiene una densidad máxima de 1.89 gr/cm³ y humedad óptima de 11.62%, en el ensayo de CBR el resultado fue un valor de 4.23 al 95% de su densidad máxima.
- Por último, para el barrio Nueva Terminal, en el ensayo de granulometría el porcentaje que pasa del total es 96.71% por el tamiz N° 200, El límite líquido resultó un valor de 37.20%, el límite plástico es 23.50% y el índice de plasticidad es de 13.80% por lo tanto, el suelo corresponde al grupo A-6 (16), es decir un suelo fino (arcillas), de la compactación del suelo se tiene una densidad máxima de 1.86 gr/cm³ y humedad óptima de 14.04%, en el ensayo de CBR el resultado fue un valor bajo de 3.49 al 95% de su densidad máxima.
- En cuanto a la capacidad portante (CBR) de los suelos finos combinados con suelo aluvial, se aplicó los porcentajes de 10%, 20%, 30% y 35% en base de tanteos por sugerencia de personal profesional.
- El suelo A-7-6 (14) combinado con suelo aluvial aumenta la resistencia, respecto al valor de CBR natural de 3.09%, que añadiendo un 10% se tiene un 6.40% de su densidad máxima de compactación, al 20% incrementa un 8.84%, al 30% se tiene un 12.32% y al 35% se logra un incremento de 16.22%, siendo el valor máximo de resistencia CBR, en cuanto a la expansión tiende a disminuir significativamente respecto del suelo natural que tiene un valor de 4.01% y al combinarlo con suelo aluvial a un 10% disminuye 3.11%, a un 20% disminuye 2.22%, a un 30% disminuye 1.93%, finalmente al 35% disminuye 1.54%, logrando de esta manera un descenso y habiéndose demostrado mediante ensayos de laboratorio.
- El suelo A-7-5 (16) combinado con suelo aluvial aumenta la resistencia, respecto al valor de CBR natural de 2.85%, al añadir un 10% se tiene un 5.42% de su densidad máxima de compactación, al 20% incrementa un 6.88%, al 30% se tiene

un 11.65% y al 35% se logra un incremento de 14.76%, siendo el valor máximo de resistencia, en el caso de la expansión tiende a disminuir significativamente respecto del suelo natural que tiene un valor de 4.43% y al combinarlo con suelo aluvial a un 10% disminuye 3.06%, a un 20% disminuye 2.62%, a un 30% disminuye 1.64%, finalmente al 35% disminuye 1.34%, logrando de esta manera un descenso y habiéndose demostrado mediante ensayos de laboratorio.

- El suelo A-4 (8) combinado con suelo aluvial aumenta la resistencia, respecto al valor de CBR natural de 4.23, al añadir un 10% se tiene un 8.90% de su densidad máxima de compactación, al 20% incrementa un 12.67%, al 30% se tiene un 16.85% y al 35% se logra un incremento de 18.18%, siendo el valor máximo de resistencia, en la expansión experimento un descenso significativamente respecto al suelo natural que es de 2.92% y al combinarlo con suelo aluvial a un 10% disminuye 2.45%, a un 20% este desciende 1.44%, a un 30% disminuye 1.36%, finalmente al 35% disminuye 0.43%, demostrándose esto mediante ensayos de laboratorio.
- El suelo A-6 (16) combinado con suelo aluvial aumenta la capacidad portante, respecto al valor de CBR natural de 3.49%, al añadir un 10% se tiene un 6.71% de su densidad máxima de compactación, al 20% incrementa un 11.48%, al 30% se tiene un 14.81% y al 35% se logra un incremento de 18.26%, siendo el valor máximo de resistencia, en cuanto a la expansión tiende a disminuir respecto del suelo natural que tiene un valor de 3.55% y al combinarlo con suelo aluvial a un 10% disminuye 2.27%, a un 20% disminuye 1.47%, a un 30% disminuye 1.38%, finalmente al 35% disminuye 1.29%.
- En cuanto al suelo A-7-6 (14), se puede establecer que combinando este suelo con suelo aluvial al 20%, es la más recomendable para mejorar este tipo de suelo, donde se logró alcanzar una capacidad de soporte (CBR) de 8.84% respecto del suelo natural que tiene valor de 3.25%, este mejoramiento de 20% de aluvial según la tabla AASHTO nos da una clasificación que logra cumplir las normas y características de un suelo aceptable para una capa subrasante. El mejoramiento logrado para este suelo con la combinación de suelo aluvial se ve reflejados también en la curva de correlación la cual nos da un significado que los valores

analizados tienen una tendencia lineal, así mismo en sus propiedades estudiadas como la densidad máxima que incremento de 1.74 gr/cm^3 a 1.81 gr/cm^3 , en la humedad óptima esta disminuyó de 15.81% a 13.90% y en la expansión este desciende de 4.01% a 2.22%.

- El suelo A-7-5 (16), presenta una capacidad de soporte (CBR) de 2.85% en estado natural lo que clasifica a este suelo como material pésimo para ser empelada en una capa subrasante, sin embargo, el resultado obtenido demuestra que la adición del porcentaje de 20% de suelo aluvial incrementa en la resistencia del suelo, obteniéndose una capacidad de soporte (CBR) de 6.88%, siendo el porcentaje recomendable para mejorar este tipo de suelo ya que este valor cumple con las normas y características de calidad para suelos adecuados en una capa subrasante. También el mejoramiento de este suelo con la combinación de suelo aluvial se ve reflejados en sus propiedades como la densidad máxima que aumento de 1.67 gr/cm^3 a 1.73 gr/cm^3 , así como la humedad óptima que redujo de 14.96% a 12.59% y en la expansión esto disminuye de 4.43% a 2.62%.
- Se puede establecer que combinando este suelo A-4 (8), con suelo aluvial al 10%, es la más es la recomendable, logrando alcanzar una capacidad de soporte (CBR) de 8.90% ya que este valor cumple con las especificaciones para suelos aceptable en una capa subrasante. El mejoramiento logrado para este suelo con la combinación de suelo aluvial, también se ven reflejados en la curva de correlación la cual nos da un significado que los valores analizados tienen una tendencia lineal, así mismo en sus propiedades como la densidad máxima que incremento de 1.89 gr/cm^3 a 1.90 gr/cm^3 , en la humedad óptima redujo de 11.62% a 10.71% y en la expansión el suelo ha disminuido de 2.92% a 2.45%.
- En la muestra de suelo A-6 (16), con una resistencia de 3.49%, se puede establecer que combinando este suelo con suelo aluvial al 10% es la recomendable para mejorar este tipo de suelo, logrando incrementar una capacidad de soporte CBR de 6.71%, que logra cumplir las normas y características para una capa subrasante, así también se poder ver un mejoramiento en el comportamiento de sus propiedades como la densidad máxima que aumento de 1.86 gr/cm^3 a 1.88 gr/cm^3 ,

en la humedad óptima esta redujo de 14.04% a 13.66% y en la expansión experimentó un descenso significativo de 3.55% a 2.27% habiéndose demostrado mediante ensayos de laboratorio.

- De la comprobación de hipótesis, aplicando la distribución t de Student se demostró la hipótesis de investigación “La combinación de suelo fino con aluvial mejora el valor de CBR”, donde t^* (calculado) es mayor a t_c (crítico) para una cola con un intervalo de confianza de 95%, en la que t^* (calculado) se encuentra en la zona de rechazo, entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, que tiene evidencia estadística suficiente para afirmar que los valores de CBR de la muestra de suelo A-7-5 combinado con suelo aluvial mejora cumpliendo con la norma de especificación con un nivel de significancia de 0.05.
- En cuanto a la propuesta de especificación técnica se desarrolló el procedimiento del método usado que consiste en una serie pasos que ayuden a desarrollar el mejoramiento de las propiedades de los suelos finos combinados con suelo aluvial.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda extraer las muestras de suelo natural para el ensayo de humedad en recipientes cerrados (bolsas plásticas que no permita la evaporación).
- En cuanto al equipo de casa grande que determina el límite líquido del suelo, se recomienda tener en cuenta la calibración de una altura de caída de 1cm de la copa metálica, de igual manera se puede verificar con el mismo ranurador del equipo que se encuentra acondicionado para tal efecto y realizar el ensayo para darle confiabilidad.
- Al momento de realizar el ensayo de granulometría se recomienda revisar aberturas de los tamices que estén completamente libre de material ya que esto no sería favorable para los resultados.
- En el equipo de la prensa para determinar capacidad de soporte, se recomienda verificar la calibración del anillo dinamométrico, con una ecuación de $R^2 = 1$ y el funcionamiento correcto del equipo al momento de realizar los ensayos de laboratorio.

- Se recomienda tener una planilla de identificación de las muestras que serán analizadas en laboratorio, para que no exista confusión al momento de realizar los ensayos.
- Al momento de hacer la lectura con el extensómetro, verificar la calibración y anotar bien los datos de las lecturas.
- Este trabajo de investigación será un aporte de manera positiva, ya que es de importancia tener conocimiento de las características de un suelo para subrasante.
- Al momento de combinar los diferentes porcentajes se tiene que tener cuidado en pesar las proporciones adecuadas.