

CAPÍTULO I  
INTRODUCCIÓN

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Los suelos pueden ser mejorados mediante estabilización mecánica, mezclando suelos seleccionados sin la adicción de agentes u otras energías de unión de partículas, la otra forma implica la adición de aditivos para mejorar el comportamiento del suelo. El cemento ayuda a aumentar la resistencia a la compresión no confinada y aumenta su fuerza con el periodo de curado. Analizar el efecto del tiempo de curado en la resistencia a la compresión inconfiada de un suelo limoso mejorado con cemento nos permite apreciar el mejor comportamiento del suelo.

Chaguala 2018 en su investigación análisis de Suelo arcilloso mejorado con cemento, para la elaboración de adoquines llegó a las siguientes conclusiones:

La mezcla de suelo con adición de 7% de cemento mejoró las características del suelo inalterado, produciendo la disminución de la humedad en un 15%, la cual era necesaria para la compactación óptima, aumentó la resistencia a compresión en un 229%, optimizó su plasticidad y su cambio volumétrico en un 31%; así mismo, tuvo un mejor comportamiento en todos los aspectos que componían la caracterización de las mezclas al compararse principalmente con el suelo inalterado

Sorzano 2022 realizó el análisis de la variación de la resistencia al corte en arcillas en función al porcentaje de cal añadido para su estabilización llegó a la siguiente conclusión.

Es necesario realizar el curado de las probetas para mantener la humedad inicial intacta durante todo el proceso de maduración impermeabilizando herméticamente con bolsas de plástico el suelo cal.

INV E-624 en la sección 600 - estabilización de suelo establece el curado de probetas. Opción de curado 2: Inmediatamente después de su fabricación, las probetas se extraen de los moldes, se colocan en bolsas plásticas herméticas para conservar el 100% de la humedad de la muestra hasta que se vaya a determinar la resistencia a la compresión inconfiada. A menos de que el fabricante determine otro método para el curado de las probetas estabilizadas.

García 2019 en su estudio de la técnica de suelo -cemento para la estabilización de vías terciarias pudo observar que los cilindros con cemento y 28 días de curado alcanzan una resistencia máxima de 2.42 Mpa, mientras que los que tienen 14 días de curado llegan hasta 1.66 Mpa y los de 7 días 1.46 Mpa. Es decir, que las propiedades de fraguado del cemento aumentaron en un 40% la resistencia del material desde los 7 días hasta los 28 días.

El manual de ensayo de suelo y materiales en el tema parámetros de resistencia de suelo mediante compresión en el punto 12 establece:

Muestras Remoldeadas: Pueden prepararse especímenes a partir de una muestra inalterada fallada o de una alterada. El método de moldeo y la compactación pueden variarse para producir el peso unitario, la humedad y la estructura del suelo deseadas.

Si las muestras no son moldeadas al tamaño requerido, el equipo empleado para desbastar muestras de suelo inalteradas puede emplearse también para las de material remoldeado.

## **1.2 Justificación**

### **1.2.1 Justificación académica**

Desarrollar el proyecto colabora y contribuye a profundizar los conocimientos adquiridos durante la formación académica, brindar mayor información acerca de la resistencia a compresión inconfiada y al corte no drenado, por lo tanto, los resultados sirven para el dimensionamiento de cimentaciones aplicados en el campo de fundación.

### **1.2.2 Justificación técnica**

En este trabajo se realizarán ensayos de laboratorio y cálculos según las teorías para hallar la resistencia cortante del suelo fino mediante el ensayo de compresión inconfiada.

### **1.2.3 Justificación social**

- Material de apoyo estudiantil
- Reducir costo y generar un ahorro económico
- Garantiza la estabilidad de la estructura que se desee construir.

### **1.3 Planteamiento del problema**

#### **1.3.1 Situación problemática**

El mejoramiento de suelo también denominado estabilización de suelos, es un proceso de alteración de las propiedades de ingeniería de suelo in situ, en el que se obtiene un suelo que cumple los requisitos necesarios en la construcción de edificios, con un costo más bajo.

En el momento de realizar un mejoramiento de suelo con cemento, puede verse afectado éste por la variación del tiempo de curado, influyendo directamente a su resistencia.

Si no realiza tiempos de curado adecuados, los resultados varían de tal forma, que no se lograría una correcta estabilización de suelo, esta situación trae como consecuencia la falla no solo del estrato que se desea mejorar, sino de todo el sistema estructural, el cual causaría pérdidas económicas.

Es necesario analizar el efecto del tiempo de curado, para que así la mejora del suelo con cemento cumpla su función principal y sea capaz de soportar de manera eficiente las cargas, estableciendo un solo tiempo curado apropiado para su aplicación en distintas obras.

#### **1.3.2 Formulación del problema**

¿Cuáles son los efectos del tiempo de curado en la resistencia a la compresión incofinada de un suelo limoso mejorado con cemento?

### **1.4 Delimitación temporal**

Este proyecto de investigación ocurre en tiempo presente.

### **1.5 Delimitación espacial**

Este proyecto perteneciente al área de trabajo de mecánica de suelo

- Área de trabajo: mecánica de suelos
- Bases de operación: laboratorio de suelos
- Aplicación: mejoramiento de suelo.

## **1.6 Objetivos de la investigación**

### **1.6.1 Objetivo general**

Analizar el efecto del tiempo de curado de un suelo limoso mejorado con cemento, considerando como parámetro de medición la resistencia a la compresión inconfiada, para establecer el comportamiento del mismo.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

- Analizar normas y textos referentes al mejoramiento de suelo-cemento y curado de probetas.
- Extraer y caracterizar los suelos en laboratorio.
- Determinar y analizar la resistencia a compresión inconfiada con respecto a los porcentajes de cemento y a los días de curado.
- Determinar el porcentaje óptimo de cemento.
- Identificar ventajas y desventajas en el comportamiento del suelo mejorado.

## **1.7 Alcance de la investigación**

La investigación corresponde al tipo de investigación causal o explicativa, pues con este trabajo se pretende explicar lo que sucedería con el valor de la resistencia cortante de un suelo limoso antes y después de ser sometido a una estabilización con cemento y curado a diferentes periodos de tiempos. Diseño experimental porque el investigador manipula la variable independiente.

La investigación abarca el análisis de la variación de la resistencia al corte en un suelo limoso en función al porcentaje de cemento añadido para su estabilización en el suelo, es decir en estado natural y luego determinar su variación de sus parámetros mecánicos en la resistencia al esfuerzo cortante.

Capítulo I.- En este capítulo se empieza a realizar el diseño metodológico del presente proyecto, que abarca desde encontrar un problema en el campo de la mecánica de suelos y dar solución a este problema mediante diferentes ensayos de laboratorio. Identificando los objetivos del proyecto, basar todo el proyecto en una hipótesis que será verificada al final de este documento.

Capítulo II.- Está relacionado a la propuesta teórica del trabajo. Por lo tanto, este proyecto presenta un marco teórico sobre el tema de estabilización de suelos, pero sobre todo se hará énfasis en el tema principal del proyecto es la compresión inconfiada, desde el concepto de corte, en diferentes porcentajes de estabilización suelo-cemento, los factores que influyen en este valor, las ventajas y desventajas de este parámetro y los métodos que existen para medir este parámetro en base a las normas existentes.

Capítulo III.- En este punto del presente proyecto primeramente se puntualizará los lugares de donde se extrajeron las muestras del suelo a usar para la elaboración de este proyecto, seguidamente realizarán todos los ensayos de caracterización del suelo, en una segunda etapa se realiza ensayos mecánicos, en donde se trabaja con distintos porcentajes de cemento y centrarse en la variable principal del proyecto.

Capítulo IV.- Realizada toda la caracterización se procederá a la determinación de la variable principal de proyecto que es variación la resistencia al corte no drenado en un suelo limoso de baja plasticidad, como estabilizadas a distintos porcentajes de cemento, una vez obtenidos los resultados de los ensayos de compresión inconfiada se realizará el análisis estadístico tanto descriptivo como inferencial, este último en base a la hipótesis propuesta al principio del proyecto explicado en el capítulo I.

Capítulo V.- En base a los resultados obtenidos, al marco teórico y a la bibliografía consultada se realizará las conclusiones a las cuales se llegó con este proyecto, seguido de esto se realizarán algunas recomendaciones para mejorar el procedimiento de las prácticas realizadas en este proyecto u alguna observación que se pudiera realizar.

## **1.8 Formulación de la hipótesis**

A mayores periodos de curado en un suelo estabilizado con cemento aumenta la resistencia a la compresión inconfiada.

### **1.8.1 Hipótesis y sus variables**

- **Variable independiente:**  
periodos de curado en un suelo limoso estabilizado con cemento.
- **Variable dependiente:**  
la resistencia a la compresión inconfiada.

## 1.8.2 Operacionalización de las variables

**Tabla 1.** Variable independiente

Variable independiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Periodos de curado en un suelo limoso estabilizado con cemento	El periodo de curado permite mantener un grado suficiente de humedad interna durante un lapso adecuado como para permitir la hidratación del suelo estabilizado.	Masa suelo seco.	Gramos(g)	Preparación de la muestra según normativa
		Cantidad de cemento	Porcentaje (%)	Calculado respecto del peso total de la muestra
		Mezcla de suelo-cemento	Gramos (g)	Mezcla de suelo limoso con cemento
		Formas de curado	Tiempo (días)	Sumergido de probetas

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2.** Variable dependiente

Variable dependiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Resistencia a la compresión inconfiada	La prueba de compresión no confinada es un tipo especial de prueba no consolidada-no drenada, donde a la muestra se le aplica rápidamente una carga axial	Contenido de humedad	Porcentaje (%)	Valor extraído de la muestra de campo
		Número confiable de especímenes	Unidad de muestra	De acuerdo a estadística
		Prueba de resistencia inconfinada para provocar una falla	Kg/cm <sup>2</sup>	Colocar la muestra en el equipo de compresión inconfinada

**Fuente:** Elaboración propia

# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Identificación del tipo de diseño de investigación**

El alcance de la investigación es causal o explicativa con diseño experimental en la categoría de cuasi experimento, donde los periodos de curado del suelo limoso mejorado con cemento son controlados.

#### **2.2 El suelo**

La palabra suelo representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta arenisca parcialmente cementada o lutitas suaves. Quedan excluidas de la definición las rocas sanas, ígneas o metamórficas y los depósitos sedimentarios altamente cementados (Badillo & Rodríguez, 2005)

El suelo se puede definir a partir de dos puntos de vista, geológico e ingenieril. El suelo está clasificado según sus propiedades física, consistencia y tamaño.

Desde el punto de vista ingenieril, se define el suelo como un agregado natural que no presenta granos minerales y materia orgánica en estado de descomposición. Por otra parte, el ingeniero relaciona al suelo como un material constructivo el cual es de vital importancia en el diseño y construcción de obras civiles.

Algunos ingenieros civiles (A. Rico y H. del Castillo) definen al suelo como el conjunto de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de rocas preexistente.

Otro autor, (Alfred R. Jumikis), doctor en ingeniería, lo define como sedimentos no consolidados y depósitos de partículas sólidas derivadas de la desintegración de las rocas (Crespo Villalaz, 2004)

#### **2.3 Tipos de suelo**

De acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se dividen en dos amplios grupos: suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, es decir los suelos inorgánicos y suelos cuyo origen es principalmente orgánico

los suelos inorgánicos pueden ser residuales, estos se forman a partir del producto del intemperismo que la descomposición de los materiales rocosos expuestos al aire, la humedad, la temperatura y al efecto de la materia orgánica que permanecen en el sitio donde se formó, en algunos casos estos materiales descompuestos son transportados y depositados en otro lugar permitiendo la creación del nuevo suelo. Los suelos orgánicos generalmente se forman in situ, cuando la cantidad de materia inorgánica en forma de humus o materia no descompuesta es mucho más alta en relación a la cantidad de suelo inorgánico.

#### **2.4 Identificación de suelos**

El límite entre ambas fracciones está dado por la posibilidad de la distinción de sus partículas a simple vista.

- **Grava – Arena:** Materiales de la fracción gruesa (% pasa tamiz N°200 < 50%)
- **Limo – Arcilla:** Materiales de la fracción fina (% pasa tamiz N°200 > 50 %).

#### **2.5 Suelos cohesivos y suelos no cohesivos**

Suelos no cohesivos: Las partículas no tienden a juntarse ni adherirse, sus partículas son relativamente grandes, también llamados suelos granulares o friccionantes (arenas, gravas y limos).

Suelos cohesivos: Existen partículas muy pequeñas donde predominan los efectos electroquímicos superficiales. Las partículas tienden a juntarse (interacción agua/partícula) en suelos plásticos como las arcillas. (GrupoCIPSA, 2012).

**Figura 1.** Suelos cohesivos y suelos no cohesivos



**Fuente:** “Geotetehtips on X”

## **2.6 Suelo como material de construcción**

El suelo es el material de construcción más abundante del mundo y en muchas zonas constituye, de hecho, el único material disponible localmente. Desde el periodo neolítico, la tierra se ha utilizado para las construcciones de monumentos, tumbas, viviendas, vías de comunicación y estructura para retención de agua.

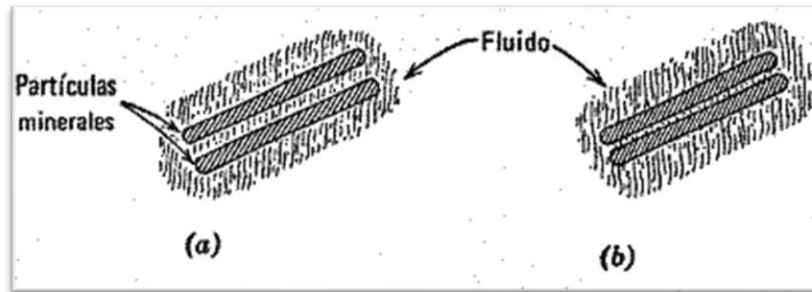
Cuando el ingeniero emplea el suelo como material de construcción debe seleccionar el tipo adecuado de suelo, así como el método de colocación y, luego, controlar su colocación en obra (Lambe & Whitman , 2012)

## **2.7 Comportamiento en la fase intersticial: interacción química**

Los espacios que quedan entre partículas de suelo se denominan vacíos, huecos, poros o intersticios. Estos poros suelen estar ocupados por aire y/o agua (con o sin materiales disueltos).

La naturaleza del fluido intersticial tiene influencia sobre la magnitud de la resistencia al deslizamiento entre dos partículas, dada la naturaleza química de la superficie de contacto. De hecho, en el caso de partículas de suelo muy delgadas, el fluido intersticial puede penetrar completamente entre partículas. Aunque estas particulitas ya no están en contacto en el sentido usual, aún permanecen muy juntas y pueden transmitir fuerzas normales y posiblemente también tangenciales. La separación entre estas partículas aumentara o disminuirá según lo hagan la fuerza de compresión transmitidas (Lambe & Whitman , 2012, pág. 32)

**Figura 2.** Partículas de líquido rodeado de partículas de suelo.



**Fuente:** “Mecánica de suelos”, T. William lambe. Robert V. Whitman

## 2.8 Teoría de los limos

Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo este último de características plásticas, el diámetro de las partículas está comprendido entre 0,05 mm y 0,005 mm. los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas, su color varía desde gris claro a muy oscuro. la permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad es muy alta. Los limos de no encontrarse en estado denso, a menudo son considerados como suelos pobres para cimentar (Crespo Villalaz, 2004, pág. 22).

### 2.8.1 Características de los limos

Suelos de granos fino con 50% o más que pasa el tamiz N°200. Su símbolo de grupo comienza con un prefijo de M, que es sinónimo de limo inorgánico.

Plasticidad: el término limoso se aplica cuando las fracciones finas del suelo tienen un índice de plasticidad de 10 o menos.

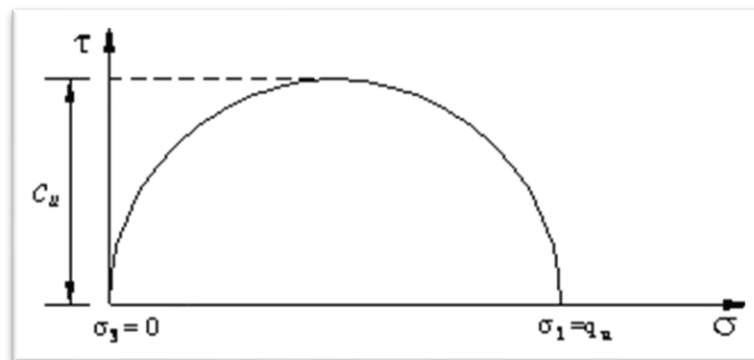
## 2.9 Fundamentación teórica de compresión incofinada

### 2.9.1 Prueba de compresión incofinada

La prueba de compresión no confinada es un tipo especial de prueba no consolidada-no drenada que se utiliza comúnmente para las muestras de arcilla. En esta prueba la presión de confinamiento  $\sigma_3$  es 0. A la muestra se le aplica rápidamente una carga axial para provocar una falla. En ésta, el esfuerzo principal menor total es 0 y el esfuerzo principal mayor total es  $\sigma_1$  ( Braja M, 2014).

La curva mostrada. presentará un valor pico o crítico dependiendo al Tipo de suelo, donde en cualquiera de estos puede considerarse el instante de la falla. A este valor en el momento de la falla se lo denomina esfuerzo de compresión incofinada  $q_u$ , que será el esfuerzo principal mayor de falla  $\sigma_1$ , mientras que el esfuerzo principal menor de falla será cero ya que la probeta no está sometida a un esfuerzo de confinamiento.

**Figura 3.** Prueba de compresión no confinada



**Fuente:** Ingeniería Civil

Dado que la resistencia de corte no drenada es independiente de la presión de confinamiento. Donde  $q_u$  es la resistencia a la compresión no confinada.

$$\tau_f = \frac{\sigma_1}{2} = \frac{q_u}{2} = C_u$$

En la figura se muestra una fotografía del equipo de prueba de compresión no confinada

**Figura 4.** Equipo de prueba de compresión no confinada



**Fuente:** Google

**Tabla 3.** Relación general de consistencia y esfuerzo de compresión no confinada

Consistencia del suelo	Resistencia a la compresión inconfiada	
	Kg/cm <sup>2</sup>	KN/m <sup>2</sup>
Muy blanda	<0,25	0-25
Blanda	0,25-0,50	25-50
Media	0,50-1,00	50-100
Firme	1,00-2,00	100-200
Muy firme	2,00-4,00	200-400
Dura	>4,00	>400

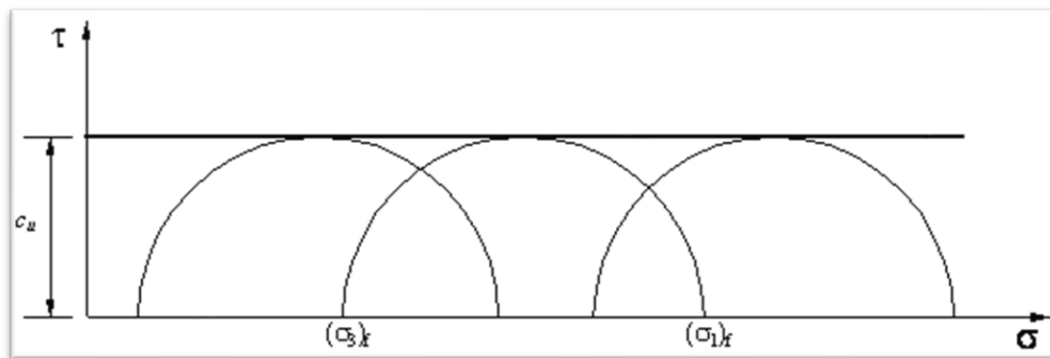
**Fuente:** “Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones”, Braja M Da. Cuarta Edición

### 2.9.2 Prueba no consolidada no drenada

En la prueba no consolidada no drenada, durante la aplicación de presión de la cámara  $\sigma_3$ , no está permitido el drenaje de la muestra de suelo. la muestra de prueba se corta para que falle por la aplicación del esfuerzo desviador  $\Delta\sigma_d$ , sin que le permita el drenaje. Dado que el drenaje no está permitido en ningún momento, la prueba se realizará con mayor rapidez. Debido a la aplicación de la presión de confinamiento de la cámara  $\sigma_3$ , la presión en el agua se incrementará. Habrá un aumento adicional de la presión de agua intersticial, debido a la aplicación del esfuerzo desviador.

En condiciones no drenadas, los suelos saturados presentan un esfuerzo de corte crítico que tiende a mantenerse constante para cualquier valor del esfuerzo normal. Un aumento en el esfuerzo axial ocasiona un aumento semejante en la presión de poros, por lo tanto, el esfuerzo efectivo normal permanece constante. En una serie de ensayos no drenados efectuados bajo esfuerzos desviadores diferentes en probetas saturadas con el mismo suelo, los círculos de esfuerzos de Mohr para la combinación de esfuerzos de falla describirán la envolvente de falla no drenada como se muestra. La intersección de la envolvente con el eje de corte define el valor de la cohesión no drenada del suelo ( $c_u$ ) (Ingeniería civil, 2011)

**Figura 5.** Círculos de Mohr para el esfuerzo total y la envolvente de falla



**Fuente:** Ingeniería Civil

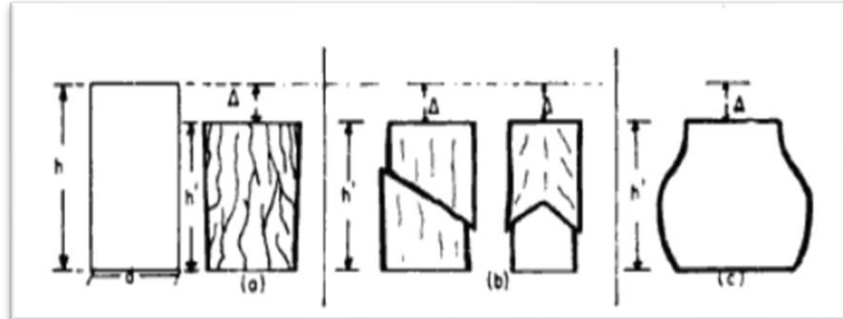
### 2.9.3 Resistencia de los suelos al esfuerzo de corte

Dentro de ciertos límites, los suelos se comportan bajo la acción de las cargas como los materiales elásticos, aunque en algunos casos se producen deformaciones mayores que las normales, teniéndose que recurrir entonces a cálculos que tenga en cuenta la plasticidad del suelo.

Una muestra de suelo sometida a un esfuerzo de corte tiende a producir un desplazamiento de las partículas entre sí o de una parte de la masa del suelo con respecto al resto del mismo.

En el primer caso se dice que hay un disgregamiento de las partículas. En el segundo caso se desliza a lo largo de ciertas líneas de rotura, o si la masa de suelo es plástica se produce lo que se denomina fluencia. Estos movimientos dentro de la masa de suelo tienden a ser contrarrestado por la llamada resistencia al corte del suelo (Crespo Villalaz, 2004, pág. 161)

**Figura 6.** Disgregamiento de partículas, líneas de rotura y fluencia plástica



**Fuente:** “Mecánica de suelos y cimentaciones”, Crespo Villalaz. Quinta Edición

### 2.9.4 Importancia de considerar la resistencia al corte del suelo

La resistencia al esfuerzo cortante, en general es un factor importante para determinar la capacidad máxima de carga de suelos, debido a que los suelos fallan bajo la combinación de esfuerzo normal de compresión y esfuerzo cortante en el plano falla.

Es necesario evaluar el esfuerzo cortante en los suelos por problemas de estabilidad.



## 2.10 Mejoramiento del suelo

### 2.10.1 Estabilización con cemento

El cemento está siendo utilizado cada vez más como un material para la estabilización de suelos, en particular en construcciones de carreteras y presas.

La estabilización es una técnica cuyo fin es modificar sus características mediante la incorporación de un conglomerante (cemento) para permitir su aprovechamiento.

Al igual que en el caso de la cal, el cemento ayuda a disminuir el límite líquido y aumentar el índice de plasticidad y manejabilidad de los suelos limosos. La estabilización con cemento es eficaz para suelos cuando el límite líquido es menor que 45 a 50 y el índice de plasticidad es menor de aproximadamente 25.

Al igual que la cal, el cemento ayuda a aumentar la resistencia de los suelos y aumenta la fuerza con el tiempo de curado

Obviamente, los suelos granulares y los suelos limosos de baja plasticidad son los más adecuados para la estabilización con cemento (Braja M, 2014)

**Tabla 4.** Rangos típicos de resistencia a la compresión no confinada para mezclas de suelo-cemento (10% de cemento por peso)

Suelos	Resistencia a la presión no confinada $q_u$	
	$\frac{Kg}{cm^2}$	$\frac{KN}{m^2}$
Arena	35-11	3500-1100
Grava		
Arena-arcilla bien clasificada		
Grava-arena-arcilla		
Arena limosa	17-35	1700-3500
Arena arcillosa		
Arcilla limosa	7-17	700-1700
Arcilla, suelo orgánico	<3,5-4	<350-400

**Fuente:** “Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones”, Braja M Da. Cuarta Edición

### 2.10.2 Requerimientos de cementos para una estabilización efectiva

Los requisitos óptimos de cemento por volumen para estabilización eficaz de los distintos tipos de suelos en la siguiente tabla (Braja M, 2014)

**Tabla 5.** Requisitos óptimos de cemento por volumen para estabilización eficaz de los distintos tipos de suelo.

Suelo bajo el sistema unificado de clasificación	Porcentaje de cemento por volumen
GP, SP, SW	6-10
CL, ML, MH	8-12
CL, CH	10-14

**Fuente:** “Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones”, Braja M Da. Cuarta Edición

### 2.10.3 Diseño mezcla- cemento

Para proceder al diseño de mezcla de suelo-cemento es preciso preparar el suelo de forma tal que cuando se añada el cemento y el agua se logre una mezcla homogénea. Esto se obtiene distribuyendo el suelo en una plataforma plana para que el agua natural que contiene se vaya perdiendo y permita la destrucción de los grumos con una maceta de madera dura. Paulatinamente el suelo irá adquiriendo una coloración pareja. Si el suelo contiene la necesaria fracción fina este paso se logra con relativa rapidez (uno a dos días). La mezcla de suelo-cemento se comportará de forma similar al suelo natural que la compone, queriendo decir, que alcanzará su densidad máxima al ser compactado, cuando el mismo alcance el contenido de humedad equivalente a la humedad óptima, ambos determinados en el ensayo Proctor.

La humedad que tendrá el suelo al ser secado al aire será la llamada humedad higroscópica. Esta humedad tiene que tomarse en cuenta cuando se determine, sea por peso o por volumen, la cantidad de agua a añadir para obtener la humedad óptima (Corral, 2008)

#### **2.10.4 Contribución a la sostenibilidad**

El aprovechamiento de los suelos existentes mediante la estabilización, incluso en el caso de suelos marginales o contaminados, evita la reducción de los recursos naturales disponibles al disminuir el empleo de suelos de mejor calidad.

Por otra parte, se suprimen las operaciones de remoción de los suelos existentes y su transporte a vertederos, así como la extracción y transporte a obra de los suelos que los sustituyen.

Se trata de una técnica enfocada claramente a lograr una mayor sostenibilidad, a cuyas ventajas medioambientales y técnicas, se suman importantes beneficios económicos.

##### **Ventajas medio ambientales**

- El empleo de suelos de la traza evita explorar nuevos yacimientos y disminuye la necesidad de vertederos
- La eliminación del transporte de los suelos disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes y reduce el daño que genera los combustibles y aceites, así como los impactos colaterales (polvo, erosión y otros) que provoca sobre la carretera y flora adyacente.

##### **Ventajas técnicas**

- Permite el empleo de los suelos de la traza, mejorando sus características hasta el grado deseado.
- Proporciona una elevada capacidad de soporte a la explanada, disminuyendo las tensiones que llegan a las capas del firme, con lo que aumenta la vida de servicio del mismo
- Asegura la estabilidad de los suelos, tanto por la reducción de su sensibilidad al agua y a la helada, como por el incremento de su resistencia a la erosión.
- Puede permitir en ciertos casos el paso inmediato del tráfico de obra.

- Se disminuyen la molestia por el tráfico de obra y los daños a la red de carretera adyacente debido a que se evita transportar los suelos a vertederos y aportar otros nuevos

### **Ventajas económicas**

- El empleo de los suelos de la traza y la eliminación del transporte supone una reducción importante de costos
- La obtención de cimientos de mayor calidad permite una economía en los firmes y en el volumen total de los áridos empleados en los mismos.
- Las ventajas técnicas ambientales también se traducen en beneficios económicos (Issuu, 2011)

#### **2.11 Probetas compactadas**

También puede compactarse una muestra en un molde a una humedad y peso unitario prefijado. Después que la probeta se haya formado, se le cortan extremos perpendiculares al eje longitudinal, se extrae del molde y se determinan su peso y dimensiones. La experiencia indica que es difícil manejar, compactar y obtener resultados válidos con probetas que tienen un grado de humedad superior al 90 % de la saturación de la muestra de suelo (Issuu, 2011).

#### **2.12 Curado**

El curado permite mantener un grado suficiente de humedad interna durante un lapso adecuado como para permitir la hidratación del suelo estabilizado y en consecuencia el desarrollo de las propiedades hidráulicas de la pasta de cemento.

Para efectuar el curado existen dos procedimientos principales, que consiste respectivamente en mantener alrededor de la probeta un ambiente húmedo o bien impedir que escape hacia la atmosfera la humedad interna (Cerruto, 2005).

##### **2.12.1 Efecto del tiempo de curado**

El principal indicador de la calidad de un suelo estabilizado, es la resistencia a la compresión, y este llega a ser afectado cuando no se realiza acciones de curado correcta en relación a su tiempo, cuando sucede esto resulta que esta resistencia es

significativamente inferior a la que alcanza cuando el suelo mejorado se mantiene húmedo por algún tiempo. El tiempo de curado tiene una gran incidencia en el desarrollo de la resistencia a la compresión inconfiada, pues desde los primeros momentos del inicio del proceso de hidratación del cemento comienza a generarse la cementación, posteriormente transcurridas unas semanas o incluso meses, dependiendo de la disponibilidad de agua y el tipo de suelo, las reacciones puzolánicas pueden conducir a aumentos en la resistencia (Uddin et al., 1997). La tasa de aumento de la resistencia al corte debido al tiempo de curado varía según el contenido de cemento, la Figura 1-7 muestra algunos ensayos de compresión inconfiada realizados por Endo (1976) en la arcilla de Tokio tratada con cemento en porcentajes que varían entre 5 y 20. Se observa la evolución de la resistencia con el tiempo, donde el suelo con bajo contenido de cemento estabiliza su resistencia en periodos de tiempo más cortos, pues las reacciones puzolánicas son menores comparadas con las del suelo con mayor cemento disponible (Basto, 2022).

#### **2.12.2 Métodos de curado**

- **Bajo el agua:** Consiste en la disposición de piscinas o pozas.
- **Riego continuo:** Se emplea aspersores que funcionan en forma permanente, humedeciendo todas las zonas expuestas a su radio de acción. Es también un excelente sistema, pero posee el inconveniente de dificultar el tránsito en los sectores bajo riego.
- **Riego periódico:** En este sistema el riego es aplicado a intervalos, cuando se observa que empieza a secarse superficialmente. Este procedimiento convenientemente aplicado, conduce a buenos resultados, pero tiene el inconveniente de quedar sujeto a criterio.

#### **2.12.3 Curado de probetas de suelo cemento según la ASTM D1632**

Debe realizarse el curado de las probetas dentro de los moldes en la cámara húmeda, por 12 horas o más si es necesario, para permitir la utilización del extractor de las probetas compactadas. Devuélvanse las probetas luego de extraídas, a la cámara húmeda y evítese que goteen durante el tiempo de curado. Generalmente las probetas son ensayadas a compresión en condición húmeda, inmediatamente después de ser removidas de la cámara.

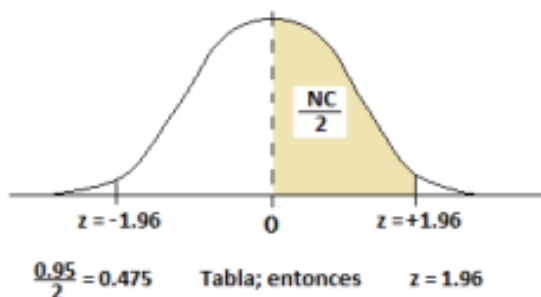
Otros procedimientos de acondicionamiento en este punto de la preparación, como operaciones de remojo, secado al aire o al horno, humedecimiento y secado alternado, etc., pueden ser especificados después del curado inicial de la mezcla (Administradora de carretera, 2018):

### 2.13 Nivel de confianza

El nivel de confianza es una probabilidad de que el valor medido se encuentre dentro de un intervalo de confianza, se lo expresa en porcentaje. El nivel de confianza debe ser introducido en la curva de distribución normal de acuerdo a los siguientes pasos.

$Z$  = Variable estandarizada, que mide la dispersión entre la desviación estándar y la media. El valor de “ $Z$ ” representa la mitad de la probabilidad estimada, por lo tanto, se tiene que ingresar a la tabla de distribución normal con la siguiente expresión

**Figura 7.** Curva de distribución normal



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 6.** Valores de  $z$  muy usados para la investigación

Nivel de confianza NC (%)	Variable Z
90	1,64
95	1,96
97	2,17
98	2,33
99	2,58

**Fuente:** Elaboración propia

## 2.14 Varianza

Algunas veces no existe el valor de la varianza que se debe utilizar, se recurre a tres formas de estimarlo.

- Si existe información relacionada, que permite estimar las medidas y las desviaciones.
- Realizando una prueba piloto de recopilación de información, esto permite calcular una varianza de forma rápida.
- En el tercer caso, y muy utilizado en la investigación, es brindar un valor conservador de la varianza

**Tabla 7.** Varianza

$\sigma^2 = 0,25$ ; investigación que requieran mayor cantidad de tiempo y muestra.
$\sigma^2 = 0,15$ ; investigación que requieran en promedio 6 meses de tiempo.
$\sigma^2 = 0,10$ ; investigación que requieran entre 4-6 meses de tiempo.

**Fuente:** Elaboración propia

## 2.15 Marco referencial

- Manuales técnicos para el diseño de carreteras.
- Análisis de resistencia a la compresión confinada y durabilidad de un suelo arcilloso estabilizado con cal adicionando fibras de material no biodegradable, polietileno de alta densidad poli sombra reciclada.

## 2.16 Marco normativo

- Conservación y transporte de muestras de suelos (ASTM D4220)
- Determinación en laboratorio del contenido de humedad del suelo (ASTM D2216)
- Análisis granulométrico por tamizado (ASTM D422 - AASHTO T88)
- Calibración de frasco volumétricos (ASTM D854 - AASHTO T100)
- Determinación del peso específico de los suelos (ASTM D854 - AASHTO T100)
- Análisis granulométrico por medio del hidrómetro (ASTM D422)

- Determinación del límite líquido de los suelos (ASTM D4318 - AASHTO T89)
- Determinación del límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318 - AASHTO T90)
- Clasificación de suelos (ASTM D2487 - AASHTO M145)
- Ensayo de compactación de suelo T-99 Proctor estándar
- Preparación en el laboratorio de probetas de suelo cemento (ASTM D1632)
- Curado de probetas de suelo cemento según la (ASTM D1632).
- Compresión Inconfinada en muestras de suelos (ASTM D2126 - AASHTO T208)  
(Norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)  
(Norma ASTM (American Society for Testing and Materials))

## **2.17 Análisis y posición del investigador**

### **Estabilización con cemento**

Según el libro Fundamento de Ingeniería Geotécnica Braja M. Das, establece un porcentaje hasta un 10% de cemento por peso de suelo, por lo que, si el porcentaje de cemento no es el adecuado o varía según esta especificación, podría afectar a la probeta al efectuar el curado de diferentes formas, si se pone un porcentaje mayor de cemento puede provocar fallas en la mezcla como fisuraciones, por lo que requiere mayor hidratación. Al mismo tiempo si se añade menor porcentaje de cemento requiere menor hidratación llegando a afectar directamente al tiempo de curado.

### **Resistencia a la compresión confinada**

La resistencia de un suelo mejorado, es afectado directamente cuando varía el tiempo de curado, si el estrato de suelo es curado en tiempos más prolongados, la resistencia será mucho mayor a diferencia que cuando se realiza con curados en menor tiempo la resistencia será inferior. Esta resistencia se determina con el ensayo de compresión confinada que consiste en medir la deformación y poder registrar la fuerza que produce esta falla.



## **Tipos de curados**

Está relacionado con las diversas formas de curar el suelo estabilizado, ya sea bajo el agua, riego continuo o riego periódico, dependiendo del tipo de curado se va determinar distintos intervalos de curado, debido a que no todos los métodos tienden a curar de la misma manera y por tanto puede provocar ciertas fallas.

CAPÍTULO III  
CRITERIOS DE  
RELEVAMIENTO DE LA  
INFORMACIÓN

## CAPÍTULO III

### CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

#### 3.1 Criterios metodológicos

##### 3.1.1 Unidad de muestreo

Se tomará como unidad de estudio o muestreo ensayos de laboratorio de suelos que serán necesarios para la elaboración del proyecto como ser:

##### 3.1.2 Población y muestra

**Unidad de muestra:** un ensayo de laboratorio de suelo.

**Población infinita:** todos los ensayos de laboratorio de suelos.

**Muestra:** los ensayos relacionados a la compresión inconfiada.

##### 3.1.3 Selección de la técnica de muestreo

Para el presente proyecto, el método, para determinar el tamaño de muestra, será un método probabilístico: El muestreo estratificado.

El muestreo estratificado consiste en dividir el proyecto en partes o sub estratos, en nuestro caso son los diferentes tipos de ensayos que se realizara para llegar a nuestro objetivo.

##### 3.1.4 Tamaño de la muestra

**Datos para el cálculo del tamaño de la muestra**

**Tabla 8.** Valores de z muy usados para la investigación

Nivel de confianza NC (%)	Variable Z
90	1,64
95	1,96
97	2,17
98	2,33
99	2,58

**Fuente:** Elaboración propia

- La población es finita N= 109 ensayos.

- Una investigación es exigente y por lo menos se tiene que establecer como nivel de confianza NC=95%, de acuerdo a ello la variable estandarizada es  $z=1,96$
- El margen de error es:  $e=0,05\%$
- Se asume una varianza de  $\sigma^2 = 0,10$

$$n = \frac{\sum N * \sigma^2}{N\left(\frac{e}{z}\right)^2 + \frac{\sum N * \sigma^2}{N}}$$

$$n = \frac{10,9}{109\left(\frac{0,05}{1,96}\right)^2 + \frac{10,9}{109}}$$

$$n = 6$$

**Tabla 9.** Tamaño de la muestra

Nombre de los ensayos	Ni	$\sigma^2$	$Ni\sigma^2$	$\phi$	$n_i$
Contenido de humedad	4	0,1	0,4	0,038	2
Análisis granulométrico por tamizado	5	0,1	0,5	0,048	3
Calibración de frascos volumétricos	4	0,1	0,2	0,018	1
Determinación del peso específico de los suelos	3	0,1	0,3	0,028	2
Análisis granulométrico por hidrómetro	5	0,1	0,5	0,048	3
Límites de Atterberg	17	0,1	1,7	0,163	10
Compactación del suelo	17	0,1	1,7	0,163	10
Compresión inconfiada	51	0,1	5,1	0,490	30
TOTAL	109		10,9		61

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2 Tipos de suelo a ser sujetos a estudio (limo)

Por motivos de extensión de la variable independiente de los diferentes porcentajes de cemento de estabilización y los periodos de curado se hará el estudio de un solo tipo de limo.

**Tabla 10.** Tipo de suelo a usar

N°	Tipo de limo
1	ML A-4(8)

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3 Porcentaje de cemento

En la presente investigación se usará diferentes porcentajes de cemento, con la finalidad de poder apreciar la variación de la resistencia al corte del suelo.

**Tabla 11.** Porcentaje de cemento

N°	% de cemento
1	5%
2	6%
3	7%
4	8%
5	9%

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.4 Ubicación del proyecto

El departamento de Tarija se ubica en el extremo Sur Este del país. Tarija política y administrativamente se divide en seis provincias (Cercado, Arce, O'Connor, Gran Chaco, Avilez y Méndez); tiene una extensión territorial de 37.623 km<sup>2</sup> y limita al norte con el departamento de Chuquisaca, al Sur con la República de la Argentina, al Este con la República del Paraguay y al Oeste con los departamentos de Chuquisaca y Potosí.

**Figura 8.** Localización del proyecto ámbito nacional



**Fuente:** Google imágenes

**Figura 9.** Localización del proyecto ámbito departamental



**Fuente:** Google imágenes

### 3.5 Reconocimiento del sitio de aplicación

En primera instancia se localizó el lugar donde se va a extraer la muestra que cuente con las características requeridas. Esta muestra nos sirve para realizar los ensayos de caracterización física del suelo, también se debe tomar en cuenta algunos aspectos importantes, como la accesibilidad a la zona de extracción. en este caso las muestras son pertenecientes a dos zonas de la ciudad de Tarija.

- Zona Miraflores
- Zona Los Chapacos

### 3.6 Método de muestreo

El método que se tomó en cuenta para la siguiente investigación es el muestreo no probabilístico por conveniencia, el cual consiste en seleccionar los elementos por juicio de valor subjetivos y no al azar. En este caso se debe tener conocimiento de los elementos de la población y decidir cuales pueden tener mejor información y seleccionarlos según su conveniencia.

### 3.7 Ubicación de las muestras

#### 3.7.1 Ubicación del barrio Miraflores

Miraflores se encuentra situada en el departamento de Tarija, se encuentra situada cerca del Tejar y German Busch. Los puntos de estudios pertenecientes a la zona fueron ubicados con la aplicación de Google Earth.

- Muestra M-1: la muestra se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas  
Zona 20K  
Este: 321385 m E  
Norte: 7615637 m S  
Altitud: 1847 msnm

**Figura 10.** Ubicación de la muestra M-1



**Fuente:** Elaboración propia

- Muestra M-2: la muestra se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas.  
Zona 20K  
Este: 321428 m E  
Norte: 7615793 m S  
Altitud: 1848 msnm

**Figura 11.** Ubicación de la muestra M-2



**Fuente:** Elaboración propia

- Muestra M-3: la muestra se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas  
Zona 20K  
Este: 3214280 m E  
Norte: 7615793 m S  
Altitud: 1848 msnm

**Figura 12.** Ubicación de la muestra M-3



**Fuente:** Elaboración propia



- Muestra M-4: la muestra se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas  
Zona 20K  
Este: 320638 m E  
Norte: 7615496 m S  
Altitud: 1849 msnm.

**Figura 13.** Ubicación de la muestra M-4



**Fuente:** Elaboración propia

- Muestra M-5: la muestra se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas  
Zona 20K  
Este: 320638 m E  
Norte: 7615496 m S  
Altitud: 1849 msnm.

**Figura 14.** Ubicación de la muestra M-5



**Fuente:** Elaboración propia

### 3.7.2 Ubicación del barrio Los Chapacos

El barrio Los Chapacos se encuentra situado en el departamento de Tarija. Los puntos de estudios pertenecientes a la zona fueron ubicados con la aplicación de Google Earth.

- Muestra B-1: la muestra se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas  
Zona 20K  
Este: 319720.00 m E  
Norte: 7620741.00 m S  
Altitud: 1915 msnm.

**Figura 15.** Ubicación de la muestra B-1



**Fuente:** Elaboración propia

- Muestra B-2: la muestra se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas  
Zona 20K  
Este: 319816.00 m E  
Norte: 7620712.00 m S  
Altitud: 1905 msnm.

**Figura 16.** Ubicación de la muestra B-2



**Fuente:** Elaboración propia

- Muestra B-3: la muestra se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas  
Zona 20K  
Este: 319816.00 m E  
Norte: 7620712.00 m S  
Altitud: 1905 msnm.

**Figura 17.** Ubicación de la muestra B-3



**Fuente:** Elaboración propia

### **3.8 Obtención de las muestras**

Se realizó una extracción representativa para poder determinar de una forma efectiva las propiedades de los suelos en estudio.

Para la extracción del material se utilizó una pala, picota, bolsas de yute y de plástico. Se quitó el material seco y suelto de la superficie para obtener un material fresco, se excavó de una manera uniforme desde la parte superior hasta el fondo, por último, se depositó el material en las bolsas para posteriormente etiquetarlas y llevarlas al laboratorio de suelos.

### **3.9 Caracterización del suelo natural**

Se refiere a los ensayos físicos- mecánicos para la caracterización del suelo sin tratar, es decir el suelo sin material estabilizante.

A partir de las muestras extraídas se realizaron los diferentes ensayos de laboratorio, cuya relación nominal es la siguiente:

- Contenido de humedad natural según (ASTM D2216)
- Análisis granulométrico según (ASTM 422 - AASHTO T88)
- Límites de consistencia:

- Límite líquido según (ASTM D4318)
- Límite plástico según (ASTM D4318)
- Índice de plasticidad
- Clasificación unificada de suelos (S.U.C.S) ASTM D2487
- Clasificación AASHTO M145

### 3.9.1 Contenido de humedad (ASTM D2216)

Se tomó una muestra representativa de suelo, de acuerdo al tamaño máximo de las partículas, luego se colocó la muestra en un recipiente previamente pesado, después se procedió a pesar la muestra húmeda más recipiente obteniendo así el peso del material más el recipiente. Posteriormente se colocó el conjunto dentro del horno durante 24 horas a una temperatura de 110° C. transcurrido el tiempo se sacó el material del horno y se pesó nuevamente, obteniendo así el peso seco del material más el recipiente.

**Figura 18.** Contenido de humedad



Pesando la tara con muestra de suelo



Colocando varias taras en una fuente



Llevando las taras al horno por 24 hora, para luego pesar nuevamente

**Fuente:** Elaboración propia

$$W = \frac{Pa}{Pss} * 100 (\%)$$

Donde:

W = Contenido de humedad (%)

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

Pss = Peso del suelo después de secar al horno (gr)

### 3.9.2 Análisis granulométrico por tamizado (ASTM 422 - AASHTO T88)

Para este ensayo se utilizó los siguientes tamices: N° 4, N° 10, N°40 Y N° 200. Se pesó 1000 gr de muestra que pase el tamiz N° 10 y se dejó reposar por un periodo de tiempo de 24 horas, pasado ese tiempo se procedido a realizar la granulometría por el método del lavado, el cual consiste en introducir la muestra en la malla N° 200, luego con ayuda del agua se lavó el suelo, hasta que el agua presente aspectos claros y sin sedimentación. El material que se retuvo en la malla N°200, se dispuso dentro de un recipiente para realizar el secado del suelo y luego proceder a tamizar por las mallas N°10, N°40, N°100 y N°200.

**Figura 19.** Granulometría por método de lavado



Lavando el suelo en el tamiz  
N° 200



Se secó el suelo y se tamizó en  
la malla N°10, 40,100 y 200



Pesando las muestras  
retenidas en los tamices

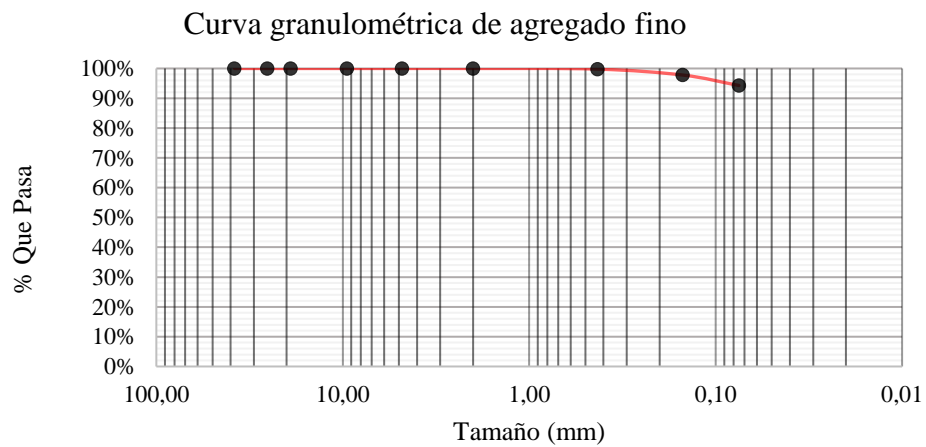
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 12.** Ensayo granulométrico suelo M-1

Peso Total (gr.)		1000			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum.	% Ret.	% que pasa del total
1 1/2	38,10	0,00	0,00	0,00%	100,00%
1	25,40	0,00	0,00	0,00%	100,00%
3/4	19,05	0,00	0,00	0,00%	100,00%
3/8	9,50	0,00	0,00	0,00%	100,00%
N°4	4,80	0,00	0,00	0,00%	100,00%
N°10	2,00	0,00	0,00	0,00%	100,00%
N°40	0,43	2,10	2,10	0,21%	99,79%
N°100	0,15	20,00	22,10	2,21%	97,79%
N°200	0,075	35,00	57,10	5,71%	94,29%
Base		0,00			

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 20.** Granulometría de agregado fino



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 13.** Resumen de los ensayos de granulometría zona Miraflores

Zona Miraflores						
Tamices	tamaño (mm)	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
		% que pasa del total	% que pasa del total	% que pasa del total	% que pasa del total	% que pasa del total
1 1/2	38,10	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
1	25,40	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
3/4	19,05	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
3/8	9,50	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
N°4	4,80	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
N°10	2,00	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
N°40	0,43	99,79%	98,82%	99,54%	99,96%	99,88%
N°100	0,15	97,79%	96,93%	97,87%	98,91%	98,73%
N°200	0,075	94,29%	93,95%	92,31%	97,40%	96,23%

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 14.** Resumen de los ensayos de granulometría zona Los Chapacos

Zona Los Chapacos				
Tamices	Tamaño (mm)	B-1	B-2	B-3
		% que pasa del total	% que pasa del total	% que pasa del total
1 1/2	38,10	100,00%	100,00%	100,00%
1	25,40	100,00%	100,00%	100,00%
3/4	19,05	100,00%	100,00%	100,00%
3/8	9,50	100,00%	100,00%	100,00%
N°4	4,80	100,00%	100,00%	100,00%
N°10	2,00	100,00%	100,00%	100,00%
N°40	0,43	99,79%	98,95%	99,87%
N°100	0,15	97,93%	96,09%	98,50%
N°200	0,075	94,35%	91,51%	95,35%

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.9.3 Determinación de la consistencia del suelo

#### Determinación del límite líquido (ASTM D4318 - AASHTO T89)

Se tamizó una muestra que pase la malla N° 40, se la depositó dentro de un recipiente y se le agregó agua, para que con la ayuda de una espátula se realice una homogenización de la humedad con el suelo, hasta que la muestra haya adoptado la forma de una pasta de consistencia suave. Luego se ubicó el aparato de Casagrande en una superficie plana y



segura, limpia y se procedió a calibrar la altura de caída de la copa. Se pesó 5 cápsulas vacías y se las identificó. Posteriormente con la ayuda de la espátula se puso la muestra de manera horizontal sobre la copa de Casagrande, se sujetó con una mano la copa y se realizó la ranura de manera firme en una sola pasada. Inmediatamente realizada la ranura se acciono la copa de Casagrande, al ritmo de dos golpes por segundo hasta que se produzca una unión de aproximadamente 1,27 cm. Por último, se hizo dos cortes a la muestra perpendicular a la ranura, se extrajo una porción del suelo y se las depositó en las cápsulas y se introdujo las muestras húmedas al horno por 24 hora y luego se extrajo y se pesaron la muestra seca (Soto Salgado , 2015).

**Figura 21.** Límite líquido



Preparando y pesando la muestra de suelo para el ensayo



Procediendo al colocado de la muestra en el equipo de Casagrande



Realizando la ranura y accionando la copa de Casagrande



Extrayendo una porción de suelo, pesando y llevando al horno por 24h

**Fuente:** Elaboración propia



## Determinación del límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318 - AASHTO T 90)

Primeramente, se preparó una muestra con agua, se mezcló hasta notar una consistencia homogénea. Se dispuso el vidrio sobre una superficie plana y limpia. Se agarró una porción de material y se hizo una pelotita, para luego con la ayuda del vidrio reloj se efectuó rollitos de 3mm hasta que se observó pequeñas fisuras. Por último, se cortó la parte fisurada en trozos con la ayuda de una espátula y se colocó en sus respectivas taras. Se hizo entre 3 a 5 pruebas donde se extrajo de cada prueba unas tres muestras de rollito para pesarlo y llevarlo al horno para el secado y determinar la humedad.

**Figura 22. Límite Plástico**



Realizando el amasado del suelo hasta formar rollitos de 3 mm



Presencia de agrietamientos o rajaduras en el rollito



Pesando la tara con los rollitos que se encuentran en el límite plástico



Muestras listas para ser llevadas al horno para su secado y luego proceder a su pesar nuevamente

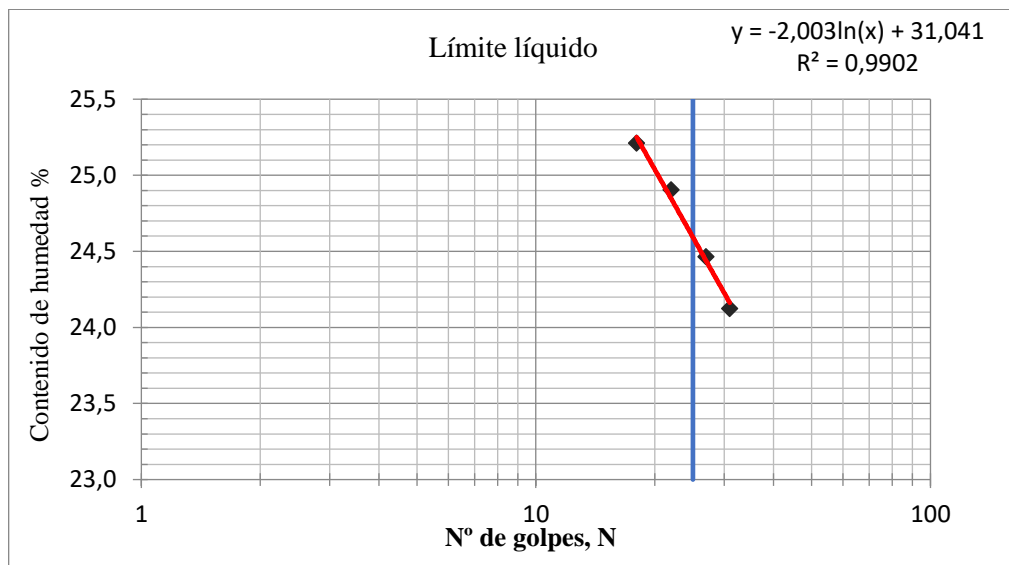
**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 15. Límite líquido M-1**

Cápsula N.º	1	2	3	4
N.º de golpes	18	22	27	31
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	48,30	49,40	46,70	46,70
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	42,30	43,00	41,00	41,20
Peso del agua (gr)	6,00	6,40	5,70	5,50
Peso de la Cápsula (gr)	18,50	17,30	17,70	18,40
Peso Suelo seco (gr)	23,80	25,70	23,30	22,80
Contenido de humedad (%)	25,21	24,90	24,46	24,12

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 23. Límite líquido**



**Fuente:** Elaboración propia

LL	=	24,64
----	---	-------

**Tabla 16. Límite plástico M-1**

Cápsula N.º	5	6	7
Peso de suelo húmedo + Cápsula (gr)	18,00	18,60	18,00
Peso de suelo seco + Cápsula (gr)	17,20	17,80	17,10
Peso de cápsula (gr)	12,80	13,30	12,10
Peso de suelo seco (gr)	4,40	4,50	5,00
Peso del agua (gr)	0,80	0,80	0,90
Contenido de humedad (%)	18,18	17,78	18,00

**Fuente:** Elaboración propia

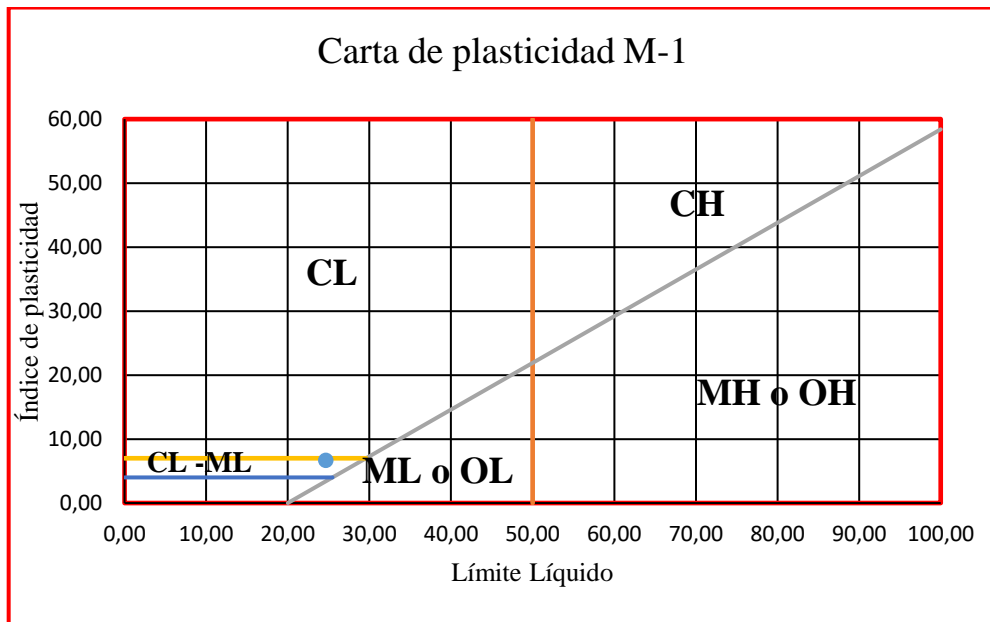
LP	=	17,99
----	---	-------

$$IP = LL - LP$$

$$IP = 24,64 - 17,99$$

$$IP = 6,65$$

**Figura 24.** Carta de plasticidad



**Fuente:** Elaboración propia

Clasificación de suelo		Descripción
SUCS:	CL-ML	Arcilla limosa inorgánica de baja plasticidad.
AASHTO:	A-4(8)	

**Tabla 17.** Resumen de los ensayos de límites de consistencia zona Miraflores

Zona Miraflores					
Límites de consistencia	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
Límite líquido	25	22	29	37	37
Límite plástico	18	16	24	22	24
Índice de plasticidad	7	6	5	15	13

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 18.** Resumen de los ensayos de límites de consistencia zona Los Chapacos

Zona Los chapacos			
Límites de consistencia	B-1	B-2	B-3
Límite líquido	27	23	23
Límite plástico	21	17	12
Índice de plasticidad	6	6	11

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.9.4 Resultados de los ensayos de caracterización física del suelo natural perteneciente al barrio Miraflores

**Tabla 19.** Resultados de los ensayos de caracterización física de suelo natural perteneciente al barrio Miraflores

Muestra	Clasificación de suelo		Porcentaje que pasa el tamiz				W%	Límites		
	SUSC ASTM-2487	AASHTO M 145	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200		LL	LP	IP
M-1	CL-ML	A-4(10)	100	100	99,79	94,29	8,87	25	18	7
M-2	CL-ML	A-4(8)	100	100	98,82	93,95	13	22	16	6
M-3	ML	A-4(8)	100	100	99,54	92,31	10,69	29	24	5
M-4	CL	A-6(11)	100	100	99,96	97,40	10,69	37	22	15
M-5	CL	A-6(10)	100	100	99,88	96,23	9,20	37	24	13

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.9.5 Resultados de los ensayos de caracterización física del suelo natural perteneciente al barrio Los Chapacos

**Tabla 20.** Resultados de los ensayos de caracterización física de suelo natural perteneciente al barrio Los Chapacos

Muestra	Clasificación de suelo		Porcentaje que pasa el tamiz				W%	Límites		
	SUSC ASTM-2487	AASHTO M 145	N°4	N°10	N°40	N°200		LL	LP	IP
B-1	CL-ML	A-4(8)	100	100	99,77	94,35	8,87	27	21	6
B-2	CL-ML	A-4(8)	100	100	98,95	91,51	8,87	23	17	6
B-3	CL	A-6 (9)	100	100	99,87	95,35	16,89	23	12	11

**Fuente:** Elaboración propia

Según los datos obtenidos en la caracterización física se observa que el suelo que cumple con los requisitos que se enunciaron al principio de este trabajo, donde se indica que dicho trabajo se lo realizará en un suelo que sea ML según la clasificación SUCS o un A-4 según clasificación AASHTO, es la extraída de la zona de Miraflores, por tal motivo los siguientes ensayos se los realizará en este suelo, dejando de lado las demás muestras.

Una vez determinado la característica del suelo natural a utilizar, se procedió a desarrollar el estudio del suelo con el que se va trabajar, para eso previamente se realizó los siguientes ensayos correspondientes a.

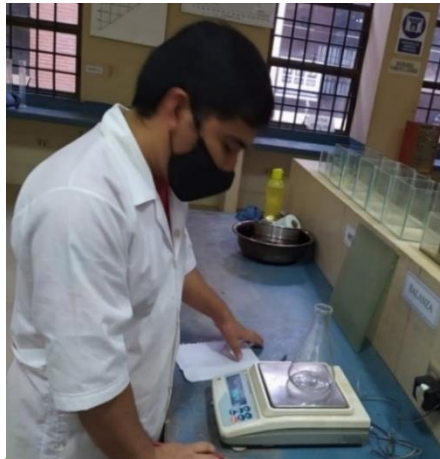
- calibración de frasco volumétrico (ASTM D854 - AASHTO T100)
- peso Específico (ASTM D854 - AASHTO T100)
- Granulometría por Hidrómetro (ASTM D422)

### 3.9.6 Calibración de frasco volumétrico (ASTM D854 - AASHTO T100)

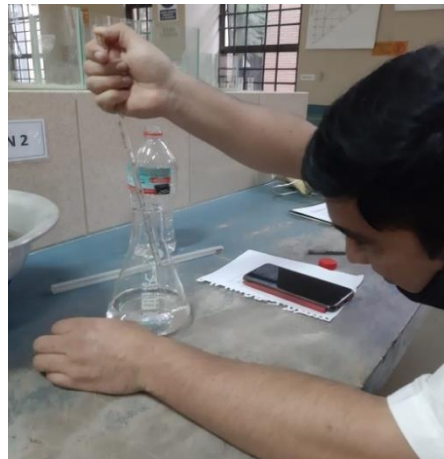
Para el ensayo primeramente se enjuagó el frasco con agua jabonosa para eliminar grasa adherida en el interior. Se determinó el peso del matraz seco y limpio. A continuación, se llenó el frasco con agua destilada hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de calibración del 50% de su capacidad, luego se introdujo el frasco en un baño maría caliente y sometió al incremento de calor. El baño maría se aplicó hasta que la

temperatura en el centro del frasco estuvo alrededor de unos 60°C. se sacó el frasco de baño maría y se complementó con agua a temperatura ambiente hasta 5mm antes de la marca de enrase para poder llenarlo con la pipeta hasta el 100% de su capacidad. Se pesó el frasco con el agua hasta el enrase y registro esos datos. Luego se introdujo hielo con la finalidad de hacer bajar la temperatura del agua. Por último, se realizó cinco pesadas del frasco a cinco diferentes temperaturas, el rango de temperaturas leídas tiene que ser entre 30° a 15 °C.

**Figura 25.** Calibración de frasco volumétrico



Frasco limpio, seco y realizando el pesado del



Frasco con agua destilada al 50 % de su capacidad



Frasco en baño maría y luego se completó con agua a temperatura ambiente



Realizando las cinco mediciones mientras disminuye la temperatura

**Fuente:** Elaboración propia

Una vez concluido el ensayo de calibración de frasco, se procedió a utilizar los datos obtenidos para el siguiente ensayo de peso específico del suelo.

### 3.9.7 Peso específico (ASTM D854 - AASHTO T100)

Para la determinación del peso específico del suelo, primeramente, se pesó 80 gr de suelo húmedo y se colocó en un plato, posteriormente se añadió agua y se mezcló hasta formar una pasta suave. Luego se introdujo la pasta con mucho cuidado en un frasco previamente calibrado y se llenó con agua hasta el 50% de su capacidad. Se extrajo el aire atrapado dentro del suelo realizando un movimiento en el frasco con mucho cuidado. Inmediatamente se sometió el frasco de agua con suelo a efectos de temperaturas dentro de baño maría, hasta que alcanzó una temperatura de 60 °C en el centro del frasco, luego se llenó el frasco a temperatura ambiente hasta que la parte inferior del menisco coincidió con la marca de enrase. se procedió a pesar el frasco y medir la temperatura en el centro del frasco volumétrico. Por último, se sometió a un enfriamiento del frasco y se repitió el procedimiento a diferentes temperaturas en rango de 30 a 15 °C.

**Figura 26.** Peso específico del suelo



Realizando una pasta suave con agua y 80 gr de suelo



Introduciendo la pasta al frasco volumétrico previamente





Sometiendo al frasco con el suelo a baño maría hasta los 60° C



Reduciendo la temperatura con hielo, y registrando mediciones

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 21.** Peso específico del suelo

Zona	Muestra	Peso específico del suelo
Miraflores	M-3	2,71

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.9.8 Ensayos de granulométrica por hidrómetro (ASTM D422)

Se preparó 125 ml de solución agua con defloculante se colocó en un recipiente y se mezcló. se dejó reposar por un periodo de 24 hora, luego se transfirió a un vaso donde se pudo batir el material durante 5 minutos. Posteriormente se depositó el contenido del vaso a una probeta graduada y se aumentó agua hasta que llegó a los 1000ml. La probeta de ensayo se tapó con un tapón (utilizar la palma de la mano), para así evitar que se tenga pérdida de material durante la agitación, dado que la agitación tiene que ser alrededor de 1 minuto. Luego de transcurrido el tiempo se colocó la probeta sobre la mesa, se introdujo el hidrómetro y se tomó lecturas en intervalos de tiempo.

Se colocó el hidrómetro y termómetro en un recipiente de control el cual se encontraba a una temperatura que no varió en más de 1 °C del suelo y se tomó corrección de menisco en el hidrómetro. Luego se introdujo nuevamente el hidrómetro a la probeta de ensayo y se lectura nuevamente por un periodo de tiempo.



**Figura 27.** Granulometría por hidrómetro



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 22.** Granulometría por hidrómetro del suelo

Hidrómetro			
	Ensayo	% Arcilla	% Limo
Suelo M-3	1	15,91	65,30
	2	8,25	76,90

**Fuente:** Elaboración propia

### **3.10 Mejoramiento del suelo con cemento**

Una vez concluido los ensayos de caracterización física del suelo se continuó con el estudio del mejoramiento de suelo con adición de cemento, donde se realizó la repetibilidad de ensayos para poder ver el comportamiento más preciso del suelo. los ensayos realizados fueron límites de consistencia y su respectiva clasificación, compactación Proctor estándar y compresión inconfiada.

En el análisis a la compresión inconfiada el suelo fue sometido a 5 porcentaje de cemento, los cuales 5%,6%,7%,8% y 9% y ver su influencia en la compresión inconfiada según los tiempos de curado de 7, 14 y 28 días.

### 3.10.1 Ensayo de compactación de suelo T-99 Proctor estándar

Primeramente, se secó la muestra suelo en el horno a una temperatura menor que 60°C, hasta que se volvió desmenuzable. Luego se disgregó los terrones evitando reducir el tamaño natural de las partículas. Se procedió a pasar por el tamiz N° 4 y se desechó lo retenido en el tamiz.

Luego se dividió el material en partes iguales de 2500 gramos cada uno, se depositó en fuentes ya que a cada uno se le agregó agua en diferentes porciones. Posteriormente se pesó el molde con la base, sin collarín y se determinó su volumen. Una vez calculado los porcentajes requeridos de humedad se procedió a incrementar tales cantidades de agua al suelo mezclado y homogeneizando la muestra. Luego se introdujo el suelo al molde compuesto con su extensión y collarín en 3 partes iguales compactando cada capa a 25 golpes. Una vez completada la compactación se retiró el collarín y se enrasó con la ayuda de una regla metálica hasta dejar una superficie lisa, luego se pesó el molde con su base, con el suelo compactado y enrasado. Seguidamente se retiró el molde de su base y se extrajo una muestra del corazón del suelo compactado, para determinar el contenido de humedad del suelo.

**Figura 28.** Compactación de suelo



Pesando una muestra que pasó el tamiz N° 4 y que fue secada en el horno



Realizado el mezclado del suelo con distintos porcentajes de agua e introduciendo el suelo al molde



Ejecutando la compactación en 3 capas y con 25 golpes en cada capa



Se retiro el collarín y se enraso el suelo, para luego llevarlo a pesar.

**Fuente:** Elaboración propia

### **3.10.2 Compresión inconfiada en muestras de suelos (ASTM D2126 - AASSHTO T208)**

El proceso consistió en hacer secar una muestra representativa y luego tamizar el material por la malla N°4. Luego se compactó en el molde a una humedad y peso unitario prefijado y se enrasa. Después que la probeta se haya formado, se le cortan extremos perpendiculares al eje longitudinal, se extrae del molde. Posteriormente se talla la muestra hasta que cumpla las dimensiones indicadas, se miden la altura y el diámetro o lado de la probeta, con una precisión de 0,1 mm mediante un calibrador con nonio o un objeto análogo. Efectuar el curado de la probeta en tiempos de 7, 14 y 28 días. Transcurrido el tiempo se pesa la muestra se coloca la probeta en la prensa de modo que quede perfectamente centrada. Se acciona el dispositivo de avance lo estrictamente necesario para que la probeta toque a la placa superior de la prensa. Se pone en cero el indicador de deformaciones.

#### **Curado de probetas**

Inmediatamente después de su fabricación, las probetas se extraen de los moldes, se colocan en bolsas plásticas herméticas para conservar el 100% de la humedad de la muestra hasta que se vaya a determinar la resistencia a la compresión inconfiada. A

menos de que el fabricante determine otro método para el curado de las probetas estabilizadas.

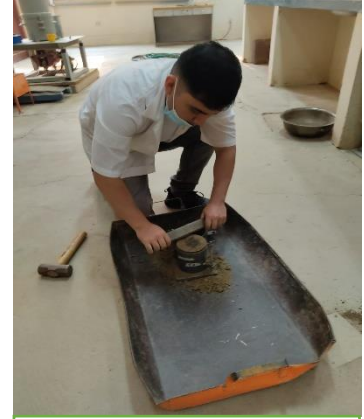
**Figura 29.** Compresión inconfiada



Pesando una muestra y preparando para su compactación



Introduciendo la muestra al molde de compactación



Realizando la compactación del suelo y enrasando



Realizando la extracción de la muestra



Tallando la muestra en las dimensiones requeridas



Efectuando el curado de la muestra



Pesando la probeta en la balanza



Probeta en la prensa y accionando el equipo

**Fuente:** Elaboración propia

# CAPÍTULO IV

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1 Análisis de los límites de Atterberg

Las pruebas de límites de consistencia fueron realizadas con los diferentes porcentajes de cemento. El resumen de resultado se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 23.** Resultados de límites de consistencia del suelo con porcentaje de cemento

Muestra		LL	LP	IP	IP Prom
Suelo-cemento 5%	Ensayo. 1	30	25	5	5
	Ensayo. 2	30	25	5	
Suelo-cemento 6%	Ensayo. 3	31	25	5	5
	Ensayo. 4	30	25	5	
Suelo-cemento 7%	Ensayo. 5	30	27	3	3
	Ensayo. 6	30	26	3	
Suelo-cemento 8%	Ensayo. 7	30	26	4	4
	Ensayo. 8	30	26	4	
Suelo-cemento 9%	Ensayo. 9	29	26	3	3
	Ensayo.10	30	26	3	

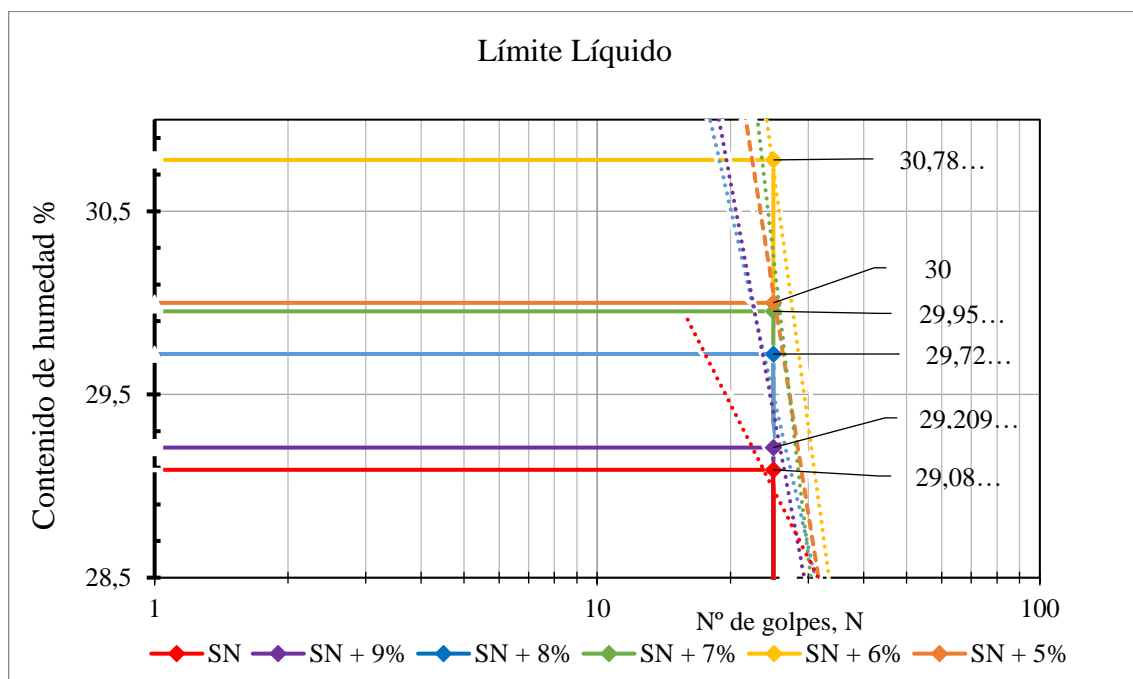
**Fuente:** Elaboración propia

#### Límite líquido

Para el suelo inalterado, suelo con adición de 5%, 6%, 7%, 8% y 9% de cemento, se aplicaron el ensayo correspondiente para la determinación del límite líquido, con el fin de comparar y diferenciar el comportamiento de estos, y poder determinar el cambio en este tipo de propiedades para cada mezcla. Como podemos apreciar, los valores del límite líquido estimados por el método de la copa de Casagrande indica que a medida que se le adiciona cemento, el límite líquido tiende a aumentar, por lo tanto, el suelo en estado inalterado resulta ser el más apto a cambios volumétricos como indica su bajo porcentaje 29,088, también se observa el límite líquido tiende a subir mediante la adición de porcentaje de cemento.

se puede notar que el incremento del límite líquido es progresivo de acuerdo a la adición de cemento ya que se está aportando partículas finas al suelo favoreciendo así a que dichas partículas absorban agua.

**Figura 30.** Análisis de límite líquido



**Fuente:** Elaboración propia

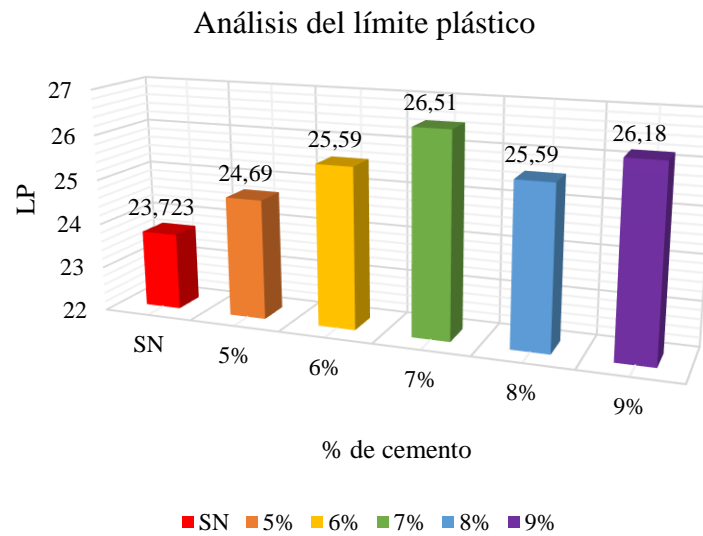
### Límite plástico

El límite plástico se define como el contenido de humedad en porcentaje cuando este se encuentra entre el estado semisólido y el estado plástico, en la gráfica se observa la comparación de los valores obtenidos en las diferentes mezclas. Según esto se puede evidenciar que el valor inicial del límite plástico incrementa con la adición de 5%,6% y 7%, ante ellos se observa que lo resultados tienden a variar incrementando de 24,69%, 25,59% y 26,51% respectivamente, mientras que al 8% el valor disminuye a 25,59% y 9% sube a 26,18%.

La adición de cemento en el suelo limoso provoca que el límite plástico del suelo tienda a subir de 23,723 de suelo natural, hasta un valor de 26,51 con el 7% de cemento, cambiando así al suelo de plástico a más sólido, esto estaría ocurriendo debido a que la plasticidad se está dando de acuerdo a la cantidad de material fino por parte del cemento.



**Figura 31.** Análisis del límite plástico



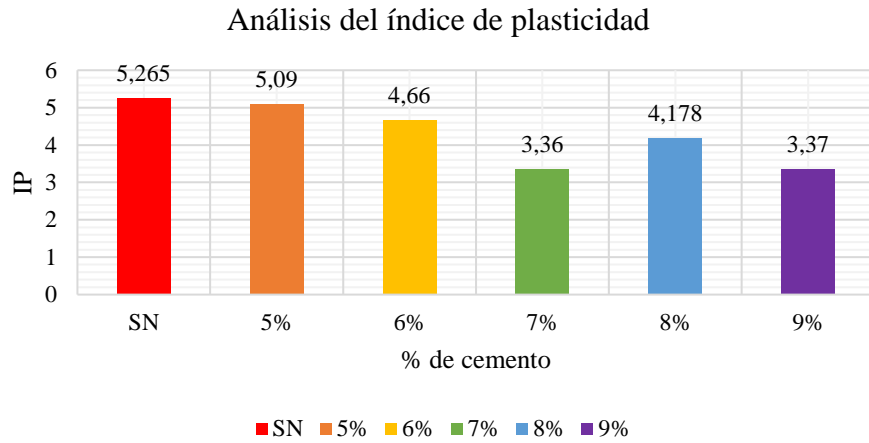
**Fuente:** Elaboración propia

### Índice de Plasticidad

En el caso del índice de plasticidad se observa que con la adición de porcentaje de cemento se produce un mejoramiento en el suelo, donde se logra disminuir el IP de 5,265 en el material natural hasta alcanzar un valor de 3,36 en el material mejorado con el aditivo, entonces se puede decir que el porcentaje recomendable para este tipo de suelo es el 7 % de cemento. Es una razón válida para decir que el limo ante la presencia de cemento tiende a mejorar sus propiedades, de esta manera el cemento cumple la función de ser un agente que controla el índice de plasticidad del suelo en estudio, esto debido a las alteraciones del límite líquido y por consiguiente el aumento en el límite plástico.

Entonces mientras más grande sea el índice de plasticidad, quiere decir que hay un rango más grande para que haya cambios volumétricos, y en el caso de los limos se observa que el índice de plasticidad reduce, entonces esto quiere decir que no va existir cambios volumétricos tan grandes en el suelo, lo cual hace más estable ante la presencia de agua, y así evitar que el suelo se hinche y pueda producirse ondulaciones o deformaciones.

**Figura 32.** Análisis del índice de plasticidad



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.2 Análisis de la compactación de suelos con cemento

Las pruebas del ensayo de compactación fueron realizadas con los diferentes porcentajes de cemento. El resumen de resultado se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 24.** Resultados de compactación del suelo con porcentaje de cemento

Muestra		CHO. %	Dens máx. $\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$
Suelo natural ML A-4(8)	Ensayo. 1	14,97	1,64
	Ensayo. 2	15,09	1,64
Suelo-cemento 5%	Ensayo. 3	16,17	1,65
	Ensayo. 4	16,05	1,66
Suelo-cemento 6%	Ensayo. 5	15,79	1,66
	Ensayo. 6	15,64	1,67
Suelo-cemento 7%	Ensayo. 7	15,29	1,68
	Ensayo. 8	15,10	1,67
Suelo-cemento 8%	Ensayo. 9	14,80	1,65
	Ensayo. 10	14,54	1,65
Suelo-cemento 9%	Ensayo. 11	14,44	1,66
	Ensayo. 12	14,36	1,65

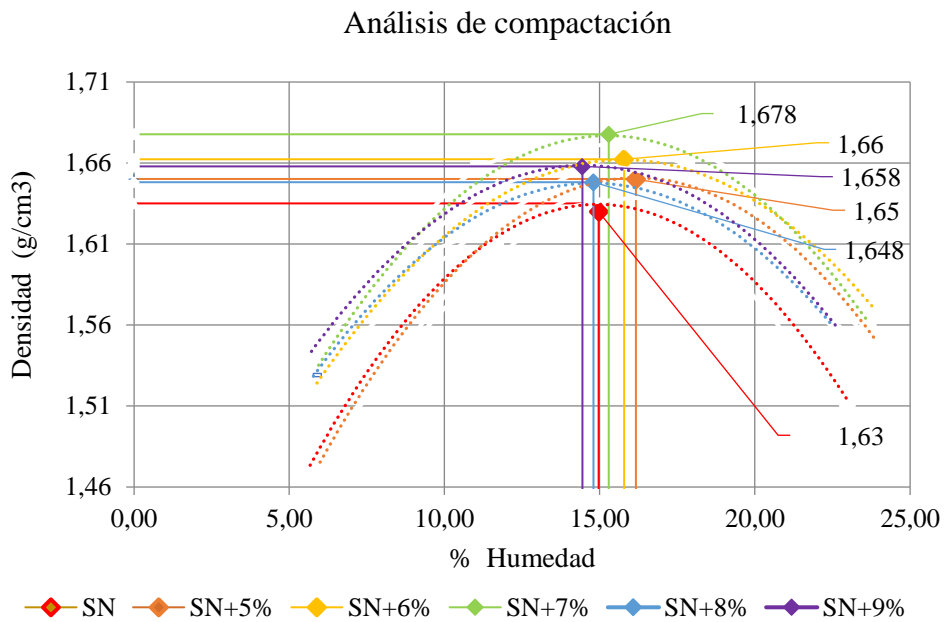
**Fuente:** Elaboración propia

Los resultados de los ensayos de compactación fueron graficados para diferenciar la humedad óptima y los valores del peso unitario seco máximo, donde se obtiene la mejor compactación del suelo, es en este punto donde se toman los valores de humedad óptima y peso específico correspondiente.

A continuación, se muestra la gráfica 42 de peso unitario seco vs porcentaje de humedad del suelo de estudio sin contenido de cemento y añadiéndole porcentaje de 5%, 6%, 7%, 8% y 9%.

El análisis indica que los valores de pesos unitarios seco máximos obtenidos reportan un incremento de acuerdo a los distintos porcentajes de cemento que se la va añadiendo y que el suelo suelto al ser compactado con un 7% de cemento presenta el punto más alto con un peso unitario seco máximo igual a 1,678 g/cm<sup>3</sup>, lo cual va influir directamente en aumentar las características de resistencia de suelo, incrementando de este modo la capacidad de carga del mismo.

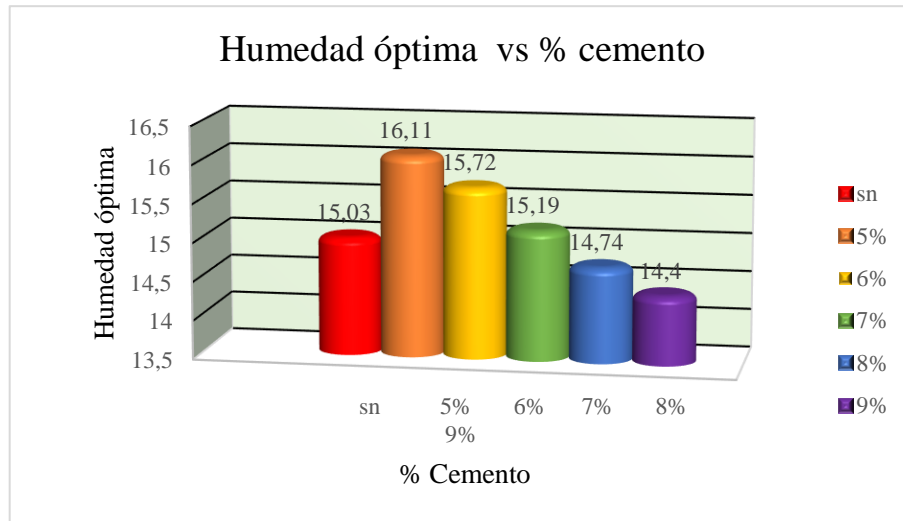
**Figura 33.** Análisis de compactación de suelo



**Fuente:** Elaboración propia

En la siguiente gráfica del suelo A-4 se puede ver el comportamiento del contenido de humedad que tiene el suelo cuando se la va añadiendo los distintos porcentajes de cemento, se puede evidenciar que la humedad tiende a aumentar y luego tiende a bajar.

**Figura 34.** Humedad óptima vs % de cemento



**Fuente:** Elaboración propia

### 4.3 Análisis de la compresión inconfiada según el porcentaje de cemento

#### 4.3.1 Compresión inconfiada con el suelo natural

La muestra a ensayar es un suelo natural, que cuenta con un curado de 7,14 y 28 días con el objetivo de poder apreciar la diferencia de resistencia cortante que provoca el curado en las muestras ensayadas a condiciones sin confinamiento solo a presión atmosférica en el ensayo de compresión inconfiada.

**Tabla 25.** Resultados del ensayo a compresión inconfiada suelo natural

Probeta	Edad Días	Humedad de compactación %	Alto cm	Diámetro cm	Área cm <sup>2</sup>	qu Kpa	Su=Cu Kpa	Su=Cu promedio Kpa
1	7	15,03	10,51	5,31	22,15	444,72	222,36	229,26
2		15,03	10,31	5,11	20,51	472,30	236,15	
3	14	15,03	10,23	5,10	20,43	674,29	337,14	345,87
4		15,03	10,35	5,10	20,43	709,18	354,59	
5	28	15,03	10,23	5,10	20,43	706,44	353,22	351,60
6		15,03	10,27	5,10	20,43	699,95	349,98	

**Fuente:** Elaboración propia

### 4.3.2 Compresión inconfiada con 5% de cemento

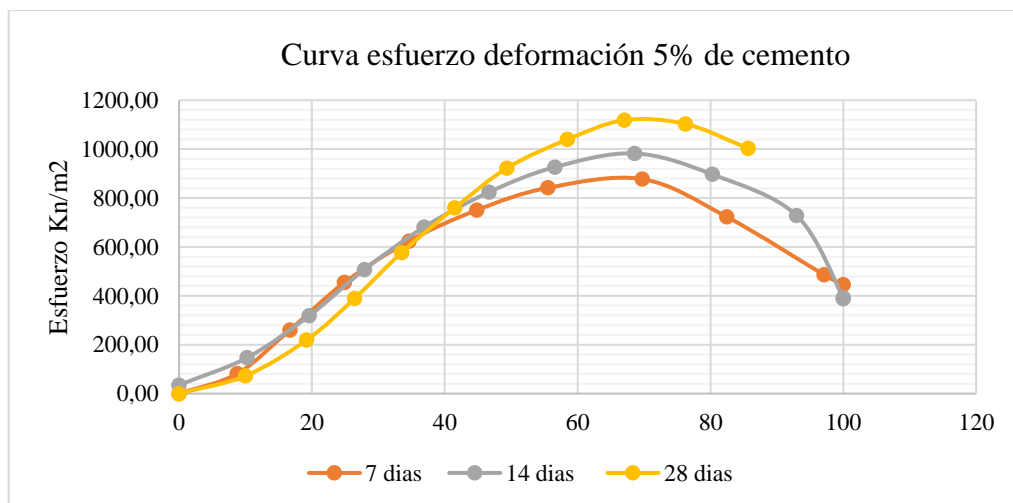
En la gráfica se puede observar que los cilindros con un 5% de cemento y 28 días de curado alcanza una resistencia máxima de 1116,11 Kpa , mientras que lo que tienen 14 días de curado llegan 966,634 Kpa y a los 7 días 839,109 Kpa . Es decir que las propiedades de fraguado del cemento aumentaron en 24,818 % la resistencia del material desde los 7 días hasta los 28 días. Mientras mayor tiempo te curado se puede evidenciar una disminución en la deformación.

**Tabla 26.** Resultados del ensayo a compresión inconfiada suelo-cemento 5%

Probeta	Edad Días	Humedad de compactación %	Alto cm	diámetro cm	Área cm <sup>2</sup>	qu Kpa	Su=Cu Kpa	Su=Cu promedio Kpa
1	7	16,11	10,23	5,34	22,40	877,25	438,62	419,56
2		16,11	10,27	5,10	20,43	800,85	400,42	
3	14	16,11	10,51	5,31	22,15	982,41	491,21	483,32
4		16,11	10,31	5,11	20,51	950,86	475,43	
5	28	16,11	10,42	5,21	21,32	1118,34	559,17	558,05
6		16,11	10,35	5,11	20,51	1113,87	556,94	

**Fuente:** Elaboración propia

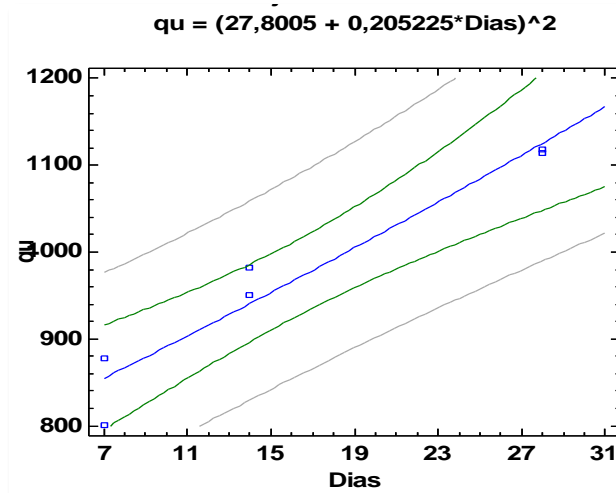
**Figura 35.** Curva esfuerzo - deformación 5% de cemento



**Fuente:** Elaboración propia

- Modelo ajustado al 5 % de cemento según los días de curado

**Figura 36.** Modelo ajustado cuadrado de Y



**Fuente:** Elaboración propia

### 4.3.3 Compresión inconfiada con 6% de cemento

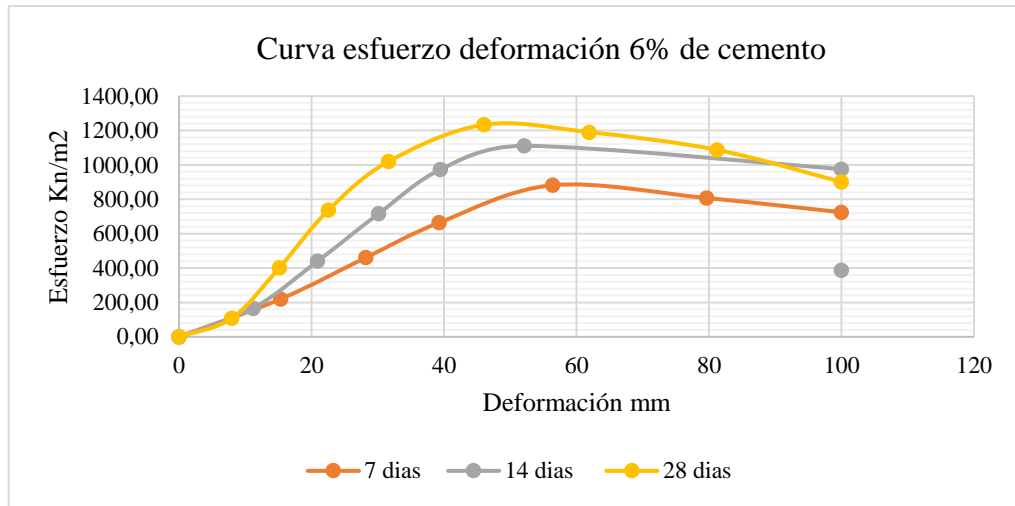
En la gráfica se puede observar que los cilindros con un 6% de cemento y 28 días de curado alcanza una resistencia máxima de 1220,42 Kpa , mientras que lo que tienen 14 días de curado llegan 1135,15 Kpa y a los 7 días 938,91 Kpa . Es decir que las propiedades de fraguado del cemento aumentaron en 23,107 % la resistencia del material desde los 7 días hasta los 28 días. Mientras mayor tiempo te curado se puede evidenciar una disminución en la deformación de las probetas.

**Tabla 27.** Resultados del ensayo a compresión inconfiada suelo-cemento 6%

Probeta	Edad Días	Humedad de compactación %	Alto cm	Diámetro cm	Área cm <sup>2</sup>	qu Kpa	Cu Kpa	Cu promedio Kpa
1	7	15,72	10,31	5,11	20,51	881,86	440,93	459,41
2		15,72	10,71	5,39	22,82	955,79	477,90	
3	14	15,72	10,22	5,11	20,51	1111,01	555,51	567,57
4		15,72	10,70	5,34	22,40	1159,28	579,64	
5	28	15,72	10,33	5,22	21,40	1233,74	616,87	610,21
6		15,72	10,12	5,29	22,04	1207,09	603,55	

**Fuente:** Elaboración propia

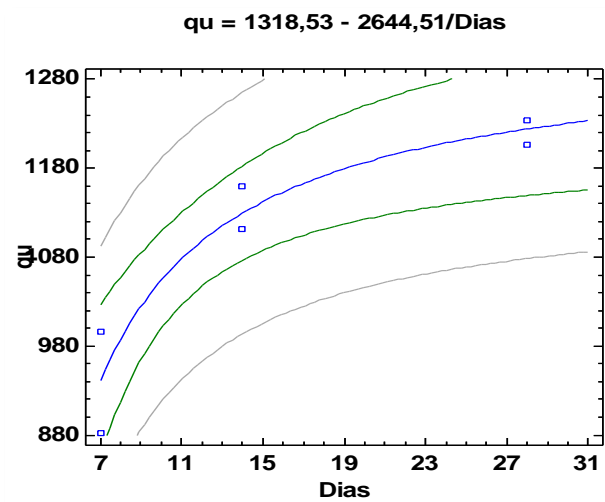
**Figura 37.** Curva esfuerzo-deformación 6% de cemento



**Fuente:** Elaboración propia

- Modelo ajustado al 6% de cemento según los días de curado

**Figura 38.** Modelo ajustado inversa de X



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3.4 Compresión inconfiada con 7% de cemento

En la gráfica se puede observar que los cilindros con un 7% de cemento y 28 días de curado alcanza una resistencia máxima de 1459,5 Kpa, mientras que lo que tienen 14 días de curado llegan 1272,65 Kpa y a los 7 días 1143,27 Kpa o. Es decir que las propiedades

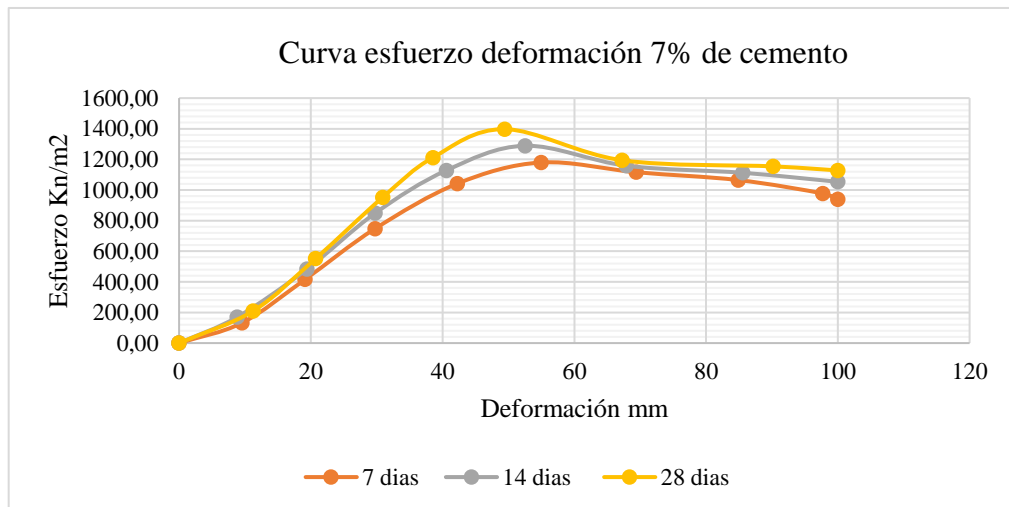
de fraguado del cemento aumentaron en 18,895 % la resistencia del material desde los 7 días hasta los 28 días. Mientras mayor tiempo te curado se puede evidenciar una disminución en la deformación de las probetas.

**Tabla 28.** Resultados del ensayo a compresión incofinada suelo-cemento 7%

Probeta	Edad Días	Humedad de compactación %	Alto cm	Diámetro cm	Área cm <sup>2</sup>	qu Kpa	Cu Kpa	Cu promedio Kpa
1	7	15,19	10,60	5,43	23,16	1179,64	589,82	571,63
2		15,19	10,30	5,19	21,16	1106,89	553,44	
3	14	15,19	10,50	5,30	22,01	1288,86	644,43	636,33
4		15,19	10,20	5,10	20,43	1256,44	628,22	
5	28	15,19	10,19	5,19	21,16	1396,96	698,48	704,81
6		15,19	10,19	5,15	20,83	1422,26	711,13	

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 39.** Curva esfuerzo-deformación 7% de cemento

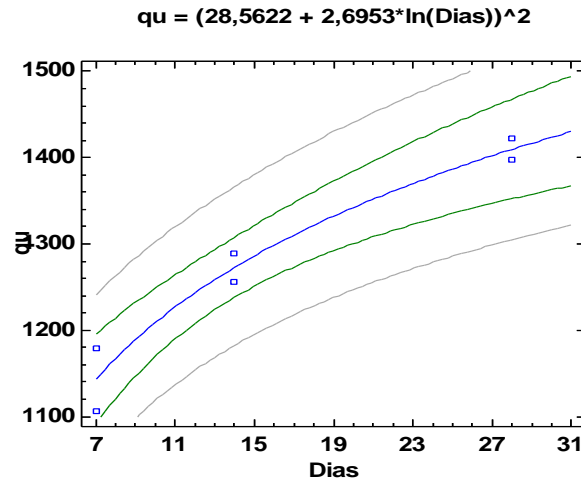


**Fuente:** Elaboración propia



- Modelo ajustado al 7 % de cemento según los días de curado

**Figura 40.** Modelo ajustado cuadrado de Y log-X



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3.5 Compresión inconfiada con 8% de cemento

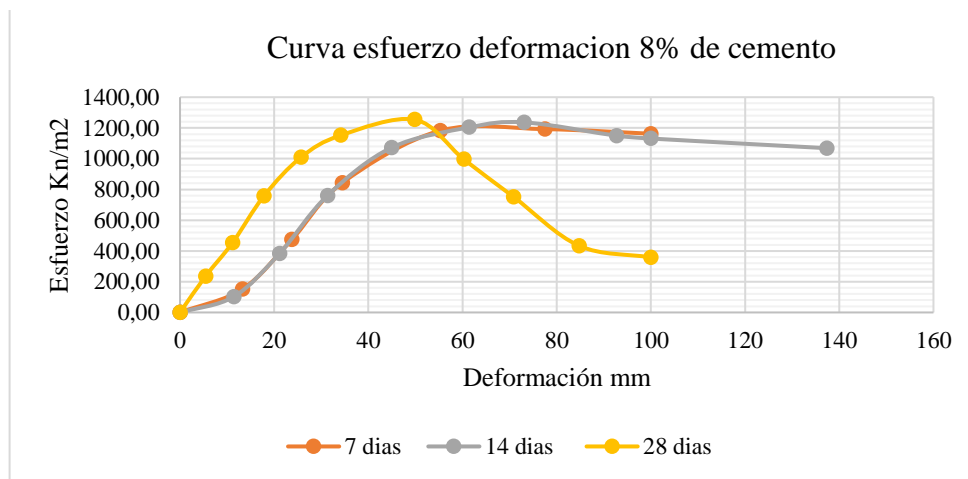
En la gráfica se puede observar que los cilindros con un 8% de cemento y 28 días de curado alcanza una resistencia máxima de 1246,87 Kpa, mientras que lo que tienen 14 días de curado llegan 1229,04 Kpa y a los 7 días 1189,61 Kpa. Es decir que las propiedades de fraguado del cemento aumentaron en 15,65 % la resistencia del material desde los 7 días hasta los 28 días. Mientras mayor tiempo de curado se puede evidenciar una disminución en la deformación de las probetas.

**Tabla 29.** Resultados del ensayo a compresión inconfiada suelo-cemento 8%

Probeta	Edad Días	Humedad de compactación %	Alto cm	Diámetro cm	Área cm <sup>2</sup>	qu Kpa	Cu Kpa	Cu promedio Kpa
1	7	14,66	10,30	5,10	20,43	1192,14	596,07	594,80
2		14,66	10,71	5,40	22,90	1187,07	593,53	
3	14	14,66	10,42	5,21	21,32	1236,32	618,16	614,52
4		14,66	10,40	5,22	21,40	1221,75	610,88	
5	28	14,66	10,19	5,12	20,59	1254	627	623,44
6		14,66	10,11	5,13	20,67	1239,74	619,87	

**Fuente:** Elaboración propia

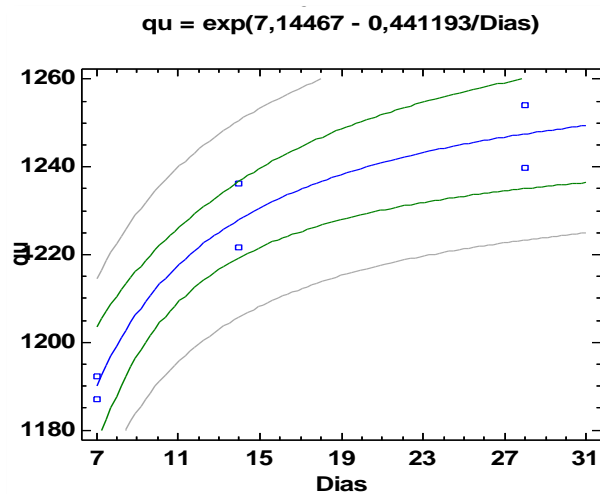
**Figura 41.** Curva esfuerzo-deformación 8% de cemento



**Fuente:** Elaboración propia

- Modelo ajustado al 8% de cemento según los días de curado

**Figura 42.** Modelo ajustado curva S



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3.6 Compresión inconfiada con 9% de cemento

En la gráfica se puede observar que los cilindros con un 9% de cemento y 28 días de curado alcanza una resistencia máxima de 1631,67 Kpa, mientras que lo que tienen 14

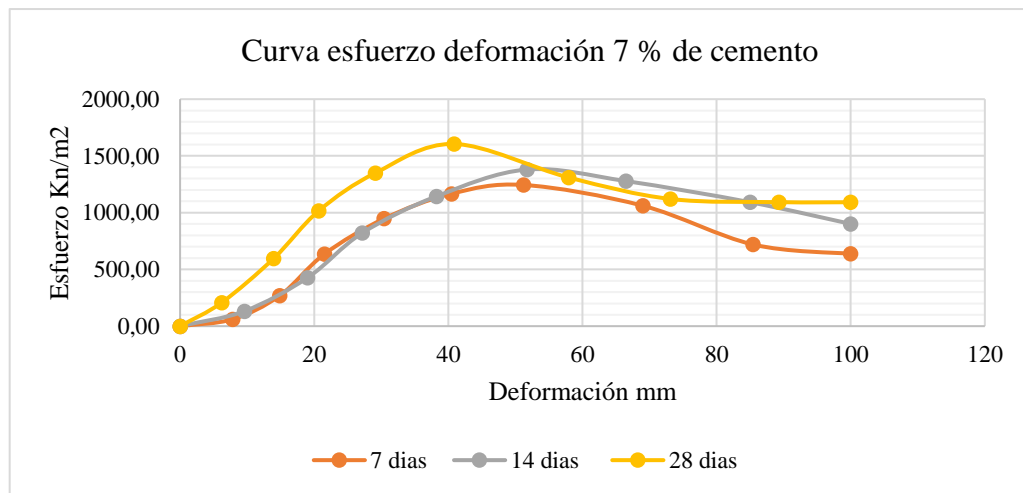
días de curado llegan 1352,48 Kpa y a los 7 días 1180,41 Kpa. Es decir que las propiedades de fraguado del cemento aumentaron en 27,656 % la resistencia del material desde los 7 días hasta los 28 días. Mientras mayor tiempo te curado se puede evidenciar una disminución en la deformación de las probetas.

**Tabla 30.** Resultados del ensayo a compresión inconfiada suelo-cemento 9%

Probeta	Edad Días	Humedad de compactación %	Alto cm	Diámetro cm	Área cm <sup>2</sup>	qu Kpa	Cu Kpa	Cu promedio Kpa
1	7	14,4	10,54	5,31	22,15	1244,20	622,10	590,20
2		14,4	10,71	5,40	22,90	1116,61	558,30	
3	14	14,4	10,42	5,21	21,32	1380,49	690,25	676,24
4		14,4	10,40	5,22	21,40	1324,47	662,24	
5	28	14,4	10,19	5,12	20,59	1605,28	802,64	815,83
6		14,4	10,11	5,13	20,67	1658,05	829,03	

**Fuente:** Elaboración propia

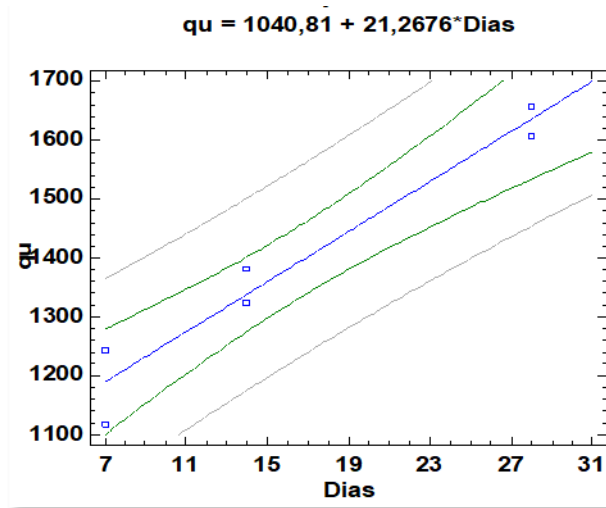
**Figura 43.** Curva esfuerzo deformación 7% de cemento



**Fuente:** Elaboración propia

- Modelo ajustado al 9% de cemento según los días de curado

**Figura 44.** Modelo ajustado cuadrado de Y Log-X



Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 Comparación de graficas

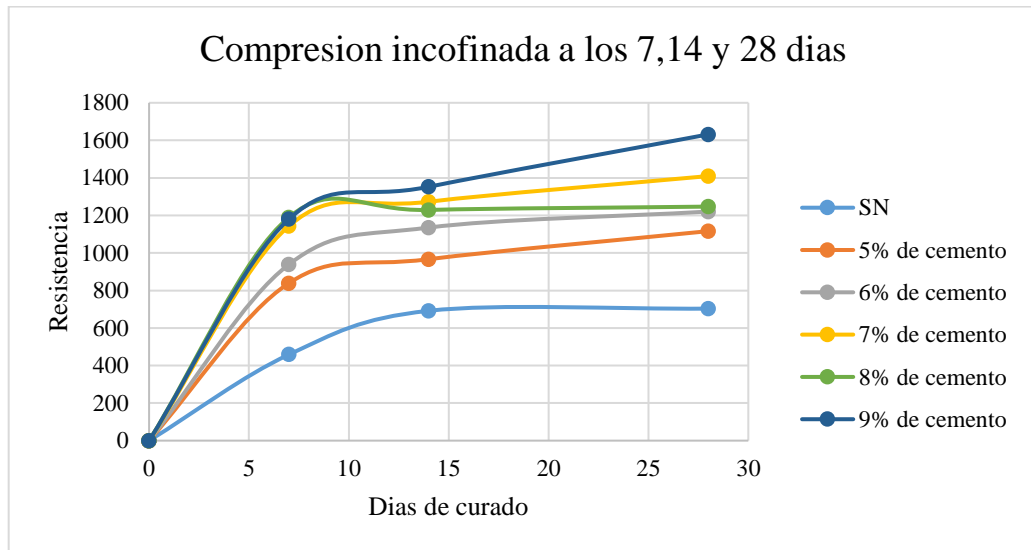
A continuación, se evidenciará los resultados obtenidos para las propiedades de compresión del suelo en estado natural y del suelo-cemento en función a la edad de 7, 14 y 28 días.

**Tabla 31.** Comparación de resultados

muestras	Numero de días	$q_u$ (Kpa)	Numero de días	$q_u$ (Kpa)	Numero de días	$q_u$ (Kpa)
Suelo natural ML A-4(8)	7	444,72	14	674,29	28	706,44
	7	472,3	14	709,18	28	699,95
Suelo-cemento 5%	7	877,25	14	982,41	28	1118,34
	7	800,95	14	950,86	28	1113,87
Suelo-cemento 6%	7	881,86	14	1111,01	28	1233,74
	7	995,96	14	1159,28	28	1207,09
Suelo-cemento 7%	7	1179,64	14	1288,86	28	1396,96
	7	1106,89	14	1256,44	28	1422,26
Suelo-cemento 8%	7	1192,14	14	1236,32	28	1254
	7	1187,07	14	1221,75	28	1239,74
Suelo-cemento 9%	7	1244,2	14	1380,49	28	1605,28
	7	1116,61	14	1324,47	28	1658,05

Fuente: Elaboración propia

**Figura 45.** Compresión a los 7,14 y 28 días de edad

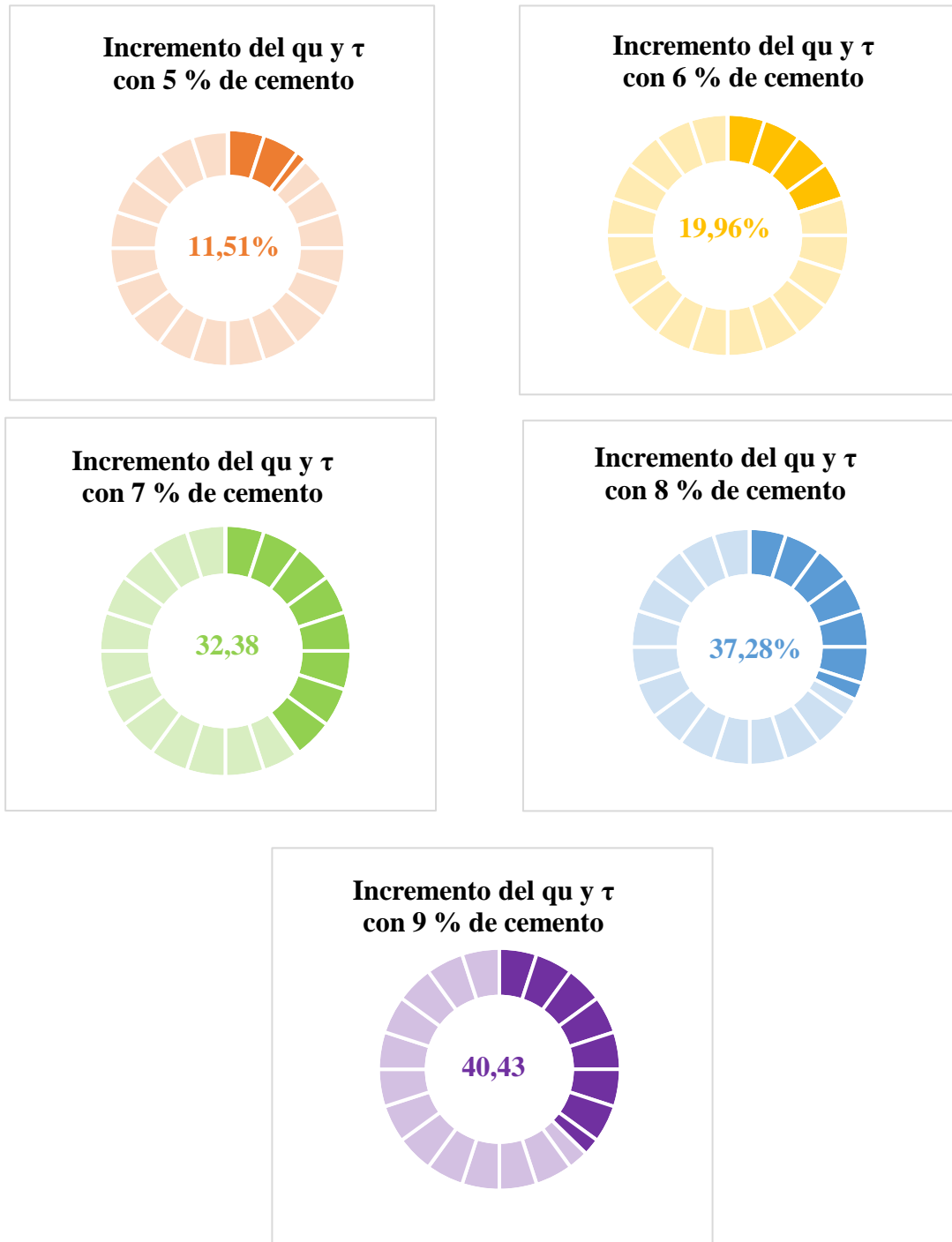


**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.5 Análisis de la resistencia del suelo con respecto a los 7 días de curado y al porcentaje de cemento

- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 5% de cemento, aumenta en un 11,51% a los 7 días de curado.
- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 6% % de cemento, aumenta en un 19,96% a los 7 días de curado.
- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 7% % de cemento, aumenta en un 32,38% a los 7 días de curado.
- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 8% de cemento, aumenta en un 37,28% a los 7 días de curado. Existe una disminución de resistencia con respecto al 7% de cemento
- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 9% % de cemento, aumenta en un 40,43% a los 7 días de curado.

**Figura 46.** Análisis de la resistencia suelo-cemento a los 7 días de curado

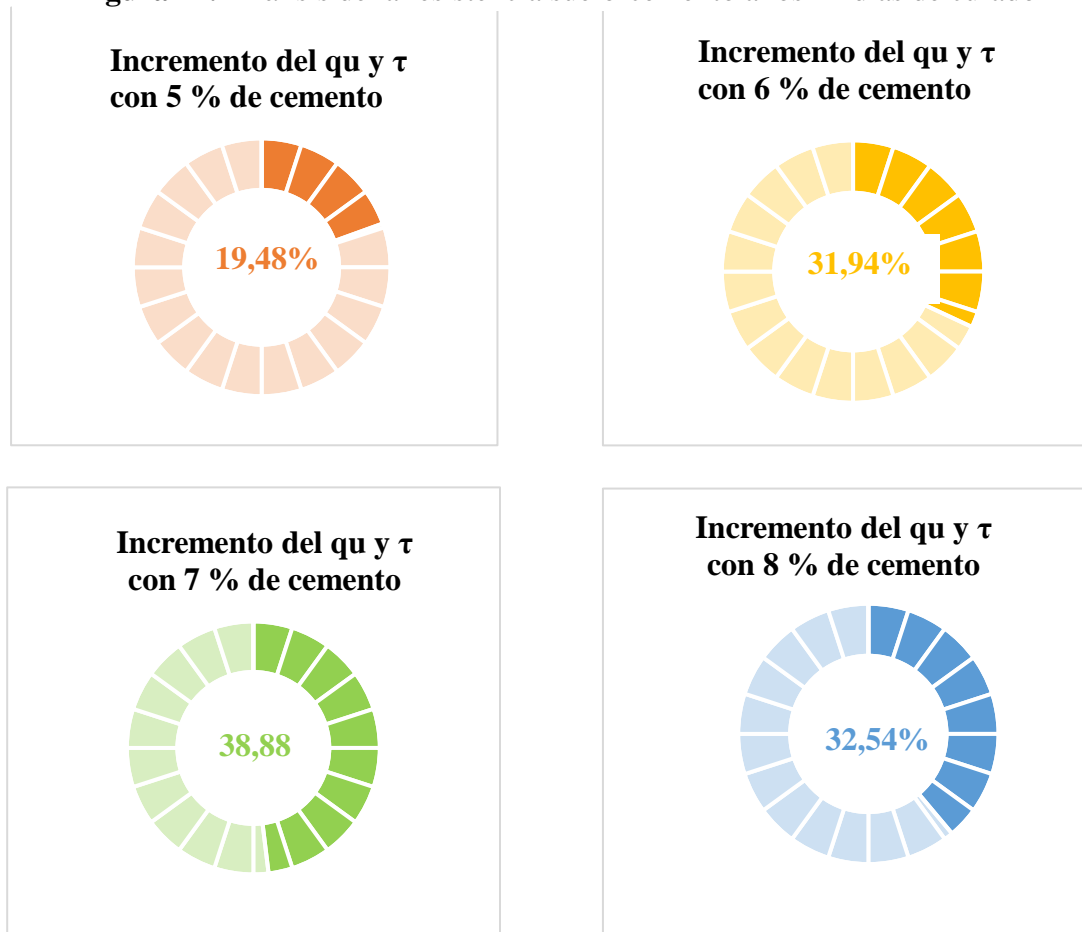


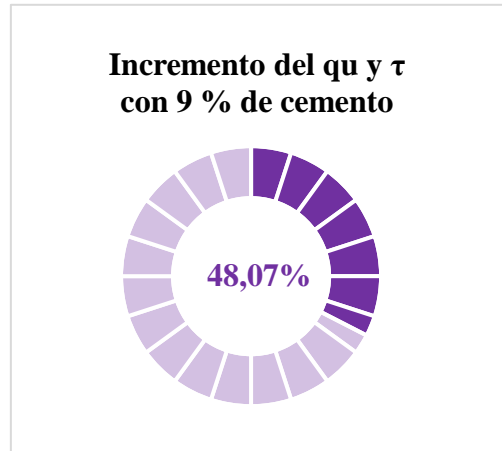
**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.6 Análisis de la resistencia del suelo con respecto a los 14 días de curado y al porcentaje de cemento

- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 5% de cemento, aumenta en un 19,48 % a los 14 días de curado.
- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 6% % de cemento, aumenta en un 31,94% a los 14 días de curado.
- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 7% % de cemento, aumenta en un 38,88% a los 14 días de curado.
- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 8% de cemento, aumenta en un 32,54% a los 14 días de curado. Existe una disminución de resistencia con respecto al 7% de cemento.
- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 9% de cemento, aumenta en un 48,07% a los 14 días de curado

**Figura 47.** Análisis de la resistencia suelo-cemento a los 14 días de curado





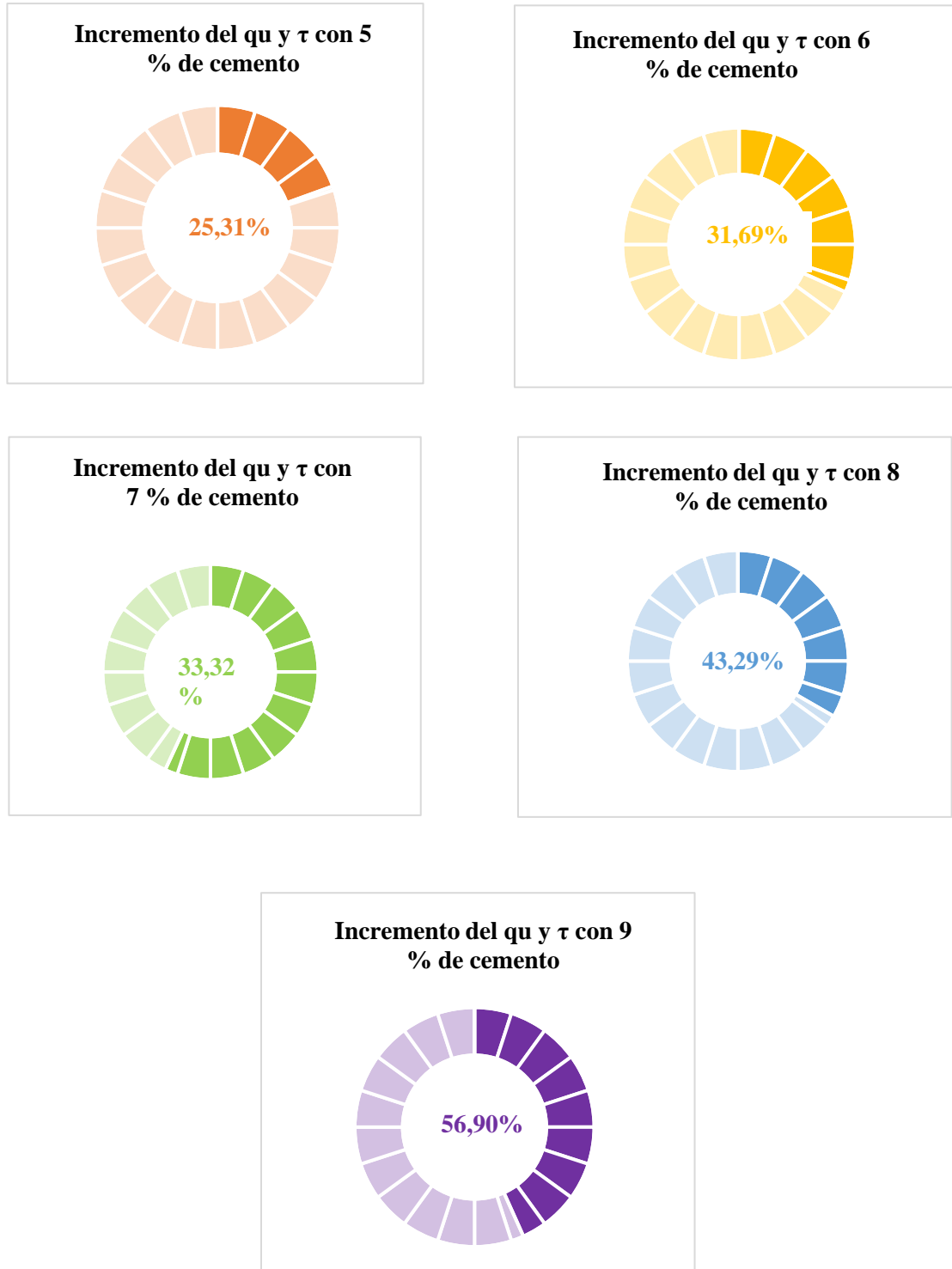
**Fuente:** Elaboración propia

#### **4.7 Análisis de la resistencia del suelo con respecto a los 28 días de curado y al porcentaje de cemento**

- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 5% de cemento, aumenta en un 25,31 % a los 28 días de curado.
- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 6% % de cemento, aumenta en un 31,69% a los 28 días de curado.
- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 7% % de cemento, aumenta en un 33,32% a los 28 días de curado.
- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 8% de cemento, aumenta en un 43,29% a los 28 días de curado. Existe una disminución de resistencia con respecto al 7% de cemento.
- El incremento del esfuerzo a compresión no confinada y esfuerzo cortante, al añadir 9% de cemento, aumenta en un 56,90% a los 28 días de curado.



**Figura 48.** Análisis de la resistencia suelo-cemento a los 28 días de curado



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.8 Comparación de resultados

En el siguiente cuadro, se representará un análisis comparativo de la variación de la resistencia de suelo natural y estabilizados con cemento a diferentes porcentajes a 5%, 6%, 7%, 8% y 9%

**Tabla 32.** Diferencia de resistencia a compresión

Días de curado	Resistencia a compresión qu suelo natural	Resistencia a compresión qu 5% cemento	Resistencia a compresión qu 6% cemento	Resistencia a compresión qu 7% cemento	Resistencia a compresión qu 8% cemento	Resistencia a compresión qu 9% cemento
7	444,72	877,25	881,86	1179,64	1192,14	1244,2
	472,3	800,95	995,96	1106,89	1187,07	1116,61
14	674,29	982,41	1111,01	1288,86	1236,32	1380,49
	709,18	950,86	1159,28	1256,44	1221,75	1324,47
28	706,44	1118,34	1233,74	1396,96	1254	1605,28
	699,95	1113,87	1207,09	1422,26	1239,74	1658,05

Fuente: Elaboración propia

#### 4.9 Tratamiento estadístico descriptivo

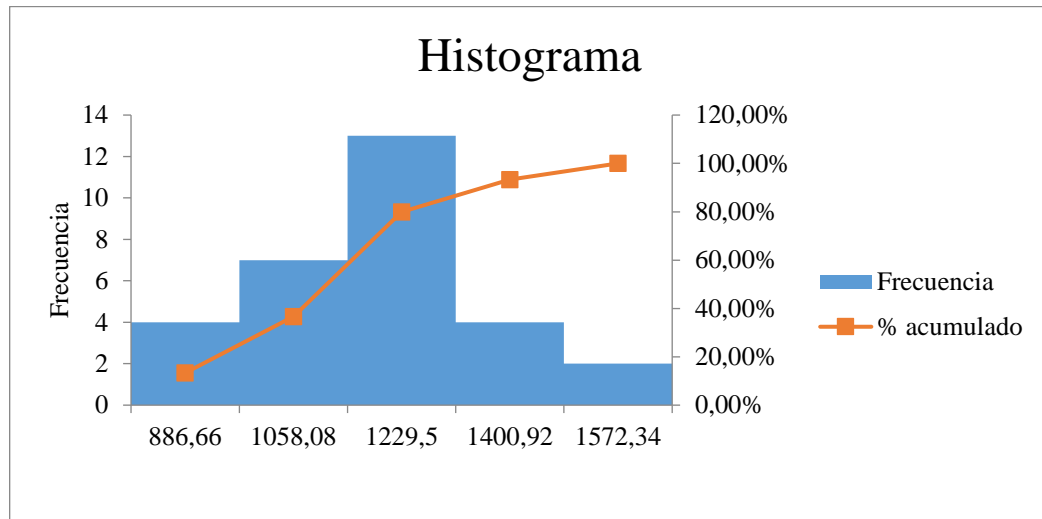
Cálculos previos	
N° datos	30
Límite inferior	800,95
Límite superior	1658,05
Rango R	857,1
N° clases $k=1+3,3 \log (n)$	5
Tamaño de clase $W=R/K$	171,42

**Tabla 33.** Intervalos de clases

N° de clases	Intervalos de clases		clases	Frecuencia	F acumulado	% frecuencia	% F acumulado
	L inf	L sup					
1	800,95	972,37	886,66	4	4	13,33%	13,33%
2	972,37	1143,79	1058,08	7	11	23,33%	36,67%
3	1143,79	1315,21	1229,5	13	24	43,33%	80,00%
4	1315,21	1486,63	1400,92	4	28	13,33%	93,33%
5	1486,63	1658,05	1572,34	2	30	6,67%	100,00%

Fuente: Elaboración propia

**Figura 49.** Histograma y polígono de frecuencia



**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.9.1 Medidas de tendencia central

##### Media

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

U= 617,82 Kpa (Suelo natural)

$\bar{X}$ = 1191,46 Kpa (Suelo- cemento)

##### Cálculo de la desviación estándar de la muestra

$$S_x = \sqrt{\frac{(\bar{X} - \mu)^2}{n - 1}}$$

$$s_x = \sqrt{\frac{(1191,46 - 617,46)^2}{30 - 1}}$$

$$S_x = 106,58$$

#### 4.10 Tratamiento estadístico inferencial

**Tabla 34.** Media de datos-media de la media

	Suelo natural	Suelo-cemento				
	x1	5%	6%	7%	8%	9%
Media	617,8	974	1098	1275	1222	1388
M.Media	617,81	1191,46				

**Fuente:** Elaboración propia

**Hipótesis nula (Ho).** – La media de la resistencia de suelo-cemento es menor o igual a la media de la resistencia de suelo natural

$$H_0: \bar{X} \leq 617,81$$

**Hipótesis alternativa (Ha).** – La media de la resistencia de suelo-cemento es mayor a la media de la resistencia de suelo natural

$$H_1: \bar{X} > 617,81$$

**Grados de libertad (df)**

$$df = n - 1 = 30 - 1 = 29$$

**t crítico**

$$t(1 - \alpha)(n - 1)$$

$$t = 1,69$$

## Aplicando la Distribución de Probabilidad

Calculando t

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S_x}{\sqrt{n}}}$$

$$t = \frac{1191,46 - 617,81}{\frac{106,58}{\sqrt{30}}}$$

$$t = 29,48$$

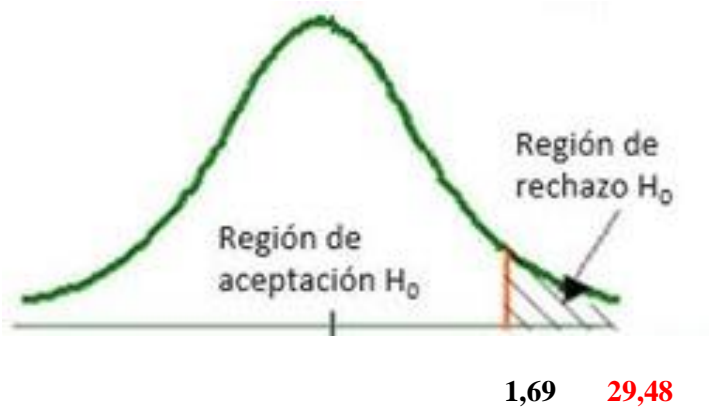
Donde:

$\bar{X}$  = Media

$\mu$  = Valor a analizar

$S_x$  = Desviación estándar

$n$  = Tamaño de la muestra



Se observa que el valor de la media de resistencia de limo con cemento curado es de mayor resistencia al suelo sin cemento por lo que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, concluyendo que sí existe una diferencia muy significativa entre el valor de resistencia del suelo estabilizado con cemento.

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Conocer las características físicas de los suelos mediante los ensayos de granulometría, límites de consistencia y la clasificación de suelos por el método AASHTO Y SUSC nos permitió evaluar sus propiedades, en donde se desechó muestras y se encontró el material utilizado para la investigación, tratándose de un limo inorgánico de baja compresibilidad A-4(8) ML, lo que dio pie a mejorarlo con la inclusión de cemento
- El periodo de curado de 28 días ratifica mayores resistencias del suelo, alcanzando resistencia de 1116,11 Kpa con el 5% de cemento, 1220,42 Kpa con el 6%, 1409,61 Kpa con 7%, 1246,87 Kpa con 8% y finalmente 1631,67 1 Kpa con 9%, estas resistencias del suelo son crecientes y se ven influenciadas por los porcentajes de cemento que se le añade. Cuando se cura 7 días alcanza alrededor del 77,98 % y a los 14 días llega alcanzar el 90,27% de su resistencia.
- En base al mejoramiento de la resistencia de suelo-cemento, se pudo evidenciar que la dosificación óptima para el suelo es del 7% de cemento, ya que este valor muestra cambios físicos en el suelo, bajando el índice de plasticidad y alcanzando una resistencia de 1409,61 Kpa, lo cual genera beneficio en costos ya que requiere menor porcentaje de cemento.
- La ventaja es que, al aumentar la resistencia del suelo con la ayuda del cemento, se tiende a incrementar la capacidad de soporte del suelo, mejorando la resistencia al corte, el cual proporciona estabilidad volumétrica ya que minimiza la permeabilidad del agua y disminuye la plasticidad del suelo.
- Una desventaja representa el tiempo de 28 días de curado que se tendría que esperar para lograr la resistencia buscada.

- De los valores de resistencia a la compresión incofinada que se ha determinado a los 28 días de curado, se confirma la hipótesis planteada a mayores periodos de curado de un suelo limoso estabilizado con cemento aumenta la resistencia a la compresión incofinada.

## **5.2 Recomendaciones**

- Cuando se trabaja con un suelo que será alterado químicamente, y luego será tallado para la elaboración de probeta, se recomienda que esto debe realizarse en un ambiente que no exista temperaturas muy elevadas, esto con el fin de evitar la evaporación del agua que se encuentra en la muestra.
- Una vez que se abre una bolsa de cemento, este debe ser utilizado lo más rápido posible, y se tiene que guardar en un lugar cerrado y que no permita el ingreso de agua.
- Se recomienda dejar madurar y homogenizar la muestra con el contenido de humedad óptimo que fue obtenido del ensayo de compactación por lo menos 24hr según la norma y así hermetizado, aislado que no pierda humedad para tenga una buena reacción en los diferentes porcentajes de estabilización con cemento.