

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

La determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos constituye uno de los puntos fundamentales de toda mecánica de suelos, para ello existen diferentes métodos de cálculo que nos permiten determinar la estabilidad de las obras civiles; entre ellos encontramos: Ensayo de corte directo, pruebas de compresión no confinada, ensayo de triaxial, entre otros. En búsqueda de saber la relación de los ensayos se hizo necesario evaluar dos de ellos y realizar la comparación entre los parámetros de resistencia al corte de los ensayos de corte directo y compresión no confinada; analizar el ángulo y la cohesión para un suelo cohesivo, presente en la ciudad de Tarija.

Se han realizado estudios de comparaciones entre ensayos de suelo a nivel internacional, como es el caso del estudio titulado “COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y TRIAXIAL DE UNA ARENA ARCILLOSA ” desarrollado en Colombia en el año 2012; también se desarrolló una “COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DE CORTE DIRECTO Y COMPRESIÓN SIMPLE PARA UNA ARENA MAL GRADADA ” desarrollado en Colombia en el 2012.

Lo que se pretende realizar en la presente investigación es comparar los resultados de un de suelo cohesivo mediante los ensayos de corte directo y compresión no confinada para lo cual se hará la caracterización de la muestra, se compactará y se pondrá en las mismas condiciones para ambos ensayos y conocer las variaciones en sus resultados.

Efectuar un estudio para determinar la resistencia al cortante de un suelo, beneficia al momento de realizar diferentes tipos de edificación para así conocer su comportamiento que este tendrá. Es así que, el conocer la resistencia al corte llega a ser fundamental e indispensable para un análisis que esté relacionado con la estabilidad de una masa de suelo.

1.2. Situación problémica

Es importante tener presente que los tipos de suelos que predominan en la ciudad de Tarija son cohesivos. Determinar la resistencia a los esfuerzos cortantes que actúan en los suelos se convierte en uno de los factores fundamentales de estudio en la mecánica de suelos, lo que constituye establecer diferentes tipos de ensayos que permitan identificar las características generales del área de estudio. Por esta razón, se plantea una alternativa que permita determinar y evaluar por medio de los ensayos de corte directo y compresión no confinada los parámetros de resistencia al corte obtenidos en laboratorio con el propósito de estimar los valores obtenidos del ensayo de corte directo mediante una correlación.

En tal caso, la presente investigación busca realizar la comparación de dichos parámetros en ambos ensayos para así encontrar la relación entre ellos.

1.2.1. Problema

¿Cuál es la relación entre los parámetros de resistencia al corte determinado por los ensayos de corte directo y compresión no confinada en suelos cohesivos?

1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema

Es necesario conocer el nivel de relación entre los parámetros de resistencia al corte obtenidos mediante el ensayo de corte directo y compresión no confinada, porque a futuro los resultados del ensayo de compresión no confinada servirán de aproximación para establecer el valor de ángulo de fricción y cohesión.

1.2.3. Delimitación temporal y espacial del problema

Delimitación temporal:

Si se observa el relato de la forma de incidir del objeto de investigación, significando que el tiempo de este problema, está en el presente.

Delimitación espacial:

Suelos cohesivos de la ciudad de Tarija.

1.3. Justificación

En la ciudad de Tarija predomina la existencia de suelos arcillosos en diferentes zonas principalmente en lugares destinados al crecimiento poblacional, por lo que este material nos ocasiona problemas de colapso en este tipo de suelos debido a las diferentes cargas proporcionadas por las estructuras las que este suelo debe resistir.

Debido al tiempo que implica el desarrollo de un ensayo de corte directo para obtener el ángulo de fricción y la cohesión de un suelo, El presente proyecto trata de determinar el nivel de relación entre los ensayos de corte directo y compresión no confinada en suelos cohesivos bajo las mismas condiciones de humedad y densidad.

Cuando se proyecta una estructura es necesario analizar las condiciones de los suelos.

Estrictamente, en esta investigación nos interesan las propiedades mecánicas: resistencia y las propiedades físicas. Las propiedades del material son importantes para determinar el uso del suelo realizando previamente ensayos que permitan su caracterización.

Conociendo la caracterización y los parámetros de resistencia al corte mediante el ensayo de compresión no confinada realizado en laboratorio se podrá estimar el ángulo de fricción y cohesión mediante un modelo matemático.

1.4. Objetivos

Los objetivos planteados para la siguiente investigación se dividen en dos partes.

1.4.1. Objetivo general

Comparar los parámetros de resistencia al corte de suelos cohesivos, utilizando los ensayos de corte directo y compresión no confinada; con el fin de establecer una relación entre ellos.

1.4.2. Objetivos específicos

- Extraer las muestras de suelo.
- Caracterizar las muestras de suelo.
- Determinar el ángulo de fricción y la cohesión en muestras compactadas con la humedad óptima en el ensayo de corte directo.
- Determinar carga última y la cohesión en muestras compactadas con la humedad óptima en el ensayo de compresión no confinada.

- Comparar los parámetros de resistencia al corte obtenidos por los ensayos de corte directo y compresión no confinada.

1.5. Hipótesis

Los parámetros ángulo de fricción y cohesión determinados por el ensayo de corte directo son mejores que los parámetros determinados por el ensayo de compresión no confinada.

1.6. Operacionalización de las variables

Se trata de comparar y medir la relación entre dos ensayos de laboratorio con el mismo fin determinar la resistencia al corte de una muestra de suelo; no hay manipulación de variables, tratándose de una investigación de tipo descriptivo.

1.6.1. Variable 1

La variable 1 de la investigación está basada por las propiedades físicas que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2.1 Variable 1

Variable 1	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor / Acción
Propiedades físicas	El tamaño y la proporción en que se encuentran las partículas minerales que forman el suelo determinan sus propiedades físicas.	Límites de atterberg	[%]	Valor extraído del número de golpes.
				valor promedio del estado plástico del suelo.
		Granulometría	[%]	Realizada en función de la cantidad de suelo retenido en cada tamiz.
		Compactación	[g/cm ³]	Densidad máxima, valor extraído de la curva de compactación.
			[%]	Contenido de humedad óptimo, valor extraído de la curva de compactación.
Resultados y curvas	Informe final	Procesos de cálculos normados.		

Fuente: Elaboración propia.

1.6.2. Variable 2

La variable 2 se conforma por los parámetros de resistencia al corte que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2.2 Variable 2

Variable 2	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor / Acción
Parámetros de resistencia al corte	Resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla por los esfuerzos y el deslizamiento.	Ángulo de fricción interna	[°]	Proceso de cálculos
		Cohesión	[kg/cm ³]	Proceso de cálculos

Fuente: Elaboración propia.

1.7. Identificación del tipo de Investigación

El diseño que se utilizó es no experimental, debido que en la hipótesis se ha considerado que no existe variable manipulable. El nivel en que se encuentra la investigación es “descriptiva”, ya que medirá las condiciones de un suelo cohesivo por ambos métodos y comparar sus resultados entre sí, de tal manera se pueda establecer valoraciones técnicas correspondientes.

1.8. Métodos y técnicas empleadas

Se utilizó dos métodos y técnicas de investigación: Empíricas y teóricas.

Empírico

Se realizó experimentos, a través de ensayos de laboratorios, con el fin de determinar las variables de los ensayos de resistencia al corte en suelos cohesivos provenientes de los barrios del departamento de Tarija.

Teóricos

Toda la teoría disponible relacionada a lo que va a estudiar la presente investigación, tales como conceptos, definiciones y normas.

1.9. Procesamiento de la información

Se hizo uso de estadística descriptiva para hallar la media y desviación, y se utilizará estadística inferencial para establecer relación entre los parámetros obtenidos, para ver la relación del uso entre los ensayos de resistencia al corte.

1.10. Alcance de la investigación

El propósito de la siguiente investigación es comparar los parámetros de resistencia al corte de suelos cohesivo pertenecientes a la ciudad de Tarija (ángulo de fricción interna y la cohesión), a partir de sus propiedades físicas (límites de Atterberg, granulometría, humedad, peso específico). Siendo estos parámetros muy importantes y necesarios para conocer las propiedades mecánicas del suelo, es decir, el comportamiento del suelo ante esfuerzos axiales y cortantes; ya que las estructuras de ingeniería civil están fundadas sobre tipo de suelo ideal o adecuado, que son encontradas a diferentes profundidades de su estratigrafía. Para alcanzar el objetivo planteado de la investigación se realizó los ensayos de corte directo, compresión no confinada, así mismo, los ensayos básicos como el análisis granulométrico, los límites de Atterberg, el contenido de humedad y la compactación de cada uno de las muestras.

CAPÍTULO II

ENSAYOS DE RESISTENCIA AL

CORTE Y SUS

CONSIDERACIONES GENERALES

CAPÍTULO II

ENSAYOS DE RESISTENCIA AL CORTE Y SUS CONSIDERACIONES GENERALES

Al realizar los diferentes estudios de Mecánica de Suelos en diferentes zonas, surgen diferentes problemas que los ingenieros deben resolver, es así resaltando uno de los problemas fundamentales en los que se enfocan a resolver es el determinar la resistencia al esfuerzo cortante. El cual, trae consigo una serie de problemas que se deben analizar a profundidad tales como: estabilidad de taludes; la capacidad de carga que tendrán que soportar las cimentaciones y pilotes; en estructuras de retención de tierras, una estimación de la presión lateral de tierra. La propiedad de los suelos soportar cargas y conservar su estabilidad, depende de la resistencia al corte de los suelos. Cualquier masa de suelo se rompe cuando esta resistencia es superada.

Leonards define la resistencia al corte, siendo como la «tensión de corte sobre el plano de ruptura», en el momento de la ruptura.

Haefeli afirma que «entre las tres propiedades principales de un suelo la compresibilidad, la permeabilidad y la resistencia al corte; la más importante y más difícil de determinar experimentalmente es esta última» las dos primeras propiedades son independientes de la tercera la resistencia de corte depende no solamente de la permeabilidad, sino también de la compresibilidad del suelo.

2.1. Suelo

El suelo puede definirse, de acuerdo con el glosario de la Sociedad Americana de la ciencia del suelo (1984), como el material mineral no consolidado en la superficie de la tierra, que ha estado sometido a la influencia de factores genéticos y ambientales (material parental, clima, macro y microorganismos y topografía), actuando durante un determinado periodo. Es considerado también como un cuerpo natural involucrado en interacciones dinámicas con la atmósfera y con los estratos que están debajo de él, que influye en el clima y en el ciclo hidrológico del planeta, y que sirve como medio de crecimiento para diversos organismos. (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2004) agregada (arcillas).

2.2. Tipos de suelos

Según la mecánica de los suelos estos se pueden clasificar en: suelos no cohesivos, suelos cohesivos y suelos orgánicos.

No cohesivos. En donde las partículas no se juntan ni se adhieren y son relativamente grandes. También reciben el nombre de suelos granulares o suelos friccionantes. Están compuestos de arena, grava y limo.

Cohesivos. Compuesto de partículas muy pequeñas que tienden a juntarse, por la interacción agua-partícula, siendo suelos plásticos como el caso de la arcilla. En este tipo de suelo predomina los efectos electroquímicos superficiales.

Orgánicos. Suelos esponjosos, que tienen grumos y son compresibles. Este tipo de suelo está prohibido para soportar estructuras de ingeniería.

2.3. Características de los suelos

De acuerdo con su origen, composición y forma de agruparse, los suelos presentan diversas características que los definen, a continuación, se detallan las principales:

I. Textura: Es el grueso o finura de los granos de un suelo.

II. Estructura: Es el ordenamiento físico-natural de las partículas de un suelo en estado inalterado, que indicará la disposición, forma general y tamaño.

III. Consistencia: Representa los cambios de volúmenes, movimiento de agua en el interior del suelo, elasticidad y capacidad de carga del suelo, variando todo lo anterior en función del contenido de humedad del suelo.

IV. Cohesión: Es la atracción intermolecular, es decir, la característica de algunas partículas del suelo de atraer y adherirse a partículas semejantes. Esta determina si los suelos pueden cementarse como en el caso de las arcillas, consideradas como suelos cohesivos.

V. Color: Los suelos pueden presentar colores variados, dependiendo de los minerales que los componen. Dichas características son parámetros relevantes para el análisis de los suelos, ya que con el conocimiento de ellas se puede determinar el uso óptimo de los mismos.

2.4. Importancia de conocer el tipo de suelo

El proceso de construir un edificio o de realizar una carretera lleva consigo la labor de analizar el suelo en que se trabajará con el fin de conocer que tipos es. Esto es esencial pues según las características del suelo darán la base física necesaria para que un edificio o un camino se mantengan en pie por años. Este estudio de los aspectos de la composición del suelo implica examinar las diferentes textura, fuerza y consistencia que presenta este para ver si son ambientes de suelos cohesivos o no.

En caso de que el suelo sea menos cohesivo, será necesario tomar medidas para evitar un derrumbe. Para poder clasificar el tipo de suelo se hace uso de un sistema de medición conocido como «fuerza de compresión». Este consiste en medir la cantidad de presión requerida para que el suelo colapse. El resultado se da generalmente en unidades de toneladas por pie cuadrado.

2.5. Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos

La resistencia cortante de una masa de suelo es la resistencia interna por área unitaria que la masa de suelo ofrece para resistir la falla y el deslizamiento a lo largo de cualquier plano dentro de él. Los ingenieros deben entender la naturaleza de la resistencia cortante para analizar los problemas de la estabilidad del suelo, tales como capacidad de carga, estabilidad de taludes y la presión lateral sobre estructuras de retención de tierras.

Crterios de falla de Mohr-Coulomb

Mohr (1900) presentó una teoría sobre la ruptura de los materiales. Esta teoría afirma que un material falla debido a una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante, y no sólo por la presencia de un esfuerzo máximo normal o bien de un esfuerzo máximo cortante. Así entonces, la relación funcional entre un esfuerzo normal y un esfuerzo cortante sobre un plano de falla se expresa en la forma:

$$\tau_f = f(\sigma)$$

Donde:

τ_f = Esfuerzo cortante sobre el plano de falla

σ = Esfuerzo normal sobre el plano de falla

La envolvente de falla definida por la ecuación (2.1) es una línea curva, como muestra la figura 2.1. Para la mayoría de los problemas de mecánica de suelos, es suficiente aproximar el esfuerzo cortante sobre el plano de falla como una función lineal del esfuerzo normal (Coulomb, 1776). Esta relación se escribe como

$$\tau_f = C + \sigma \tan\phi$$

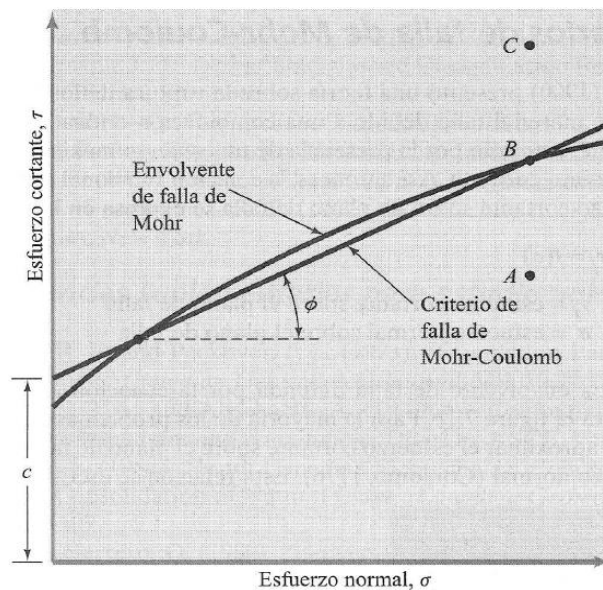
Donde:

C = Cohesión

ϕ = Ángulo de fricción interna

La ecuación precedente se llama criterio de falla de Mohr-Coulomb.

Figura 2.1 Envolvente de falla de Mohr



Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das.

El significado de la envolvente de falla se explica como sigue: si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre un plano en una masa de suelo son tales que son representados por el punto A en la figura 2.1, entonces no ocurrirá una falla cortante a lo largo de ese plano. Si el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante sobre un plano son representados por el punto B (que se encuentra sobre la envolvente de falla), entonces ocurrirá una falla cortante a lo largo de ese plano. Un estado de esfuerzo sobre un plano representado por el punto C no

existe porque éste queda por arriba de la envolvente de falla y la falla cortante ya habría ocurrido en el suelo.

Ley de falla por cortante en suelo saturado

En un suelo saturado, el esfuerzo normal total en un punto es la suma del esfuerzo efectivo y la presión de poros.

$$\sigma = \sigma' + u$$

El esfuerzo efectivo σ' es tomado por los sólidos del suelo. Entonces, para aplicar la ecuación (2.2) a la mecánica del suelo tenemos que reescribirla como

$$\tau_f = C + (\sigma - u) \tan\phi = C + \sigma' \tan\phi$$

El valor de c para la arena y el limo inorgánico es 0. Para arcillas normalmente consolidadas, c se considera igual a 0. Las arcillas sobreconsolidadas tienen valores de c que son mayores que 0. El ángulo de fricción ϕ se llama a veces el ángulo de fricción drenado. Valores típicos de ϕ para algunos suelos granulares se dan en la tabla 7.1.

Para arcillas normalmente consolidadas, el ángulo de fricción ϕ generalmente varía entre 20° y 30°. Para arcillas preconsolidadas, la magnitud de ϕ decrece. Para arcillas naturales no cementadas, preconsolidadas con presión de preconsolidación menor que aproximadamente 1000 kN/m², la magnitud de c cae en el rango de 5 a 15kN/m².

Figura 2.2 Valores típicos del ángulo de fricción drenado para arenas y limos.

Tipo de suelo	ϕ (grados)
Arena: granos redondeados	
Suelta	27 - 30
Media	30 -35
Densa	35 -38
Arena: granos angulares	
Suelta	30 - 35
Media	35 - 40
Densa	40 - 45
Grava con algo de arena	34 - 48
Limos	26 - 35

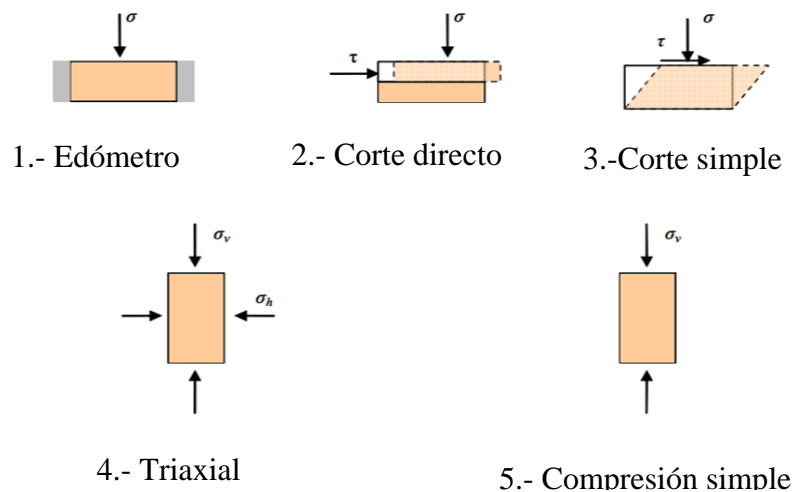
Fuente: Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Braja M. Das.

2.6. Ensayos de resistencia

Existen varios ensayos de laboratorio para medir la resistencia y deformabilidad de suelos. Puesto que el modo fundamental de rotura es por esfuerzos de corte, el objetivo fundamental es hacer actuar esfuerzos tangenciales sobre la probeta. Hay dos tipos de ensayos:

- Ensayos de corte, caracterizados por la aplicación directa de tensiones tangenciales sobre las caras de la muestra. El más primitivo de ellos es el de corte directo, (Figura 2.3-b) en el que la muestra sólo puede deformarse por deslizamiento a lo largo de un plano predeterminado. En el ensayo de corte simple, de desarrollo más moderno, se permite a la muestra deformarse de forma homogénea, uniformemente en todo su volumen (Figura 2.3-c).
- Ensayos triaxiales, en los que una probeta cilíndrica es sometida a tensiones normales verticales y horizontales. No se aplican directamente tensiones tangenciales, pero al ser distintas las tensiones aplicadas en dirección horizontal y vertical, hay tensiones tangenciales sobre cualquier otro plano inclinado del interior de la probeta.

Figura 2.3 Principales ensayos de laboratorio de resistencia y deformabilidad de suelos.



Fuente: Grupo Geotecnia. Universidad de Cantabria.

2.7. Parámetros de resistencia al corte

2.7.1. Ángulo de fricción interna

El ángulo de fricción Interna es la representación matemática del coeficiente de rozamiento en el plano de falla, el cual es un concepto básico de la física:

Coeficiente de rozamiento = $\text{Tan } \Phi$

El ángulo de fricción depende de varios factores entre ellos algunos de los más importantes son: Tamaño de los granos, forma de los granos, distribución de los tamaños de granos y densidad.

2.7.2. Cohesión

La cohesión es una medida de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo de grano fino. La cohesión en mecánica de suelos es utilizada para representar la resistencia al cortante producida por la adherencia.

En suelos eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia, la cohesión se supone igual a 0, y a estos suelos se les denomina Suelos no Cohesivos.

2.8. Estadística Correlacional

La correlación es una medida de la relación lineal entre dos variables cuantitativas continuas (x, y). La manera más sencilla de saber si dos variables están correlacionadas es determinar si co-varían (varían conjuntamente). Es importante hacer notar que esta **covariación no implica necesariamente causalidad**, la correlación puede ser fortuita, como en el caso clásico de la correlación entre el número de venta de helados e incendios, debido al **efecto de una tercera variable**, la temperatura ambiental.

La correlación es en esencia una medida normalizada de asociación o covariación lineal entre dos variables. Esta medida o índice de correlación r puede variar entre -1 y +1, ambos extremos indicando correlaciones perfectas, negativa y positiva respectivamente. Un valor de $r = 0$ indica que no existe relación lineal entre las dos variables. Una correlación positiva indica que ambas variables varían en el mismo sentido. Una correlación negativa significa que ambas variables varían en sentidos opuestos.

Lo interesante del índice de correlación es que r es en sí mismo una medida del tamaño del efecto, que suele interpretarse de la siguiente manera:

Tabla 2.1 Escala de valores

Valor de r	Interpretación
+ 0,91 a + 1,00	Correlación positiva perfecta
+ 0,76 a + 0,90	Correlación positiva muy fuerte
+ 0,51 a + 0,75	Correlación positiva considerable
+ 0,11 a + 0,50	Correlación positiva media
+ 0,01 a + 0,10	Correlación positiva débil
0,00	No existe correlación alguna entre las variables
- 0,01 a - 0,10	Correlación negativa débil
- 0,11 a - 0,50	Correlación negativa media
- 0,51 a - 0,75	Correlación negativa considerable
- 0,76 a - 0,90	Correlación negativa muy fuerte
- 0,91 a - 1,00	Correlación negativa perfecta

Fuente: Metodología de la investigación 6ª edición.

2.8.1. Coeficiente de determinación (R cuadrado)

El R-cuadrado es una medida estadística de qué tan cerca están los datos de la línea de regresión ajustada. También se conoce como coeficiente de determinación, o coeficiente de determinación múltiple si se trata de regresión múltiple.

La definición de R-cuadrado es bastante sencilla: es el porcentaje de la variación en la variable de respuesta que es explicado por un modelo lineal. Es decir:

$$R\text{-cuadrado} = \text{Variación explicada} / \text{variación total}$$

El R-cuadrado siempre está entre 0 y 100%:

- 0% indica que el modelo no explica ninguna porción de la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media.
- 100% indica que el modelo explica toda la variabilidad de los datos de respuesta en torno a su media.

En general, cuanto mayor es el R-cuadrado, mejor se ajusta el modelo a los datos.

2.8.2. Análisis de normalidad mediante contrastes de hipótesis

Antes de utilizar una prueba de contraste paramétrica deberemos comprobar que la variable sigue una distribución normal. Los análisis de normalidad, también contrastes de normalidad, tienen como objetivo analizar cuánto difiere la distribución de los datos observados respecto a lo esperado si procediesen de una distribución normal con la misma media y desviación típica. Pueden diferenciarse tres estrategias: las basadas en representaciones gráficas, en métodos analíticos y en test de hipótesis.

En todos ellos, se considera como hipótesis nula que los datos sí proceden de una distribución normal y como hipótesis alternativa que no lo hacen. El *p-value* de estos test indica la probabilidad de obtener una distribución como la observada si los datos proceden realmente de una población con una distribución normal.

A continuación, se muestran los test de hipótesis más empleados para analizar la normalidad de los datos.

- Test de Shapiro-Wilk. -Este test se emplea para contrastar normalidad cuando el tamaño de la muestra es menor de 50.
- Test de Kolmogórov-Smirnov Para muestras mayores a 50.

2.8.3. Coeficiente de correlación lineal de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson es una prueba que mide la relación estadística entre dos variables continuas. Si la asociación entre los elementos no es lineal, entonces el coeficiente no se encuentra representado adecuadamente.

El coeficiente de correlación puede tomar un rango de valores de +1 a -1. Un valor de 0 indica que no hay asociación entre las dos variables. Un valor mayor que 0 indica una asociación positiva. Es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, también lo hace el valor de la otra. Un valor menor que 0 indica una asociación negativa; es decir, a medida que aumenta el valor de una variable, el valor de la otra disminuye.

Para llevar a cabo la correlación de Pearson es necesario cumplir lo siguiente:

- La escala de medida debe ser una escala de intervalo o relación.
- Las variables deben estar distribuida de forma aproximada.
- La asociación debe ser lineal.
- No debe haber valores atípicos en los datos.

2.8.4. Interpretación del coeficiente de correlación de Karl Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson tiene el objetivo de indicar cuán asociadas se encuentran dos variables entre sí por lo que:

Correlación menor a cero: Si la correlación es menor a cero, significa que es negativa, es decir, que las variables se relacionan inversamente.

Cuando el valor de alguna variable es alto, el valor de la otra variable es bajo. Mientras más próximo se encuentre a -1, más clara será la covariación extrema. Si el coeficiente es igual a -1, nos referimos a una correlación negativa perfecta.

Correlación mayor a cero: Si la correlación es igual a +1 significa que es positiva perfecta. En este caso significa que la correlación es positiva, es decir, que las variables se correlacionan directamente.

Cuando el valor de una variable es alto, el valor de la otra también lo es, sucede lo mismo cuando son bajos. Si es cercano a +1, el coeficiente será la covariación.

Correlación igual a cero: Cuando la correlación es igual a cero significa que no es posible determinar algún sentido de covariación.

2.8.5. Programa “Statistical Package for the Social Sciences”

Conocido oficialmente como IBM SPSS Statistics, la mayoría de los usuarios todavía se refieren a él como SPSS, que es la abreviatura de Statistical Package for the *Social* Sciences (Paquete estadístico), un programa utilizado por investigadores para analizar datos estadísticos complejos.

Su principal característica es que utiliza un lenguaje de comandos muy sencillo, por lo que puede utilizarlo cualquier profesional, sin necesidad de tener conocimientos avanzados de informática SPSS se utiliza para una amplia gama de análisis estadísticos, como las estadísticas descriptivas (por ejemplo, medias, frecuencias), las estadísticas bivariadas (por ejemplo, análisis de la varianza, prueba t), regresión, el análisis de factores, y la representación gráfica de los datos.

Entre sus principales características, podemos definir que el SPSS de IBM es:

- Un software aplicado a todo tipo de procesos que incluyan datos.
- Permite formular hipótesis de modo rápido y ejecutar relaciones entre las principales variables.
- Una herramienta que identifica tendencias y, en base a esto, hace predicciones.

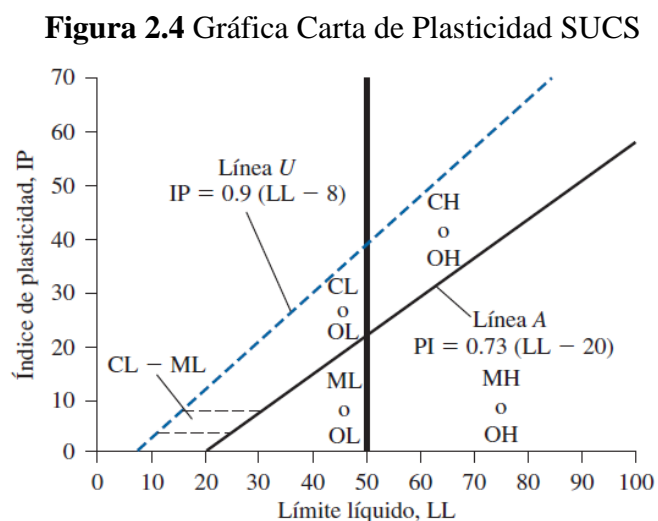
2.8.6. Sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS)

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos fue presentado por Arthur Casagrande, usado para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo. Este sistema de clasificación puede ser aplicado a la mayoría de los materiales sin consolidar y se puede clasificar suelos con tamaños menores de tres (3) pulgadas; se representa mediante un símbolo con dos letras.

Los suelos de granos grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz N°. 200. Los suelos gruesos corresponden a los retenidos en dicho tamiz y los finos a los que lo pasan, de esta forma se considera que un suelo es grueso si más del 50% de las partículas del mismo son retenidas en el tamiz N°. 200 y fino si más del 50% de sus partículas son menores que dicho tamiz.

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en inglés de los seis principales tipos de suelos (grava, arena, limo, arcilla, suelos orgánicos de grano fino y turbas), mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

Esta clasificación está basada sólo en los límites de Atterberg para la fracción que pasa el T40, y se obtiene a partir de la llamada CARTA DE PLASTICIDAD:



Fuente: Fundamentos de ingeniería en cimentaciones Braja M. Das.

Esta clasificación divide los suelos en:

Tabla 2.2 Clasificación SUCS

Divisiones mayores			Símbolo del grupo	Nombre del grupo
Suelos granulares gruesos el 50% o más se retuvo en el tamiz n°200 (0.075 mm)	Grava < 50% de la fracción gruesa que pasa el tamiz n.º 4 (4.75 mm)	grava limpia menos del 5% pasa el tamiz n°200	GW	grava bien graduada, grava fina a gruesa
			GP	grava pobremente graduada
		grava con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200	GM	grava limosa
			GC	grava arcillosa
	Arena ≥ 50% de fracción gruesa que pasa el tamiz n.º 4	Arena limpia menos del 5% pasa el tamiz n°200	SW	Arena fina a gruesa.
			SP	Arena pobremente graduada
		Arena con más de 12% de finos pasantes del tamiz n° 200	SM	Arena limosa
			SC	Arena arcillosa
Suelos de grano fino más del 50% de la muestra pasa el tamiz No.200 (0.075 mm)	Limos y arcillas límite líquido < 50	inorgánico	ML	limo
			CL	arcilla
		orgánico	OL	Limo orgánico, arcilla orgánica
	Limos y arcillas límite líquido ≥ 50	inorgánico	MH	limo de alta plasticidad, limo elástico
			CH	Arcilla de alta plasticidad
		orgánico	OH	Arcilla orgánica, Limo orgánico
Suelos altamente orgánicos			Pt	turba

Fuente: Fundamentos de ingeniería en cimentaciones Braja M. Das.

CAPÍTULO III
PROCESAMIENTO DE LOS ENSAYOS
Y DATOS OBTENIDOS

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

La medición de los parámetros de resistencia al corte se realizó en el laboratorio, empleando muestras de suelo cohesivos que fueron remoldeadas al contenido de humedad óptimo de cada muestra de suelo.

Las pruebas de laboratorio para la obtención de los parámetros de resistencia al corte se hizo uso del ensayo de corte directo, ensayo de compresión no confinada y también se realizó la caracterizaron las muestras.

3.1. Unidades de estudio y decisión muestral

Las unidades de estudio y decisión ayudan a visualizar los elementos sobre el cual se desarrolló la investigación, para ello se tiene lo siguiente:

3.1.1. Unidad de estudio

Se denomina como unidad de estudio, aquel elemento que nos brindará la información necesaria:

Las unidades a estudiarse son “Un ensayo de laboratorio para suelos”.

3.1.2. Población

La caracterización de los suelos, tiene una lista extensa de ensayos, que se realizan en un laboratorio de suelos. Por lo tanto:

La población comprende “Todos los ensayos de laboratorio para suelos”.

3.1.3. Muestra

La muestra se refiere específicamente a los ensayos que realmente se requirieron en la presente investigación:

Ensayo de Contenido de humedad

Ensayo de Granulometría

Ensayo de Límites de Atterberg

Ensayo de Compactación

Ensayo de Corte Directo

Ensayo de Compresión no confinada

3.1.4. Selección de las técnicas de muestreo

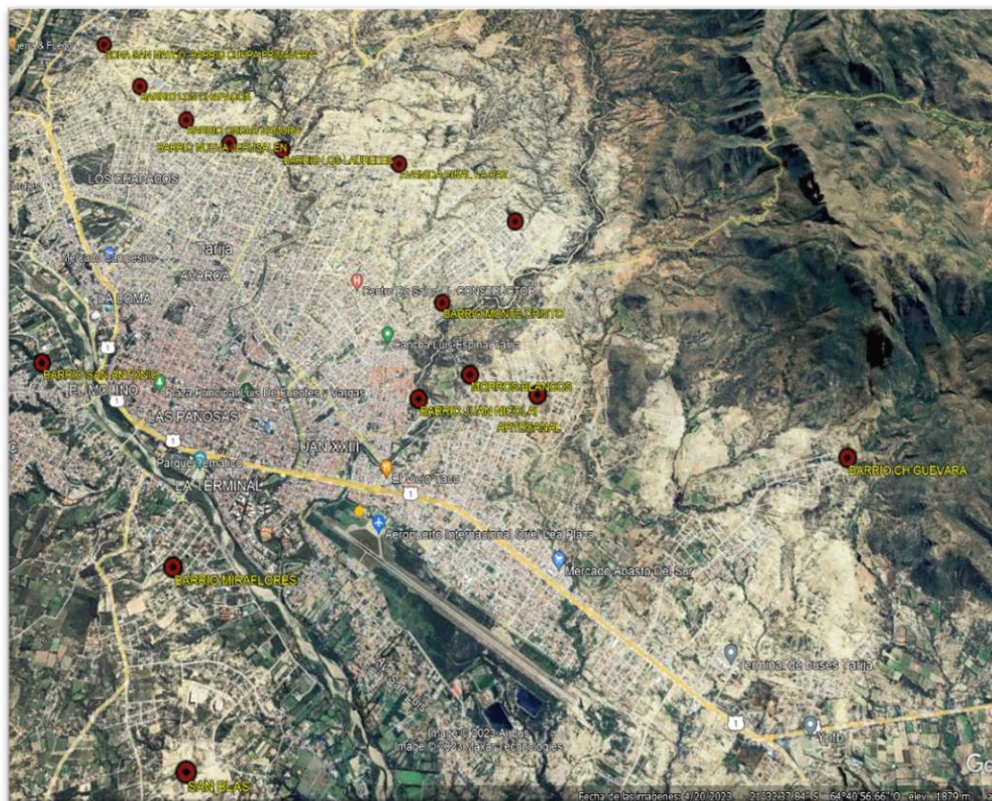
El criterio a seguir fue adoptar un muestreo probabilístico simple “No aleatorio”, se seleccionará muestras por conveniencia.

Para el muestreo se extrae muestras de los barrios de la ciudad de Tarija, del departamento de Tarija de tal manera que cada una de ellas tenga la misma probabilidad de ser elegidas para este trabajo de investigación.

3.2. Zona de estudio

El estudio que presenta en esta investigación, toma en cuenta los barrios que pertenece a la ciudad de Tarija. Para su mejor ubicación y visualización se muestra en la figura N°3.1. de la cual se consideran 15 barrios.

Figura 3.1 Ciudad de Tarija



Fuente: Google Earth.

Coordenadas de las zonas de extracción del suelo pertenecientes a la ciudad de Tarija y alrededores.

Tabla 3.1 Coordenadas zonas de extracción

Barrio	Ubicación
Zona San Mateo "Barrio Chura Primavera"	21°29'27.64"S
	64°44'50.00"O
Barrio Los Chapacos	21°29'49.86"S
	64°44'29.63"O
Barrio Oscar Zamora	21°30'7.08"S
	64°44'5.83"O
Barrio Nueva Jerusalén	21°30'18.22"S
	64°43'45.18"O
Barrio Los Laureles	21°30'20.78"S
	64°43'21.13"O
Barrio S/N Avenida La paz/ 2 ^{da} Circunvalación	21°30'28.70"S
	64°42'28.38"O
Barrio Miraflores	21°33'8.99"S
	64°43'45.64"O
Zona San Blas	21°34'11.01"S
	64°43'31.98"O
Barrio San Antonio	21°31'55.33"S
	64°44'48.92"O
Barrio Monte Cristo	21°31'30.98"S
	64°42'8.28"O
Barrio San Nicolai	21°32'9.72"S
	64°42'17.01"O
Barrio Morros Blancos	21°32'0.79"S
	64°41'56.75"O
Barrio Che Guevara II	21°32'33.10"S
	64°39'31.95"O
Barrios Jesús De Nazareth	21°30'56.50"S
	64°41'37.34"O
Barrio Artesanal	21°32'8.11"S
	64°41'29.97"O

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Selección de las muestras

La muestra que se tomó es representativa del tipo alterada, es única y en una cantidad aproximada de 30 kg, suficiente para la realización de ensayos de caracterización y de investigación. Primeramente, se realizó una inspección visual de los alrededores de la zona, se seleccionó un lugar en base a las características físicas que presentan los suelos cohesivos. Tomando en cuenta que el sitio no presentaba características de relleno, se trata de un corte que permitió realizar el muestreo con mayor facilidad ya que se puede observar en él el color, distribución y consistencia del mismo.

Figura 3.2 Zonas de Extracción de muestra



Fuente: Elaboración propia.

En la extracción de las muestras de suelo se realizó una calicata de aproximadamente 1 metro de profundidad desde la cual se empezó a guardar las muestras de suelo en bolsas de nylon para la realización de los ensayos.

Figura 3.3 Excavación de calicatas.



Fuente: Elaboración propia.

3.4. Caracterización de los suelos

3.4.1. Ensayo contenido de humedad (ASTM D2216)

El método tradicional de determinación de la humedad del suelo en laboratorio, es por medio del secado a horno, su demora es de aproximadamente de 24 horas.

El procedimiento para el ensayo del contenido de humedad comienza tomando una muestra representativa de suelo, posteriormente se coloca la muestra húmeda en un recipiente previamente pesado, para proceder a pesar la muestra húmeda más el recipiente.

Figura 3.4 Ensayo contenido de humedad



Fuente: Elaboración propia.

Contenido de humedad natural

M1: Zona San Mateo

HUMEDAD NATURAL			
Cápsula	1	2	3
Peso de suelo húmedo + Cápsula	103,52	94,3	95,94
Peso de suelo seco + Cápsula	97,57	88,96	90,53
Peso de cápsula	12,93	11,81	13,76
Peso de suelo seco	84,64	77,15	76,77
Peso del agua	5,95	5,34	5,41
Contenido de humedad	7,03	6,92	7,05
PROMEDIO	7,00		

Resumen de resultados.

Tabla 3.2 Resumen Humedad natural

	Humedad natural	Barrio
Suelo 1	7,01	Chura Primavera
Suelo 2	5,26	Chura Primavera
Suelo 3	5,17	Los Chapacos
Suelo 4	6,63	Los Chapacos
Suelo 5	8,35	Oscar Zamora
Suelo 6	7,81	Oscar Zamora
Suelo 7	5,36	Nueva Jerusalén
Suelo 8	5,54	Nueva Jerusalén
Suelo 9	7,13	Los Laureles
Suelo 10	7,88	Los Laureles
Suelo 11	5,43	Final Av. La paz
Suelo 12	5,38	Final Av. La paz
Suelo 13	7,14	Miraflores
Suelo 14	7,55	Miraflores
Suelo 15	10,94	San Blas
Suelo 16	11,47	San Blas
Suelo 17	7,52	San Antonio
Suelo 18	8,27	San Antonio
Suelo 19	10,12	Monte Cristo
Suelo 20	9,84	Monte Cristo
Suelo 21	4,68	San Nicolai
Suelo 22	5,60	San Nicolai
Suelo 23	5,45	Morros Blancos
Suelo 24	5,89	Morros Blancos
Suelo 25	5,43	Che Guevara II
Suelo 26	6,63	Che Guevara II
Suelo 27	7,22	Jesús de Nazareth
Suelo 28	8,40	Jesús de Nazareth
Suelo 29	6,32	Artesanal
Suelo 30	7,54	Artesanal

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Análisis granulométrico (ASTM D422 AASHTO T88)

Pesamos 500 gramos de muestra que pase el tamiz N° 10 bien triturada para lograr una finura de la muestra, colocamos en una bandeja y dejamos reposar por 24 horas, pasado ese tiempo procedemos a realizar la granulometría por el método del lavado; este método es el más efectivo, ya que con este método se logra que pase por el tamiz, todas las partículas que sean de menor tamaño del diámetro del tamiz. Luego el material que se retiene en el tamiz N°200, se lo hace secar, ya sea en el horno o en la hornilla, una vez secado se vuelve a tamizar por las mallas N°40 hasta el N°200.

Figura 3.5 Ensayo de granulometría

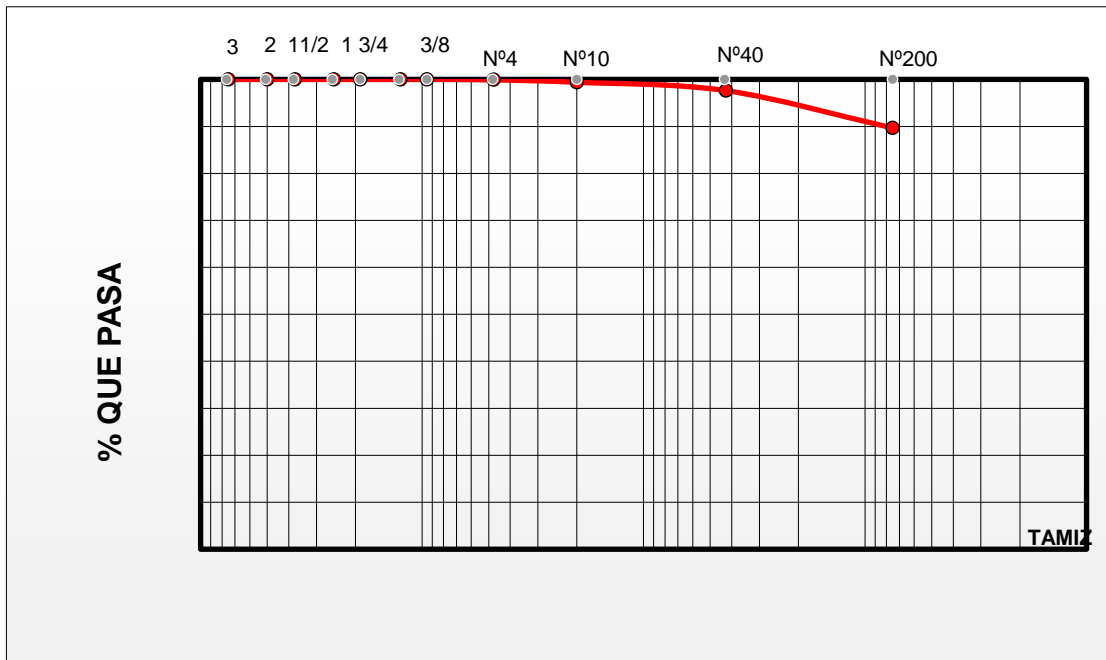


Fuente: Elaboración propia.

Granulometría.

M1: San Mateo

Peso Total (gr.)			1000		
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Ret. Acum (gr)	% Ret	% Que Pasa del Total
3"	75	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00
Nº4	4,75	0,94	0,94	0,09	99,91
Nº10	2,00	5,22	6,16	0,62	99,38
Nº40	0,425	17,72	23,88	2,39	97,61
Nº200	0,075	79,54	103,42	10,34	89,66



Resumen de muestras:

Tabla 3.3 Resumen resultados del ensayo Granulometría

	% Que Pasa del Total N°200
Suelo 1	90
Suelo 2	87
Suelo 3	97
Suelo 4	99
Suelo 5	86
Suelo 6	89
Suelo 7	91
Suelo 8	90
Suelo 9	98
Suelo 10	96
Suelo 11	86
Suelo 12	89
Suelo 13	93
Suelo 14	95
Suelo 15	99
Suelo 16	99
Suelo 17	98
Suelo 18	99
Suelo 19	99
Suelo 20	100
Suelo 21	99
Suelo 22	98
Suelo 23	97
Suelo 24	93
Suelo 25	99
Suelo 26	99
Suelo 27	99
Suelo 28	99
Suelo 29	92
Suelo 30	94

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Determinación del límite líquido (ASTM D4318 - AASHTO T89)

Colocamos la muestra en un plato, añadimos agua y removemos con la espátula hasta conseguir una pasta de consistencia uniforme, luego tomamos una porción de esta masa y la colocamos en el platillo de bronce del aparato de Casagrande, esparciéndola y nivelándola uniformemente.

Posteriormente, con la ayuda del ranurador, se dividió la muestra en el platillo con un corte firme, de arriba hacia abajo, de tal manera que se forme un canal. Con la muestra preparada y cortada en el plato de bronce, este se golpea con la ayuda del manubrio a una velocidad constante, hasta que la muestra se una. Finalmente tomamos una porción de la muestra del centro del platillo de bronce y la colocamos en una tara que fue pesada y colocada en el horno durante 24 hrs. Al cabo de este tiempo nuevamente pesamos la tara con la muestra esta vez seca.

Figura 3.6 Ensayo Límite líquido



Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los resultados del ensayo se verán terminando el límite plástico.

3.4.4. Límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D4318 - AASHTO T90)

Tomamos una muestra de aproximadamente 100 gramos de la porción que pasa el tamiz N° 40. Luego se procede en la misma forma que en la preparación de la pasta para el límite líquido, tratando de obtener una masa suficientemente plástica realizando en la placa de vidrio unos rollitos de 3mm de espesor donde se tiene que pesar en sus respectivas tres taras ya pesadas anteriormente, después colocarlo en el horno y después de 24 horas se los pesa.

Figura 3.7 Ensayo de Límite plástico



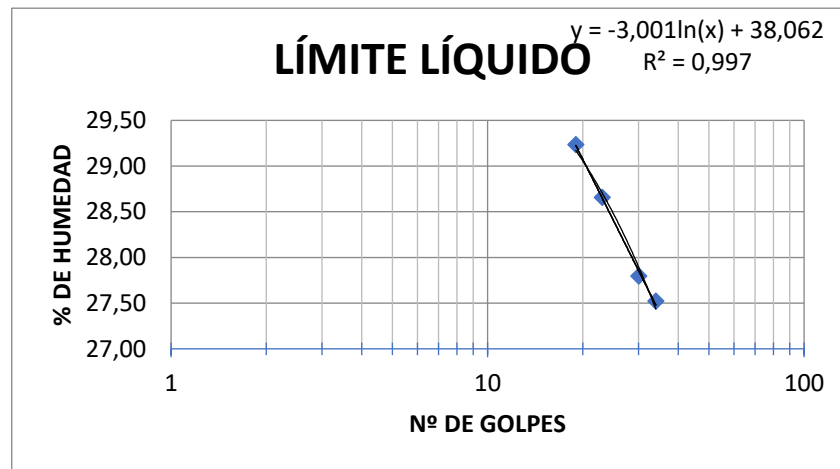
Fuente: Elaboración propia.

Límites de Atterberg.

M1: San Mateo

Límite líquido

Capsula N.º	1	2	3	4
N.º de golpes	19	23	30	34
Suelo Húmedo + Cápsula	46,34	44,61	40,81	34,39
Suelo Seco + Cápsula	38,78	37,50	34,77	29,7
Peso del agua	7,56	7,11	6,04	4,69
Peso de la Cápsula	12,92	12,69	13,04	12,66
Peso Suelo seco	25,86	24,81	21,73	17,04
Porcentaje de Humedad	29,23	28,66	27,80	27,52
			LL =	28



Límite plástico

Cápsula	1	2	3	
Peso de suelo húmedo + Cápsula	16,51	15,00	12,27	
Peso de suelo seco + Cápsula	16,05	14,71	11,96	
Peso de cápsula	13,36	12,97	10,15	
Peso de suelo seco	2,69	1,74	1,81	
Peso del agua	0,46	0,29	0,31	
Contenido de humedad	17,10	16,67	17,13	
			LP =	17

Índice de plasticidad

IP =	11
-------------	-----------

Resumen de muestras.

Tabla 3.4 Resumen de resultados ensayo Límites de Atterberg

	Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP)
Suelo 1	28	17	11
Suelo 2	29	16	13
Suelo 3	33	24	10
Suelo 4	33	22	11
Suelo 5	30	21	9
Suelo 6	31	19	12
Suelo 7	29	21	8
Suelo 8	32	22	10
Suelo 9	32	22	10
Suelo 10	33	21	11
Suelo 11	33	22	11
Suelo 12	32	20	12
Suelo 13	29	22	8
Suelo 14	30	21	9
Suelo 15	58	29	28
Suelo 16	55	28	27
Suelo 17	40	23	17
Suelo 18	41	24	17
Suelo 19	51	27	24
Suelo 20	53	26	27
Suelo 21	53	28	25
Suelo 22	54	28	26
Suelo 23	34	22	12
Suelo 24	33	21	12
Suelo 25	43	25	18
Suelo 26	42	26	15
Suelo 27	59	27	31
Suelo 28	57	29	28
Suelo 29	34	23	11
Suelo 30	32	23	10

Fuente: Elaboración propia.

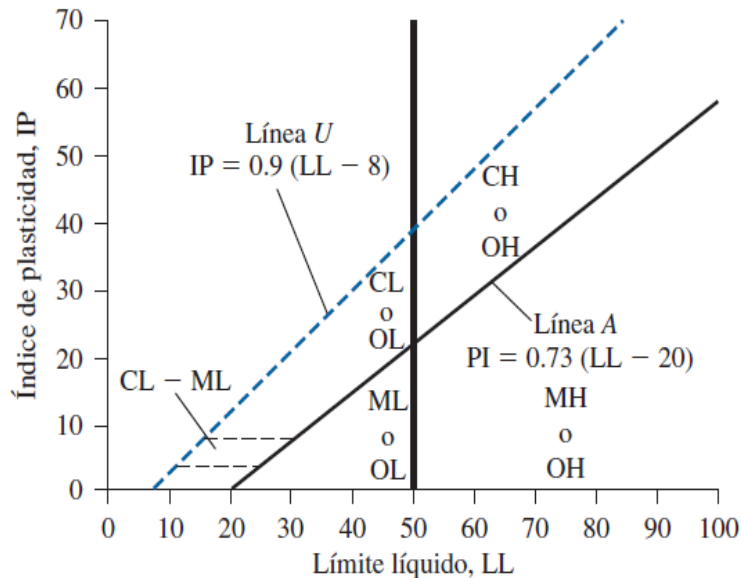
3.4.5. Clasificación S.U.C.S (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)

Clasificación de Suelos (SUCS); este sistema fue adoptado por la ASTM (American Society of Testing Materials) como parte de sus métodos normalizados.

El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS (IRAM 10509 y ASTM D 2487 y 2488) es el de uso más extendido en la práctica. Está basado en el análisis granulométrico y en los límites de Atterberg (límites líquido y plástico) de los suelos.

El objetivo de la clasificación de suelos es de ordenarlos en grupos en base a su granulometría, esto nos facilita la comparación de sus propiedades entre distintos tipos de suelos.

Figura 3.8 Gráfica de plasticidad SUCS



Fuente: Fundamentos de ingeniería en cimentaciones Braja M. Das.

Si al momento de realizar el análisis granulométrico el porcentaje pasante del tamiz #200 es mayor al 50% se debe clasificar al suelo como fino.

La clasificación del suelo fino se realiza a través de alguno de los límites de consistencia del suelo (límite plástico y límite líquido), para obtener así el Índice de Plasticidad (IP) y trabajar con la Carta de Plasticidad. Categorizando el suelo en 4 tipos: CL, CH, ML y MH

Clasificación de suelos según S.U.C.S.

Tabla 3.5 Resumen clasificación según SUCS

	Clasificación SUCS	DESCRIPCION
Suelo 1	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 2	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 3	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 4	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 5	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 6	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 7	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 8	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 9	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 10	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 11	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 12	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 13	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 14	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 15	CH	Arcillas de alta compresibilidad.
Suelo 16	CH	Arcillas de alta compresibilidad.
Suelo 17	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 18	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 19	CH	Arcillas de alta compresibilidad.
Suelo 20	CH	Arcillas de alta compresibilidad.
Suelo 21	CH	Arcillas de alta compresibilidad.
Suelo 22	CH	Arcillas de alta compresibilidad.
Suelo 23	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 24	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 25	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 26	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 27	CH	Arcillas de alta compresibilidad.
Suelo 28	CH	Arcillas de alta compresibilidad.
Suelo 29	CL	Arcillas de baja compresibilidad
Suelo 30	CL	Arcillas de baja compresibilidad

Fuente: Elaboración propia.

3.4.6. Ensayo de compactación AASHTO T180 - 01

La muestra en primer lugar debe estar en estado seco, posteriormente se tamiza la muestra por el tamiz # 4 para usar todo lo que pasa este tamiz en el ensayo, se precede a medir el molde que es usado con ayuda del vernier sus dimensiones del interior para calcular su volumen.

La compactación debe hacerse en cinco capas tomando en cuenta los 25 golpes que recibe cada una, haciendo el uso del martillo T-180 porque en esta investigación estamos haciendo mediante el ensayo de Proctor modificado.

Una vez compactado retiramos el collarín y enrazamos a nivel del molde con ayuda de la regla metálica, determinando su peso de muestra junto con el molde se debe pesar. De esa manera repetir cuatro veces, para obtener cuatro puntos y determinar el contenido de humedad óptima y densidad máxima de las muestras.

Figura 3.9 Ensayo compactación

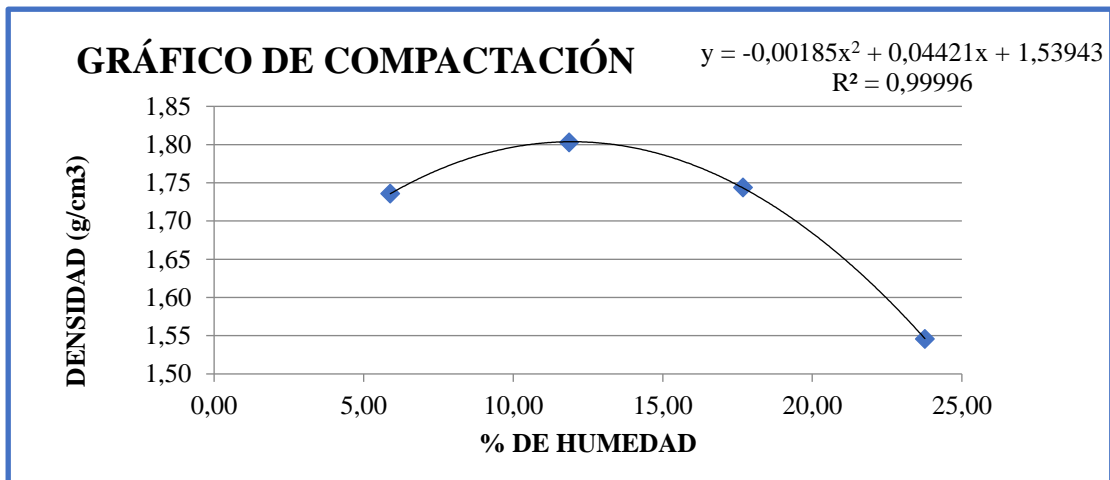


Fuente: Elaboración propia.

Compactación

M1: San Mateo

Muestra: Única	Volumen:			844,81 cm ³
N.º de capas	5	5	5	5
N.º de golpes por capa	25	25	25	25
Peso suelo húmedo + molde	4585,80	4736,80	4766,80	4649,30
Peso del molde	3032,9	3032,9	3032,9	3032,9
Peso suelo húmedo	1552,90	1703,9	1733,9	1616,4
Volumen de la muestra	844,8	844,8	844,8	844,8
Densidad suelo húmedo (gr/cm³)	1,84	2,02	2,05	1,91
Cápsula N.º ^a	1	2	3	4
Peso suelo húmedo + capsula	140,80	142,10	144,10	122,70
Peso suelo seco + cápsula	133,69	128,28	124,40	101,41
Peso del agua	7,11	13,82	19,7	21,29
Peso de la cápsula	12,96	11,83	12,99	11,82
Peso suelo seco	120,73	116,45	111,41	89,59
Contenido de humedad (%)	5,89	11,87	17,68	23,76
Densidad suelo seco (gr/cm³)	1,74	1,80	1,74	1,55



Densidad Máxima	1,80	gr/cm ³
Humedad Óptima	12	%

Resumen de resultados.

Tabla 3.6 Resumen ensayo de compactación

	Densidad máxima (g/cm³)	Humedad óptima (%)
Suelo 1	1,80	11,9
Suelo 2	1,79	11,7
Suelo 3	1,84	12,5
Suelo 4	1,86	11,9
Suelo 5	1,81	13,3
Suelo 6	1,82	13,7
Suelo 7	1,83	11,4
Suelo 8	1,80	12,0
Suelo 9	1,84	12,9
Suelo 10	1,84	13,0
Suelo 11	1,83	11,8
Suelo 12	1,79	11,8
Suelo 13	1,77	12,5
Suelo 14	1,76	12,3
Suelo 15	1,68	16,5
Suelo 16	1,70	16,6
Suelo 17	1,77	13,2
Suelo 18	1,75	13,5
Suelo 19	1,72	15,9
Suelo 20	1,71	16,3
Suelo 21	1,70	16,1
Suelo 22	1,72	16,5
Suelo 23	1,81	13,0
Suelo 24	1,83	13,2
Suelo 25	1,78	12,8
Suelo 26	1,76	13,2
Suelo 27	1,72	16,4
Suelo 28	1,71	16,0
Suelo 29	1,81	13,3
Suelo 30	1,82	13,0

Fuente: Elaboración propia.

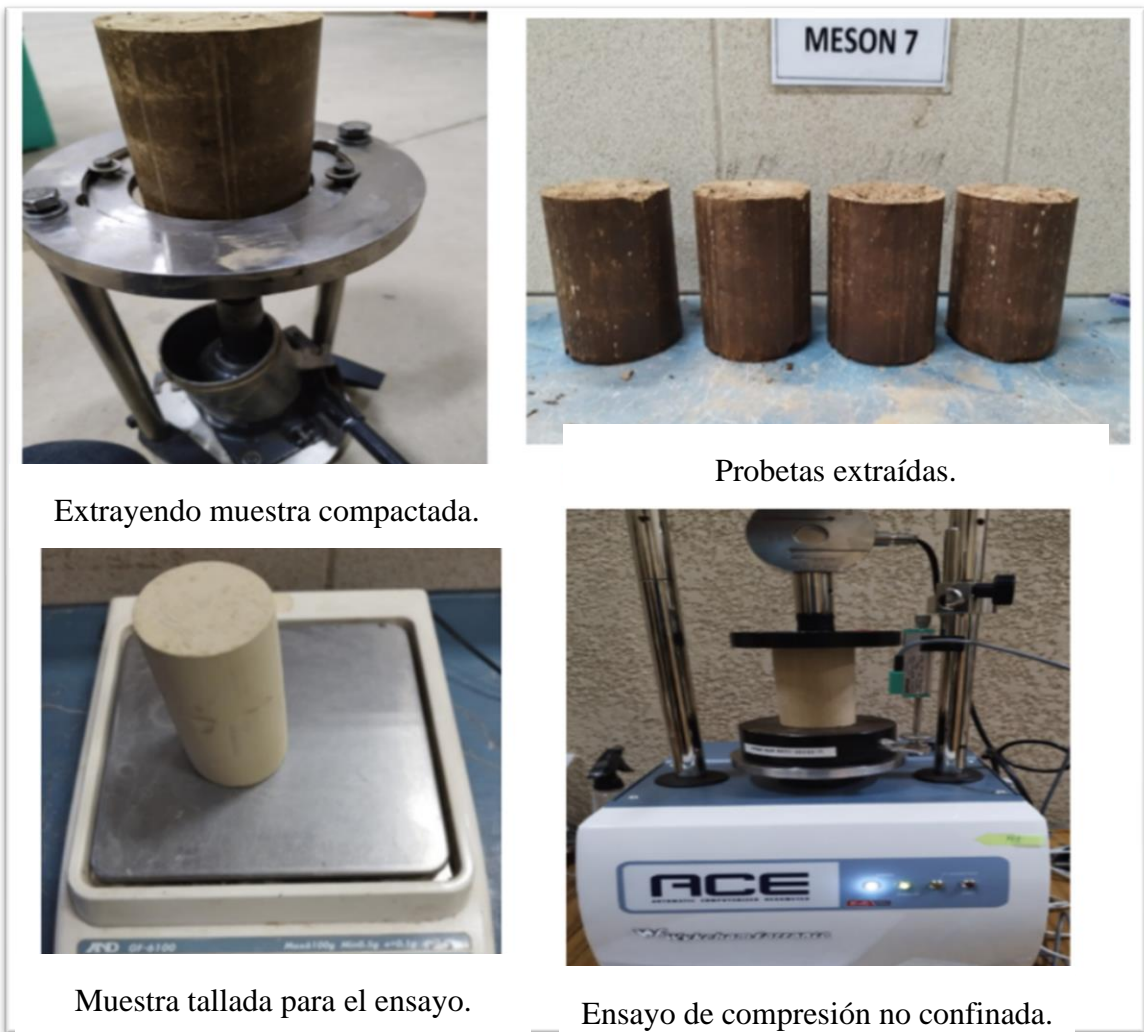
3.4.7. Compresión no confinada (ASTM D2126 - AASHTO T208)

Se realizó el ensayo en muestras alteradas debido a que en el laboratorio se compactaron las muestras con el contenido de humedad óptimo de cada suelo.

Seguidamente se extrajeron las muestras del molde de compactación para tallarlos en cilindros con dimensiones de altura y diámetro recomendadas por la norma.

Con las muestras talladas se introdujo las dimensiones y el peso de cada probeta en el aparato de compresión no confinada y se procedió a realizar el ensayo.

Figura 3.10 Ensayo Compresión no Confinada



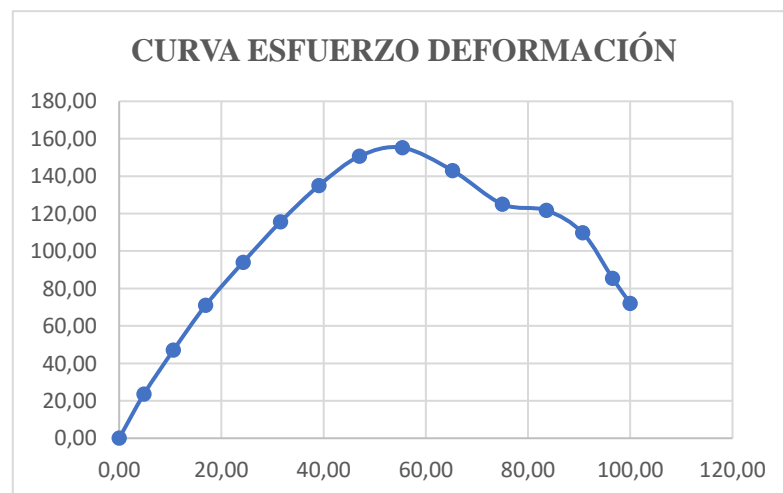
Fuente: Elaboración propia.

Compresión no confinada

M1: San Mateo

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA						
Diámetro	5,52	cm		Volumen	248,74	cm ³
Alt. Inicial	10,38	cm		Alt. Final	10,26	cm
Área	23,98	cm ²				

Deformación de la muestra ΔL	Deformación unitaria	Área CF	Área corregida	Carga	Esfuerzo sobre la muestra	Deformación unitaria	Esfuerzo sobre la muestra
ΔL (mm)	$\epsilon = \Delta L / L_0$	$1-\epsilon$	A_c (cm ²)	C (N)	σ (Kg/cm ²)	ϵ %	σ (KN/m ²)
0	0,00000	1,0000	23,98	0	0,00	0,00	0,00
0,056	0,00054	0,9995	23,99	56	0,24	4,83	23,50
0,123	0,00119	0,9988	24,00	113	0,48	10,61	47,03
0,196	0,00189	0,9981	24,02	171	0,72	16,91	70,99
0,281	0,00271	0,9973	24,04	226	0,96	24,25	94,01
0,366	0,00353	0,9965	24,06	278	1,18	31,58	115,62
0,453	0,00437	0,9956	24,08	325	1,38	39,09	134,97
0,545	0,00525	0,9947	24,10	363	1,54	47,02	150,65
0,642	0,00619	0,9938	24,12	374	1,58	55,39	155,22
0,756	0,00729	0,9927	24,15	345	1,46	65,23	143,00
0,869	0,00838	0,9916	24,18	302	1,27	74,98	125,05
0,969	0,00934	0,9907	24,20	295	1,24	83,61	121,73
1,051	0,01013	0,9899	24,22	266	1,12	90,68	109,69
1,119	0,01079	0,9892	24,24	207	0,87	96,55	85,41
1,159	0,01117	0,9888	24,25	175	0,73	100,00	72,05



Resumen de muestras.

Tabla 3.7 Resumen ensayo compresión no confinada

	q_u (Kg/cm²)	C (Kg/cm²)
Suelo 1	1,58	0,79
Suelo 2	1,51	0,75
Suelo 3	1,71	0,86
Suelo 4	1,67	0,83
Suelo 5	1,61	0,81
Suelo 6	1,59	0,79
Suelo 7	1,47	0,73
Suelo 8	1,46	0,73
Suelo 9	1,54	0,77
Suelo 10	1,51	0,75
Suelo 11	1,46	0,73
Suelo 12	1,49	0,74
Suelo 13	1,39	0,70
Suelo 14	1,35	0,68
Suelo 15	1,19	0,59
Suelo 16	1,17	0,59
Suelo 17	1,41	0,71
Suelo 18	1,44	0,72
Suelo 19	1,33	0,67
Suelo 20	1,35	0,67
Suelo 21	1,21	0,61
Suelo 22	1,23	0,61
Suelo 23	1,56	0,77
Suelo 24	1,54	0,78
Suelo 25	1,43	0,71
Suelo 26	1,45	0,73
Suelo 27	1,22	0,61
Suelo 28	1,20	0,60
Suelo 29	1,49	0,74
Suelo 30	1,45	0,72

Fuente: Elaboración propia.

3.4.8. Determinación de la resistencia al corte método de corte directo.

(ASTM D3080 - AASHTO T236)

Se realizó el ensayo en muestras de suelo alteradas debido a que en el laboratorio se compactaron las muestras con el contenido de humedad óptimo de cada suelo.

Luego de compactar la muestra de suelo se extrajeron las muestras del molde de compactación para tallar las muestras según las dimensiones de la caja de corte directo, a continuación, procedimos a tomar las dimensiones, peso de la muestra tallada antes de iniciar el ensayo.

Figura 3.11 Preparación de muestra para el ensayo de corte directo



Muestra compactada.

Muestra tallada para el ensayo.



Equipo de corte directo.

Fuente: Elaboración propia.

Luego se deja la muestra saturando durante 24 horas con una fuerza normal definida sin que deforme la muestra, al día siguiente se escurre el agua para iniciar el ensayo, se ajusta el manómetro a cero para empezar a medir la deformación durante el corte.

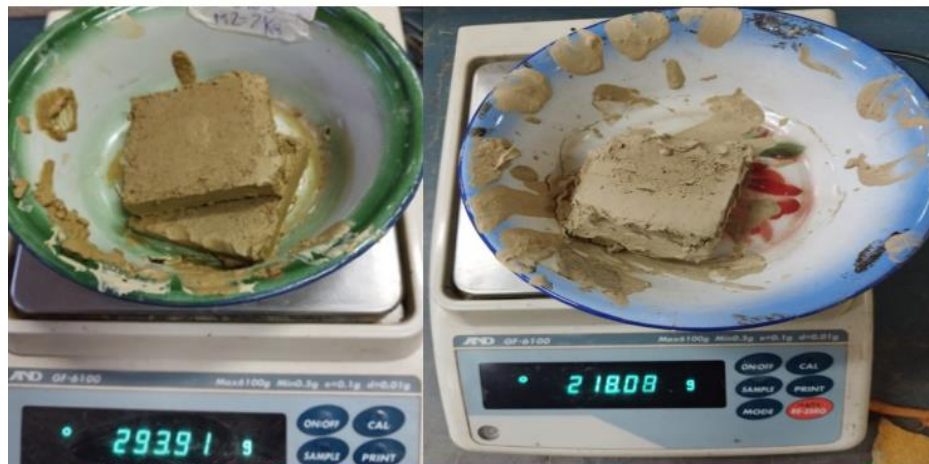
Finalmente se extrae la muestra de la caja de corte en un plato para tener el contenido de humedad de la muestra durante el ensayo.

Figura 3.12 Realización del ensayo de corte directo



Muestra tallada para el ensayo.

Lectura de manómetros.



Muestra después del ensayo y secado del horno.

Fuente: Elaboración propia.

Ensayo corte directo

M1: San Mateo

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA							EXT. VERTICAL ["]=	0,0001					
LADO PROBETA	[cm] =		ANILLO DE PRUEBA	Nro 1	EXT. HORIZONTAL ["]=		0,001						
ÁREA PROBETA	[cm²] =	35,42	FAC. DE CALIBR.	-									
ALTURA PROBETA	[cm] =	2,40	PESO ESPECÍFICO	-									
CARGA APLICADA	[Kg] =	-	(1,00),(2,00),(4,00)	Kg									
	LECTURA EXT. VERTICAL			LECTURA ANILLO DE CARGA			DEFOR.	FUERZA DE CORTE (Kg)			ESFUERZO CORTANTE		
HTZL	1	2	4	1	2	4	HTZL	1	2	4	1	2	4
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	0	0	0,25	0,35	0,45	0,13	4,05	4,13	4,21	0,11	0,12	0,12
10	4	0	4	0,35	0,6	0,8	0,25	4,13	4,34	4,51	0,12	0,12	0,13
15	6,5	0	9	0,55	0,9	1,15	0,38	4,30	4,59	4,80	0,12	0,13	0,14
20	7,8	0	17	0,65	1,15	1,35	0,51	4,38	4,80	4,97	0,12	0,14	0,14
25	9,1	0	17	0,7	1,25	1,55	0,64	4,43	4,89	5,14	0,12	0,14	0,15
30	10,5	0	17	0,75	1,35	1,8	0,76	4,47	4,97	5,35	0,13	0,14	0,15
35	12	0	17	0,8	1,5	2,05	0,89	4,51	5,10	5,56	0,13	0,14	0,16
40	13,5	0	17	0,8	1,65	2,2	1,02	4,51	5,23	5,69	0,13	0,15	0,16
45	14	0	17	0,85	1,8	2,35	1,14	4,55	5,35	5,82	0,13	0,15	0,16
50	14,1	0	17	0,95	1,9	2,45	1,27	4,64	5,44	5,90	0,13	0,15	0,17
55	14,1	0	17,5	1	2,05	2,55	1,40	4,68	5,56	5,98	0,13	0,16	0,17
60	14,1	3	22	1,1	2,2	2,65	1,52	4,76	5,69	6,07	0,13	0,16	0,17
65	14	5	31	1,15	2,35	2,75	1,65	4,80	5,82	6,15	0,14	0,16	0,17
70	12	8	37	1,2	2,45	2,9	1,78	4,85	5,90	6,28	0,14	0,17	0,18
75	11	11	44	1,25	2,5	3,05	1,91	4,89	5,94	6,41	0,14	0,17	0,18
80	10,8	15,5	50	1,35	2,55	3,15	2,03	4,97	5,98	6,49	0,14	0,17	0,18
85	10,5	25	52	1,45	2,55	3,3	2,16	5,06	5,98	6,62	0,14	0,17	0,19
90	10,5	31	56	1,55	2,6	3,4	2,29	5,14	6,03	6,70	0,15	0,17	0,19
95	10,5	36	60	1,65	2,6	3,45	2,41	5,23	6,03	6,74	0,15	0,17	0,19
100	10,5	39	64	1,7	2,6	3,5	2,54	5,27	6,03	6,79	0,15	0,17	0,19
105	11	42	67,5	1,75	2,6	3,5	2,67	5,31	6,03	6,79	0,15	0,17	0,19
110	13	47	71	1,75	2,6	3,55	2,79	5,31	6,03	6,83	0,15	0,17	0,19
115	15	52	78	1,8	2,6	3,55	2,92	5,35	6,03	6,83	0,15	0,17	0,19
120	15,7	58	83,5	1,85	2,6	3,6	3,05	5,39	6,03	6,87	0,15	0,17	0,19

Resumen de muestras

Tabla 3.8 Resumen ensayo corte directo

	ϕ (°)	C (Kg/cm ²)
Suelo 1	25,72	0,140
Suelo 2	25,86	0,150
Suelo 3	26,28	0,171
Suelo 4	25,16	0,167
Suelo 5	28,98	0,137
Suelo 6	28,45	0,134
Suelo 7	29,27	0,140
Suelo 8	27,13	0,147
Suelo 9	24,45	0,164
Suelo 10	22,72	0,146
Suelo 11	28,77	0,145
Suelo 12	27,51	0,137
Suelo 13	28,93	0,113
Suelo 14	26,50	0,117
Suelo 15	19,47	0,203
Suelo 16	18,63	0,212
Suelo 17	26,69	0,126
Suelo 18	26,97	0,125
Suelo 19	21,82	0,182
Suelo 20	21,22	0,177
Suelo 21	21,70	0,187
Suelo 22	22,56	0,194
Suelo 23	25,61	0,145
Suelo 24	24,13	0,149
Suelo 25	26,55	0,153
Suelo 26	27,80	0,145
Suelo 27	21,97	0,175
Suelo 28	23,15	0,168
Suelo 29	27,70	0,140
Suelo 30	24,99	0,144

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV
COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE
RESULTADOS

CAPÍTULO IV

COMPARACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo se tratará mediante el siguiente procedimiento:

- 1.- Análisis estadístico mediante la estadística descriptiva de los parámetros de resistencia al corte determinados mediante el ensayo de corte directo y compresión no confinada.
- 2.- Análisis del grado de relación entre los parámetros resultantes del ensayo de corte directo y compresión no confinada.
- 3.- Análisis correlacional mediante los parámetros resultantes de la caracterización de las muestras para la obtención del ángulo de fricción y cohesión de manera empírica.
- 4.- Comparación entre el ángulo de fricción y cohesión obtenidos en laboratorios y el obtenido a partir de las ecuaciones empíricas.

La comparación y el grado de relación de los parámetros de resistencia al corte obtenidos directamente e indirectamente, se realizó según el tipo de suelo.

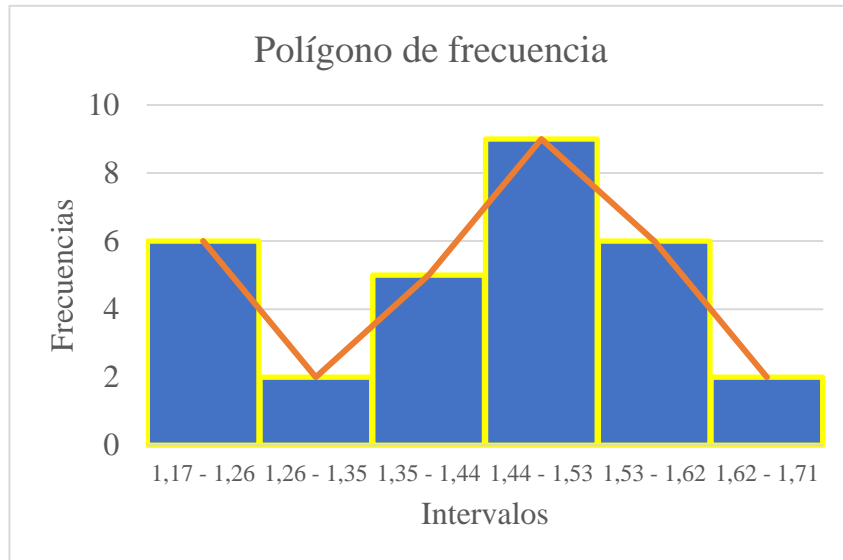
4.1. Análisis estadístico descriptivo de los parámetros de resistencia al corte

Tabla 4.1 Tabla de frecuencias para la carga última (q_u) obtenido mediante el ensayo de compresión no confinada.

N.º clase	L inferior	L superior	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	1,17	1,26	6	20	6	0,2
2	1,26	1,35	2	6,7	8	0,3
3	1,35	1,44	5	16,7	13	0,4
4	1,44	1,53	9	30	22	0,7
5	1,53	1,62	6	20	28	0,9
6	1,62	1,71	2	6,67	30	1
TOTAL			30	100		

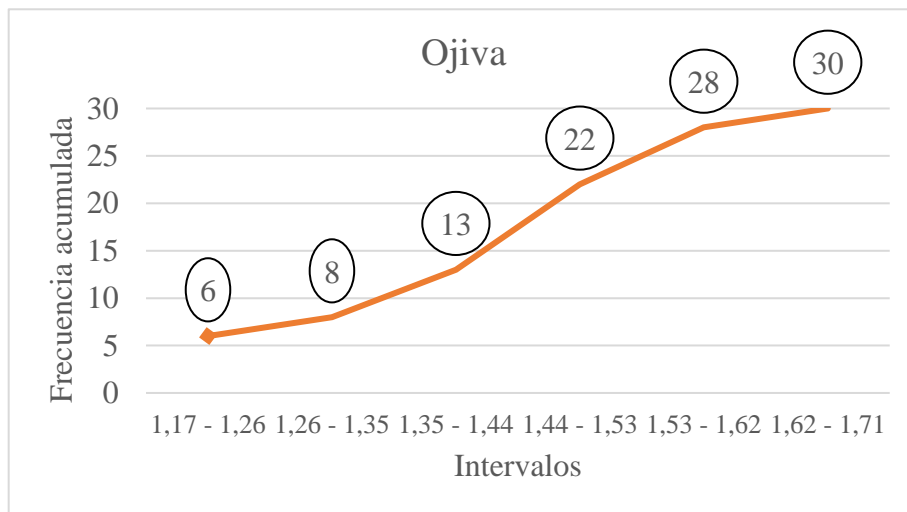
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.1 Histograma de frecuencia absoluta para la carga última



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.2 Histograma de frecuencia acumulada para la carga última



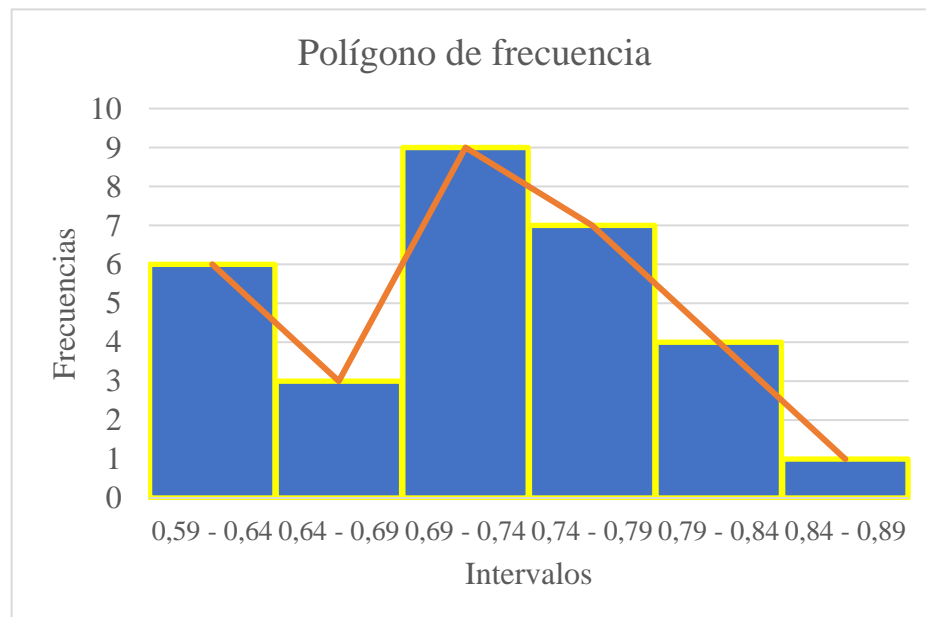
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2 Tabla de frecuencias para la cohesión obtenida mediante el ensayo de compresión no confinada.

N.º clase	L inferior	L superior	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0,59	0,64	6	20	6	0,2
2	0,64	0,69	3	10	9	0,3
3	0,69	0,74	9	30	18	0,6
4	0,74	0,79	7	23,3	25	0,8
5	0,79	0,84	4	13,3	29	1
6	0,84	0,89	1	3,33	30	1
TOTAL			30	100		

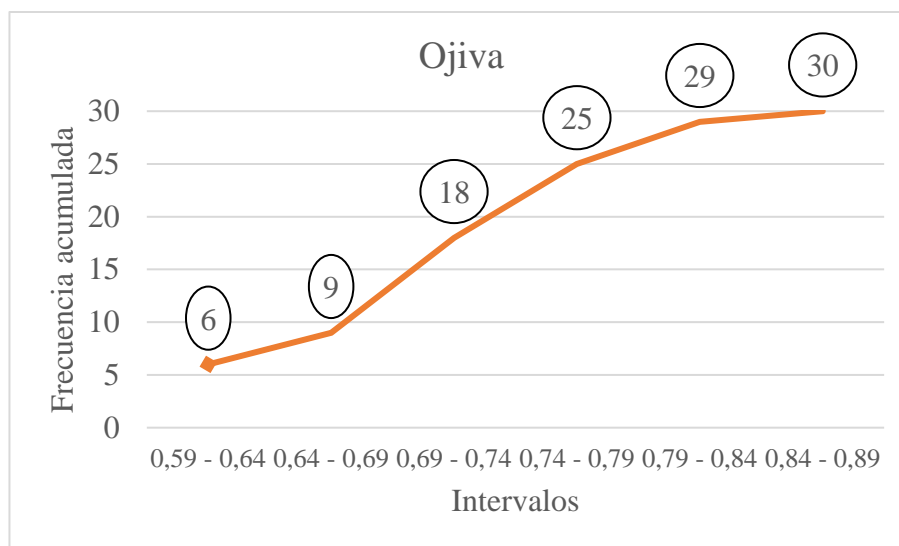
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.3 Histograma de frecuencia absoluta para la cohesión.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.4 Histograma de frecuencia acumulada para la cohesión.



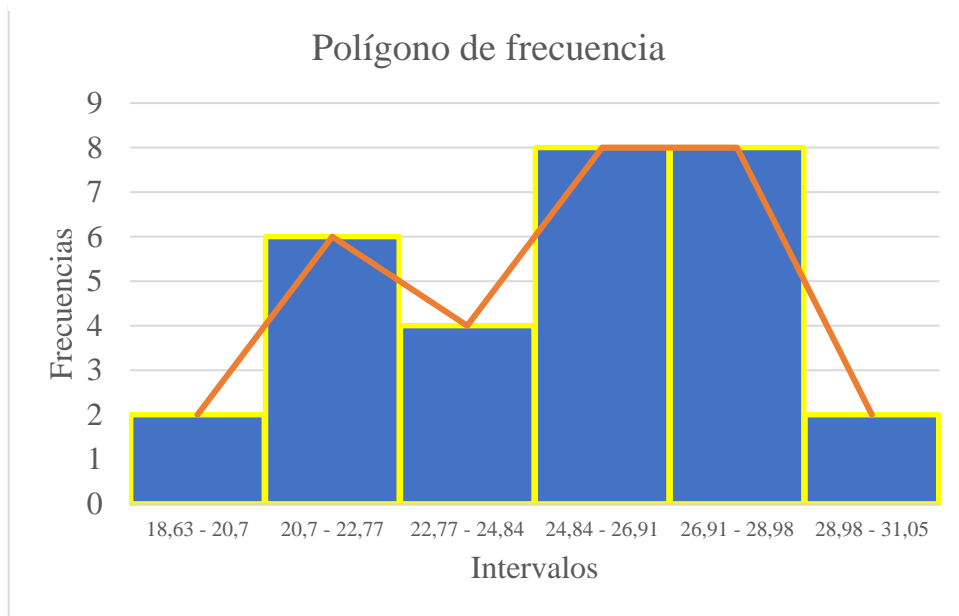
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3 Tabla de frecuencias para el ángulo de fricción obtenido mediante el ensayo de corte directo.

N.º clase	L inferior	L superior	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	18,63	20,7	2	6,7	2	0,1
2	20,7	22,77	6	20	8	0,3
3	22,77	24,84	4	13,3	12	0,4
4	24,84	26,91	8	26,7	20	0,7
5	26,91	28,98	8	26,7	28	0,9
6	28,98	31,05	2	6,7	30	1
TOTAL			30	100		

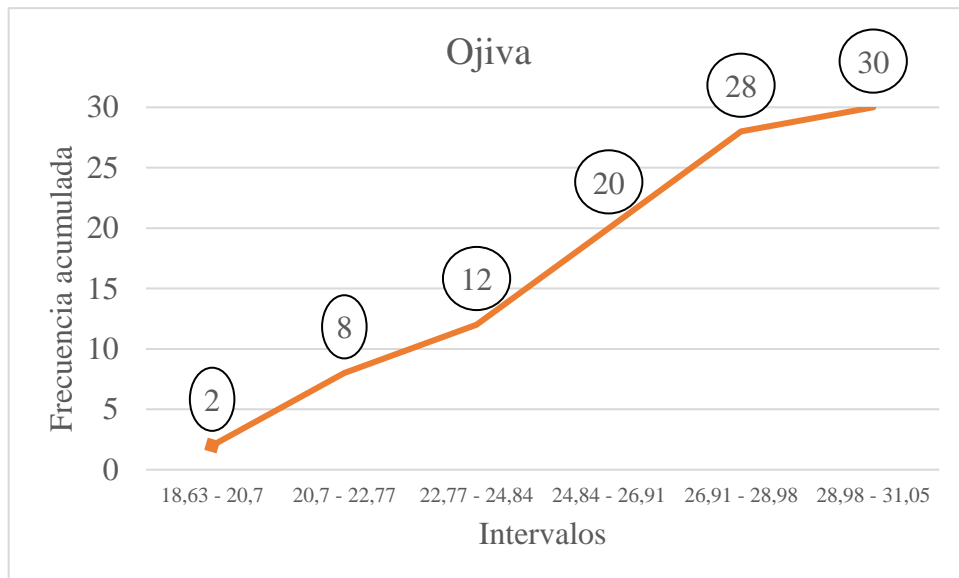
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.5 Histograma de frecuencia absoluta para el ángulo de fricción.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.6 Histograma de frecuencia acumulada para el ángulo de fricción.



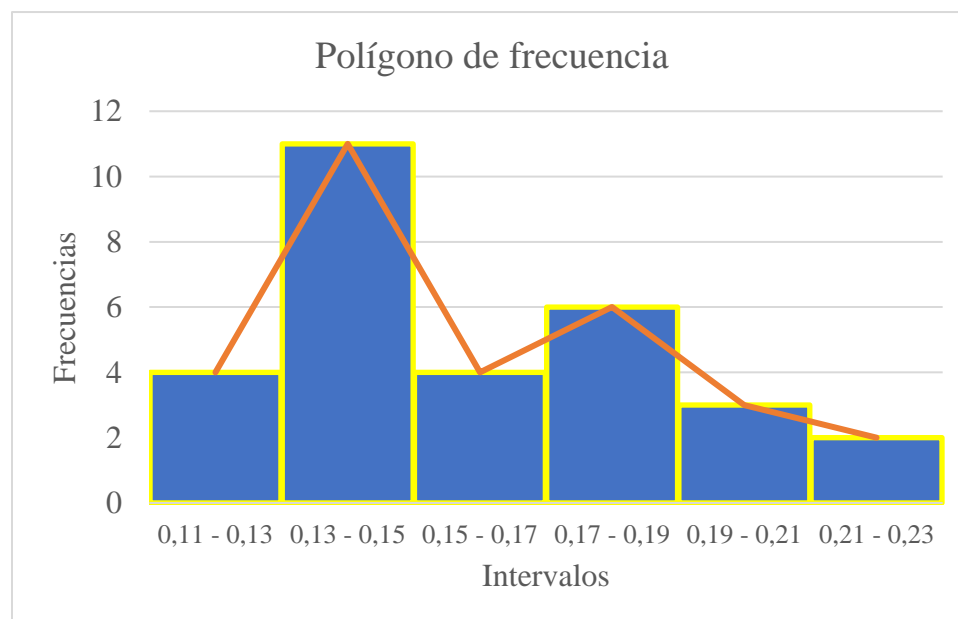
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.4 Tabla de frecuencias para la cohesión obtenido mediante el ensayo de corte directo.

N.º clase	L inferior	L superior	Frecuencia absoluta	Frecuencia relativa	Frecuencia absoluta acumulada	Frecuencia relativa acumulada
1	0,11	0,13	4	13,3	4	0,1
2	0,13	0,15	11	36,7	15	0,5
3	0,15	0,17	4	13,3	19	0,6
4	0,17	0,19	6	20	25	0,8
5	0,19	0,21	3	10	28	0,9
6	0,21	0,23	2	6,7	30	1
TOTAL			30	100		

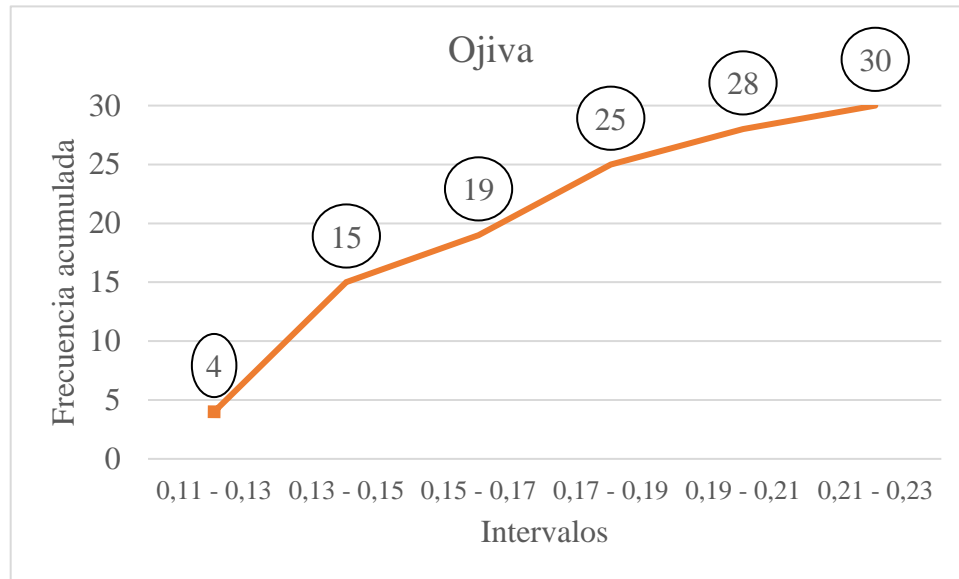
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.7 Histograma de frecuencia absoluta para la cohesión.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4.8 Histograma de frecuencia acumulada para la cohesión.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.5 Planilla de estadística descriptiva

Estadístico	Parámetros de resistencia al corte			
	Ensayo de compresión no confinada		Ensayo de corte directo	
	q_u (Kg/cm ²)	C (Kg/cm ²)	ϕ (°)	C (Kg/cm ²)
Población	30	30	30	30
Máximo	1,71	0,86	31,05	0,21
Mínimo	1,17	0,59	18,63	0,11
Media	1,43	0,72	25,26	0,15
Mediana	1,45	0,73	25,79	0,15
Desviación muestral	0,145	0,073	3,036	0,025
Desviación poblacional	0,143	0,071	2,985	0,024

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Grado de relación de los parámetros de resistencia al corte en suelos CL y CH

Para determinar el grado de relación entre las variables se realizó lo siguiente:

- Aplicación de la prueba de normalidad para determinar si la muestra es paramétrica o no paramétrica.
- Según la prueba de normalidad se realizó la correlación mediante Pearson para muestras paramétricas.
- Conociendo el grado de relación se realizó una regresión lineal simple.

Tabla 4.6 Escala de valores r

Valor de r	Interpretación
+ 0,91 a + 1,00	Correlación positiva perfecta
+ 0,76 a + 0,90	Correlación positiva muy fuerte
+ 0,51 a + 0,75	Correlación positiva considerable
+ 0,11 a + 0,50	Correlación positiva media
+ 0,01 a + 0,10	Correlación positiva débil
0,00	No existe correlación alguna entre las variables
- 0,01 a - 0,10	Correlación negativa débil
- 0,11 a - 0,50	Correlación negativa media
- 0,51 a - 0,75	Correlación negativa considerable
- 0,76 a - 0,90	Correlación negativa muy fuerte
- 0,91 a - 1,00	Correlación negativa perfecta

Fuente: Metodología de la investigación 6° edición.

4.3. Análisis de muestras CL (Arcillas de baja plasticidad)

4.3.1. Grado de relación entre Carga última (q_u) vs Ángulo de fricción interna (Φ)

En la tabla 4.7 muestra los resultados obtenidos de carga última mediante el ensayo de compresión no confinada y ángulo de fricción mediante el ensayo de corte directo realizado en suelos cohesivos con una clasificación CL.

Tabla 4.7 Resultados carga última y ángulo de fricción

	Suelo	q_u (Kg/cm ²)	Φ (°)
Suelo 1	CL	1,58	25,72
Suelo 2	CL	1,51	25,86
Suelo 3	CL	1,71	26,28
Suelo 4	CL	1,67	25,16
Suelo 5	CL	1,61	28,98
Suelo 6	CL	1,59	28,45
Suelo 7	CL	1,47	29,27
Suelo 8	CL	1,46	27,13
Suelo 9	CL	1,54	25,04
Suelo 10	CL	1,51	22,72
Suelo 11	CL	1,46	28,77
Suelo 12	CL	1,49	27,51
Suelo 13	CL	1,39	28,93
Suelo 14	CL	1,35	26,50
Suelo 15	CL	1,41	26,69
Suelo 16	CL	1,44	26,97
Suelo 17	CL	1,56	25,61
Suelo 18	CL	1,54	24,13
Suelo 19	CL	1,43	26,55
Suelo 20	CL	1,45	27,80
Suelo 21	CL	1,49	27,70
Suelo 22	CL	1,45	24,99
Media \bar{x}		1,49	26,62
Desviación estándar σ		0,09	1,70
Máximo		1,71	29,27
Mínimo		1,35	22,72

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Prueba de Normalidad

Plantear las hipótesis

Ho: Los datos no tienen una distribución normal

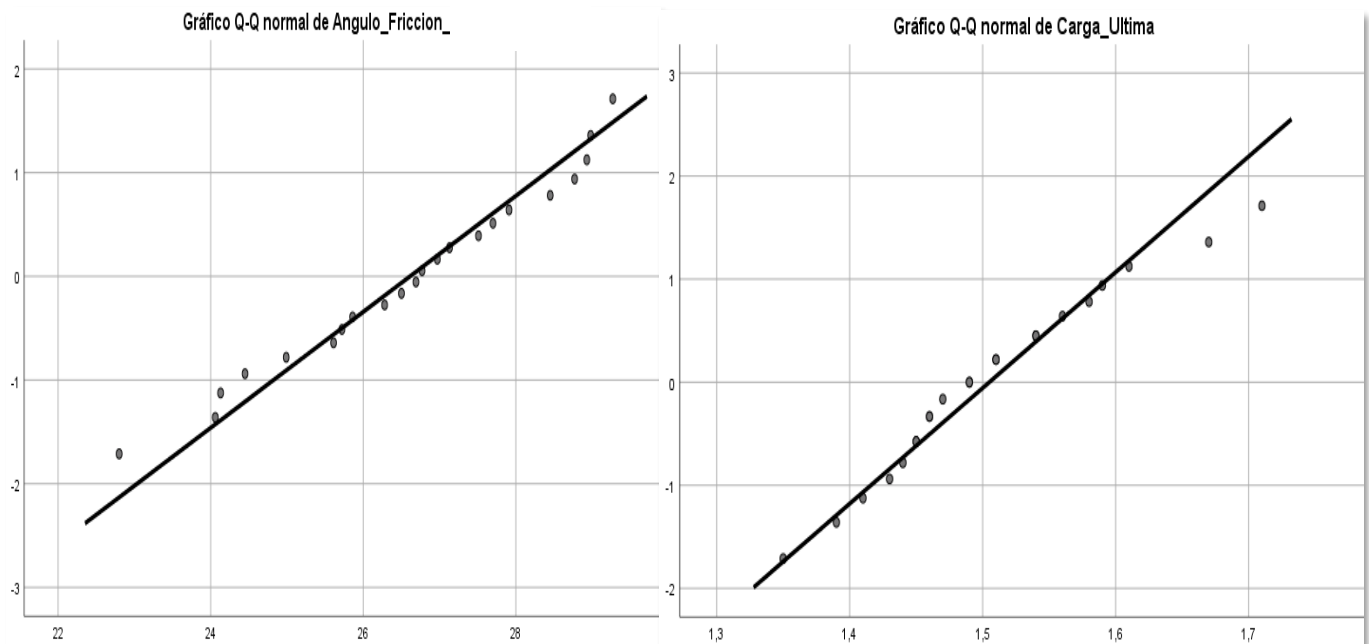
H1: Los datos tienen una distribución normal

Tabla 4.8 Prueba de normalidad

Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	p
Carga última	0,969	22	0,684
Ángulo de fricción	0,971	22	0,729

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Figura 4.9 Gráfica de normalidad carga última y ángulo de fricción



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la H_a y acepto la H_o .

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la H_a y rechazamos la H_o .

Decisión y conclusión

Según la tabla 4.8 de prueba de normalidad, observamos que los grados de libertad(gl) es de 22, por lo que se utilizará la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Asimismo, el P-valor (carga última) es $0,684 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de datos es normal, P-valor(ángulo de fricción) es $0,729 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de datos es normal, como ambas variables presentan una distribución normal se trabajara con la estadística paramétrica.

4.3.3. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal.

1. Plantear las hipótesis

H_o : No existe correlación entre Carga última y Ángulo

H_a : Si existe correlación entre Carga última y Ángulo

Tabla 4.9 Correlación de Pearson de la Carga ultima y
Ángulo de fricción

	r	p	N
Carga última – Ángulo de fricción	-0,215	0,336	22

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la H_o y acepto la H_a

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la H_o y rechazamos la H_a .

Decisión y conclusión

Dado que el P-valor es mayor a $0,05$ lo cual determina que no existe relación lineal entre la carga última y el ángulo de fricción interno.

Por medio del IBM SPSS se encontró P-valor = $0,336 > 0,05$, por lo tanto, no existe correlación entre las muestras.

4.3.4. Regresión lineal simple

Según IBM SPSS, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, vemos que ninguno tiene relación.

Tabla 4.10 Resumen de regresión lineal simple

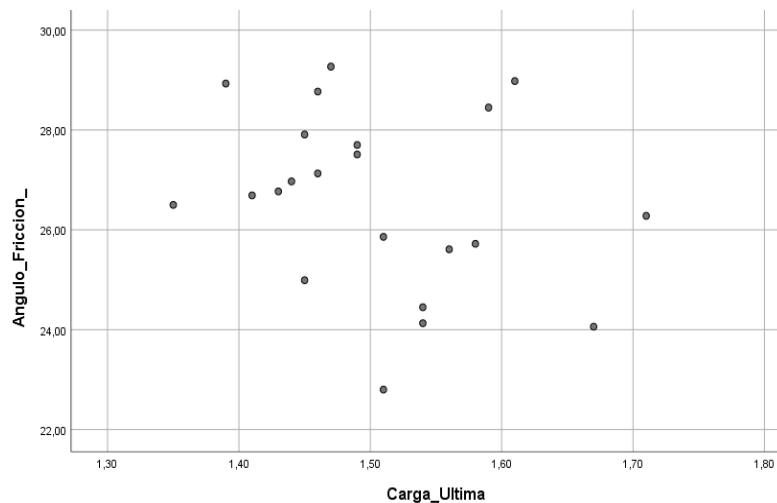
Variable dependiente: Ángulo de fricción					
Ecuación	Resumen del modelo	Estimaciones de parámetro			
	R cuadrado	Constante	b1	b2	b3
Lineal	0,046	32,856	-4,110		
Logarítmico	0,048	29,260	-6,360		
Inverso	0,049	20,151	9,780		
Cuadrático	0,056	73,357	-57,252	17,371	
Cúbico	0,056	60,307	-31,134	0,000	3,839
Compuesto	0,046	33,679	0,855		
Potencia	0,048	29,378	-0,242		
S	0,049	3,033	0,373		
Logística	0,046	0,030	1,169		

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta la variable dependiente al valor de ángulo obtenido por el ensayo de corte directo y la variable independiente al valor de la carga última obtenido por el ensayo de compresion no confinada tenemos la siguiente gráfica:

Donde observamos que los puntos no siguen ninguna línea de tendencia y son aleatorios

Figura 4.10 Diagrama de dispersión de datos ángulo de fricción vs carga última



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

4.3.5. Grado de relación entre Carga última (q_u) vs Cohesión (C)

En la tabla 4.11 muestra los resultados obtenidos de carga última mediante el ensayo de compresión no confinada y cohesión mediante el ensayo de corte directo realizado en suelos cohesivos con una clasificación CL.

Tabla 4.11 Resultados carga última y cohesión

	Suelo	q_u (Kg/cm ²)	C (Kg/cm ²)	
	Suelo 1	CL	1,58	0,140
	Suelo 2	CL	1,51	0,150
	Suelo 3	CL	1,71	0,171
	Suelo 4	CL	1,67	0,168
	Suelo 5	CL	1,61	0,137
	Suelo 6	CL	1,59	0,134
	Suelo 7	CL	1,47	0,140
	Suelo 8	CL	1,46	0,147
	Suelo 9	CL	1,54	0,164
	Suelo 10	CL	1,51	0,146
	Suelo 11	CL	1,46	0,145
	Suelo 12	CL	1,49	0,137
	Suelo 13	CL	1,39	0,113
	Suelo 14	CL	1,35	0,117
	Suelo 15	CL	1,41	0,126
	Suelo 16	CL	1,44	0,125
	Suelo 17	CL	1,56	0,145
	Suelo 18	CL	1,54	0,149
	Suelo 19	CL	1,43	0,154
	Suelo 20	CL	1,45	0,146
	Suelo 21	CL	1,49	0,140
	Suelo 22	CL	1,45	0,144
	Media \bar{x}		1,49	0,14
	Desviación estándar σ		0,09	0,01
	Máximo		1,71	0,17
	Mínimo		1,35	0,11

Fuente: Elaboración propia.

4.3.6. Prueba de Normalidad

Plantear las hipótesis

Ho: Los datos no tienen una distribución normal

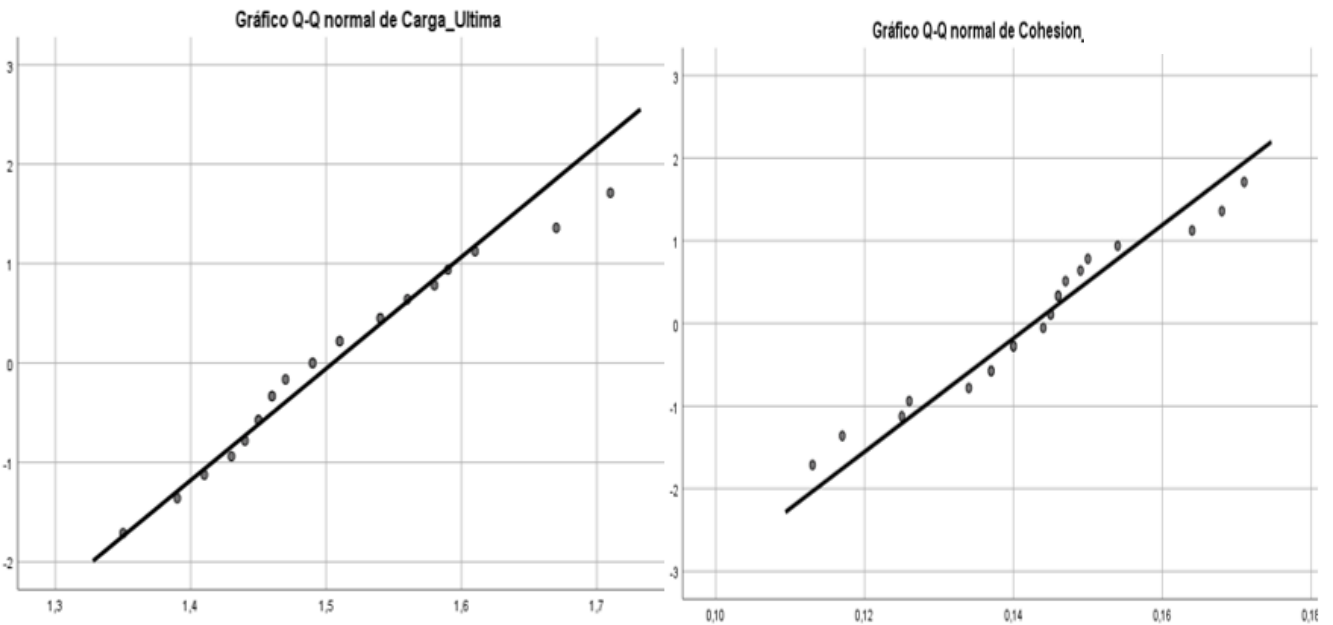
H1: Los datos tienen una distribución normal

Tabla 4.12 Prueba de normalidad
Shapiro-Wilk

	Estadístico	gl	p
Carga última	0,969	22	0,684
Cohesión	0,961	22	0,515

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Figura 4.11 Grafica de normalidad carga última y cohesión



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la H_0 y acepto la H_a

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

Decisión y conclusión

Según la tabla 4.12 de prueba de normalidad, observamos que los grados de libertad(gl) es de 22, por lo que se utilizara la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Asimismo, el P-valor (carga última) es $0,684 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de datos es normal, P-valor (cohesión) es $0,515 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de dato es normal, como ambas variables presentan una distribución normal se trabajara con la estadística paramétrica.

4.3.7. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal.

1. Plantear las hipótesis

H_0 : No existe correlación entre Carga última y Cohesión

H_a : Si existe correlación entre Carga última y Cohesión

Tabla 4.13 Correlación de Pearson de la Carga última y Cohesión

	r	P	N
Carga última - Cohesión	0,685	0,000	22

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la H_0 y acepto la H_a

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

Decisión y conclusión

Dado que el p-valor es menor a 0.05 determinamos que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que la carga última está relacionada significativamente con la cohesión.

Por otra parte, el coeficiente de correlación de Pearson = + 0,685, lo cual indica una relación positiva de nivel CONSIDERABLE.

4.3.8. Regresión lineal simple

Según IBM SPSS, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo Cuadrático es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 47,8 %.

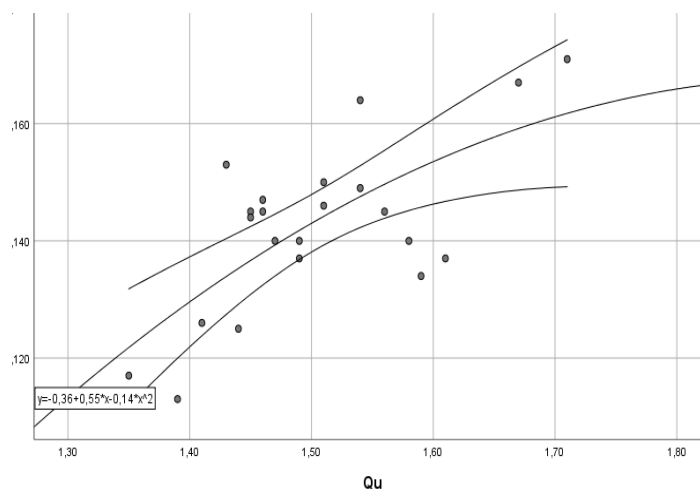
Tabla 4.14 Resumen de regresión lineal simple

Variable dependiente: Cohesión					
Ecuación	Resumen del modelo	Estimaciones de parámetro			
	R cuadrado	Constante	b1	b2	b3
Lineal	0,469	-0,025	0,111		
Logarítmico	0,474	0,073	0,170		
Inverso	0,478	0,316	-0,260		
Cuadrático	0,478	-0,361	0,552	-0,144	
Cúbico	0,478	-0,361	0,552	-0,144	0,000
Compuesto	0,460	0,044	2,190		
Potencia	0,467	0,087	1,205		
S	0,475	-0,725	-1,843		
Logística	0,460	22,946	0,457		

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta la variable dependiente al valor de cohesión obtenido por el ensayo de corte directo y la variable independiente al valor de la carga última obtenido por el ensayo de compresión no confinada tenemos la siguiente gráfica:

Figura 4.12 Diagrama de dispersión de datos cohesión vs carga última



Fuente: IBM SPSS Statistics 26

4.3.9. Grado de relación entre Cohesión (C) vs Ángulo de fricción

En la tabla 4.15 muestra los resultados obtenidos de cohesión mediante el ensayo de compresión no confinada y ángulo de fricción mediante el ensayo de corte directo realizado en suelos cohesivos con una clasificación CL.

Tabla 4.15 Resultados cohesión y ángulo de fricción

	Suelo	C (Kg/cm ²)	φ (°)	
	Suelo 1	CL	0,79	25,72
	Suelo 2	CL	0,75	25,86
	Suelo 3	CL	0,86	26,28
	Suelo 4	CL	0,83	24,06
	Suelo 5	CL	0,81	28,98
	Suelo 6	CL	0,79	28,45
	Suelo 7	CL	0,74	29,27
	Suelo 8	CL	0,73	27,13
	Suelo 9	CL	0,77	24,45
	Suelo 10	CL	0,75	22,80
	Suelo 11	CL	0,73	28,77
	Suelo 12	CL	0,74	27,51
	Suelo 13	CL	0,69	28,93
	Suelo 14	CL	0,68	26,50
	Suelo 15	CL	0,71	26,69
	Suelo 16	CL	0,72	26,97
	Suelo 17	CL	0,77	25,61
	Suelo 18	CL	0,78	24,13
	Suelo 19	CL	0,71	26,77
	Suelo 20	CL	0,73	27,91
	Suelo 21	CL	0,75	27,70
	Suelo 22	CL	0,73	24,99
	Media \bar{x}		0,75	26,73
	Desviación estándar σ		0,04	1,79
	Máximo		0,86	29,27
	Mínimo		0,68	22,80

Fuente: Elaboración propia.

4.3.10. Prueba de Normalidad

Plantear las hipótesis

Ho: Los datos tienen una distribución normal

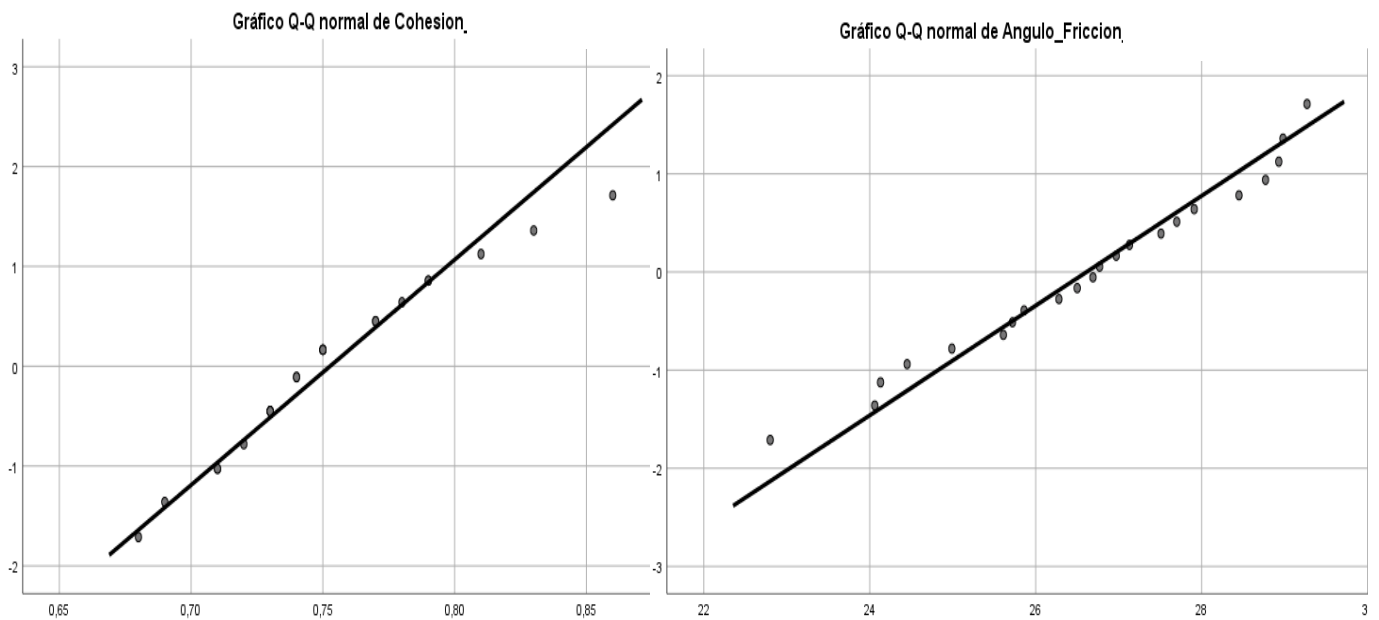
H1: Los datos no tienen una distribución normal

Tabla 4.16 Prueba de normalidad
Shapiro-Wilk

	Estadístico	gl	p
Cohesión	0,949	22	0,295
Ángulo de fricción	0,979	22	0,729

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Figura 4.13 Gráfica de normalidad carga última y cohesión



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la H_0 y acepto la H_a

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

Decisión y conclusión

Según la tabla 4.16 de prueba de normalidad, observamos que los grados de libertad(gl) es de 22, por lo que se utilizara la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Asimismo, el P-valor (cohesión) es $0,295 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de datos es normal, P-valor (ángulo de fricción) es $0,729 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de dato es normal, como ambas variables presentan una distribución normal se trabajara con la estadística paramétrica.

4.3.11. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal.

1. Plantear las hipótesis

H_0 : No existe correlación entre Cohesión y Ángulo de fricción

H_a : Si existe correlación entre Cohesión y Ángulo de fricción

Tabla 4.17 Correlación de Pearson de la Cohesión y
Ángulo de fricción

	r	p	N
Ángulo de fricción- Cohesión	-0,204	0,363	22

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la H_0 y acepto la H_a

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

Decisión y conclusión

Dado que el p-valor es mayor a $0,05$ lo cual determina que no existe relación lineal entre la carga última y el ángulo de fricción.

4.3.12. Regresión lineal simple

Según IBM SPSS, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, vemos que ninguno tiene relación

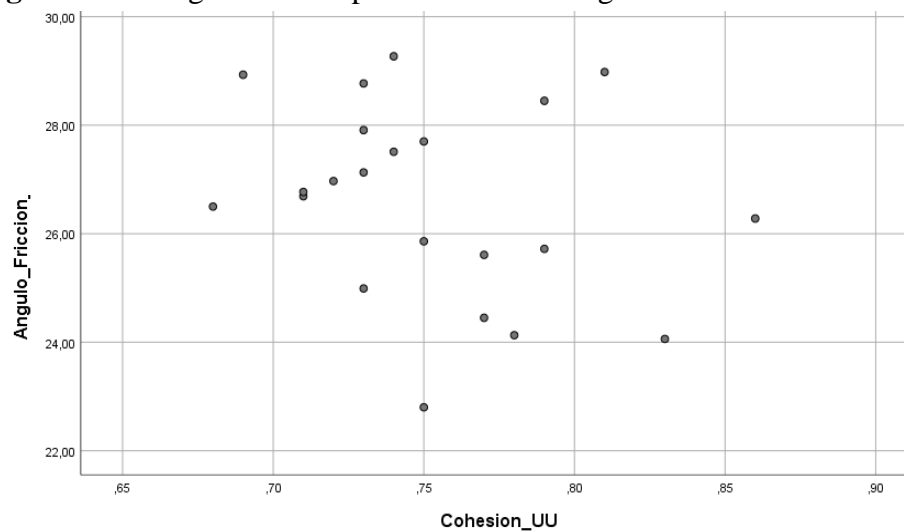
Tabla 4.18 Resumen de regresión lineal simple

Variable dependiente: Ángulo de fricción					
Ecuación	Resumen del modelo	Estimaciones de parámetro			
	R cuadrado	Constante	b1	b2	b3
Lineal	0,041	32,560	-7,833		
Logarítmico	0,043	24,920	-6,102		
Inverso	0,044	20,365	4,725		
Cuadrático	0,054	81,332	-135,323	83,014	
Cúbico	0,055	65,488	-72,419	0,000	36,410
Compuesto	0,041	33,301	0,742		
Potencia	0,043	24,901	-0,233		
S	0,045	3,041	0,180		
Logística	0,041	0,030	1,347		

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta la variable dependiente al valor de ángulo de fricción obtenido por el ensayo de corte directo y la variable independiente al valor de la cohesión obtenido por el ensayo de compresión no confinada tenemos la siguiente gráfica:

Figura 4.14 Diagrama de dispersión de datos ángulo de fricción vs cohesión



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

4.3.13. Grado de relación entre Cohesión (C) vs Cohesión (C)

En la tabla 4.19 muestra los resultados obtenidos de cohesión mediante el ensayo de compresión no confinada y cohesión mediante el ensayo de corte directo realizado en suelos cohesivos con una clasificación CL.

Tabla 4.19 Resultados cohesión y cohesión.

	Suelo	C (Kg/cm ²)	C (Kg/cm ²)
Suelo 1	CL	0,79	0,140
Suelo 2	CL	0,75	0,150
Suelo 3	CL	0,86	0,171
Suelo 4	CL	0,83	0,168
Suelo 5	CL	0,81	0,137
Suelo 6	CL	0,79	0,134
Suelo 7	CL	0,74	0,140
Suelo 8	CL	0,73	0,147
Suelo 9	CL	0,77	0,164
Suelo 10	CL	0,75	0,146
Suelo 11	CL	0,73	0,145
Suelo 12	CL	0,74	0,137
Suelo 13	CL	0,69	0,113
Suelo 14	CL	0,68	0,117
Suelo 15	CL	0,71	0,126
Suelo 16	CL	0,72	0,125
Suelo 17	CL	0,77	0,145
Suelo 18	CL	0,78	0,149
Suelo 19	CL	0,71	0,154
Suelo 20	CL	0,73	0,146
Suelo 21	CL	0,75	0,140
Suelo 22	CL	0,73	0,144
Media \bar{x}		0,75	0,144
Desviación estándar σ		0,04	0,015
Máximo		0,86	0,171
Mínimo		0,68	0,113

Fuente: Elaboración propia.

4.3.14. Prueba de Normalidad

Plantear las hipótesis

Ho: Los datos tienen una distribución normal

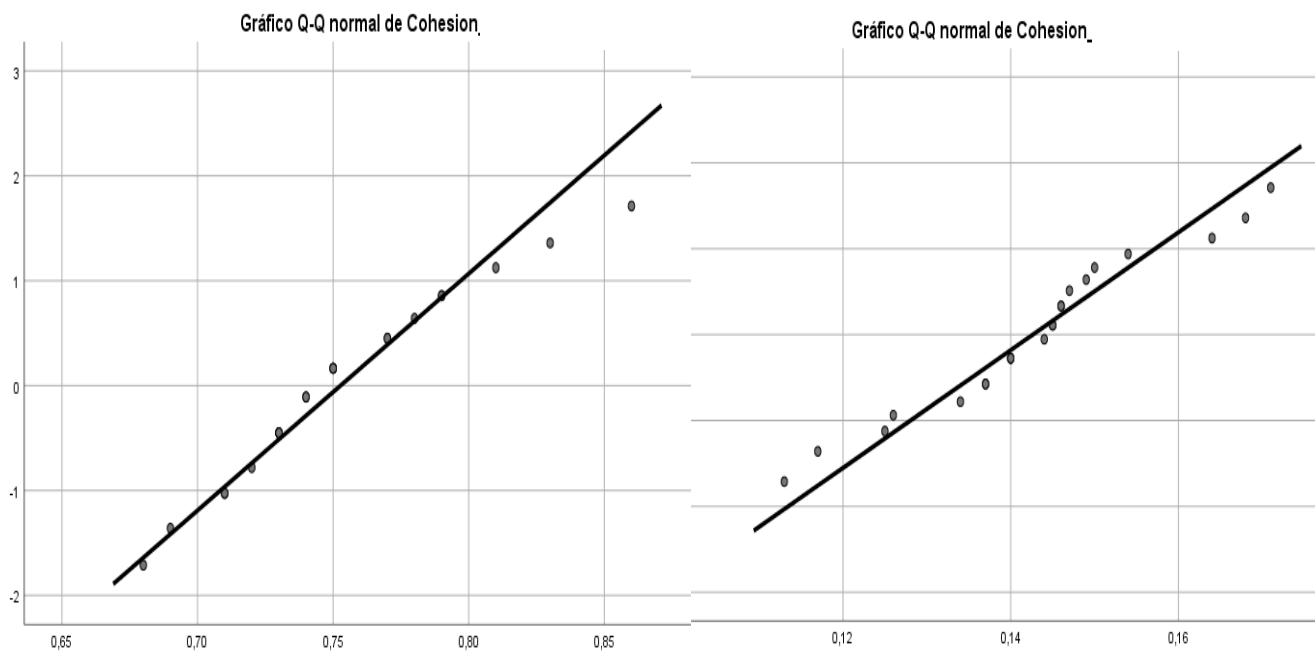
H1: Los datos no tienen una distribución normal

Tabla 4.20 Prueba de normalidad
Shapiro-Wilk

	Estadístico	gl	p
Cohesión	0,949	22	0,295
Cohesión	0,961	22	0,515

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Figura 4.15 Gráfica de normalidad cohesión y cohesión



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la H_0 y acepto la H_a

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

Decisión y conclusión

Según la tabla 4.20 de prueba de normalidad, observamos que los grados de libertad(gl) es de 22, por lo que se utilizara la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Asimismo, el P-valor (cohesión) es $0,295 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de datos es normal, P-valor (cohesión) es $0,515 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de dato es normal, como ambas variables presentan una distribución normal se trabajara con la estadística paramétrica.

4.3.15. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal.

1. Plantear las hipótesis

H_0 : No existe correlación entre Cohesión y Cohesión.

H_a : Si existe correlación entre Cohesión y Cohesión.

Tabla 4.21 Correlación de Pearson de la Cohesión y Cohesión.

	r	p	N
Cohesión - Cohesión	0,664	0,001	22

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la H_0 y acepto la H_a

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

Decisión y conclusión

Dado que el p-valor es menor a 0.05 determinamos que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que la cohesión obtenida mediante el ensayo de corte directo está relacionada significativamente con la cohesión obtenida mediante el ensayo de compresión no confinada.

Por otra parte, el coeficiente de correlación de Pearson = +0.664, lo cual indica una relación positiva de nivel CONSIDERABLE.

4.3.16. Regresión lineal simple

Según IBM SPSS, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo Cuadrático es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 44,8 %.

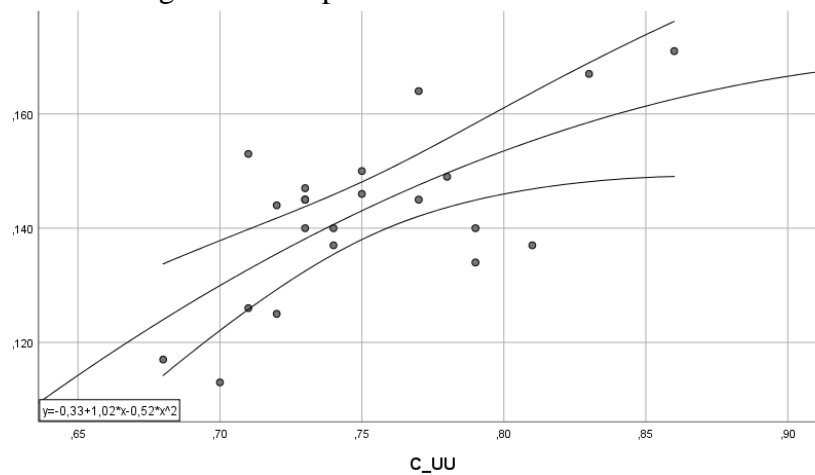
Tabla 4.22 Resumen de regresión lineal simple Cohesión vs Cohesión

Variable dependiente: Cohesión					
Ecuación	Resumen del modelo	Estimaciones de parámetro			
	R cuadrado	Constante	b1	b2	b3
Lineal	0,441	-0,021	0,217		
Logarítmico	0,445	0,190	0,167		
Inverso	0,449	0,313	-0,128		
Cuadrático	0,448	-0,329	1,023	-0,525	
Cúbico	0,448	-0,329	1,023	-0,525	0,000
Compuesto	0,428	0,045	4,584		
Potencia	0,435	0,199	1,174		
S	0,441	-0,751	-0,901		
Logística	0,428	22,155	0,218		

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta la variable dependiente al valor de cohesión obtenido por el ensayo de corte directo y la variable independiente al valor de la cohesión obtenido por el ensayo de compresion no confinada tenemos la siguiente gráfica:

Figura 4.16 Diagrama de dispersión de datos cohesión vs cohesión



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

4.4. Análisis de muestras CH (Arcillas de alta plasticidad)

4.4.1. Grado de relación entre Carga última (q_u) vs Ángulo de fricción (Φ)

En la tabla 4.23 muestra los resultados obtenidos de carga ultima mediante el ensayo de compresión no confinada y ángulo de fricción mediante el ensayo de corte directo realizado en suelos cohesivos con una clasificación CH.

Tabla 4.23 Resultados carga última y ángulo de fricción

	Suelo	q_u (Kg/cm ²)	ϕ (°)
Suelo 1	CH	1,19	19,47
Suelo 2	CH	1,17	18,63
Suelo 3	CH	1,28	21,82
Suelo 4	CH	1,31	21,22
Suelo 5	CH	1,21	21,70
Suelo 6	CH	1,23	22,56
Suelo 7	CH	1,22	21,97
Suelo 8	CH	1,20	23,15
Media \bar{x}		1,21	21,76
Desviación estándar σ		0,05	1,53
Máximo		1,31	23,15
Mínimo		1,17	18,63

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Prueba de Normalidad

Plantear las hipótesis

Ho: Los datos no tienen una distribución normal

H1: Los datos tienen una distribución normal

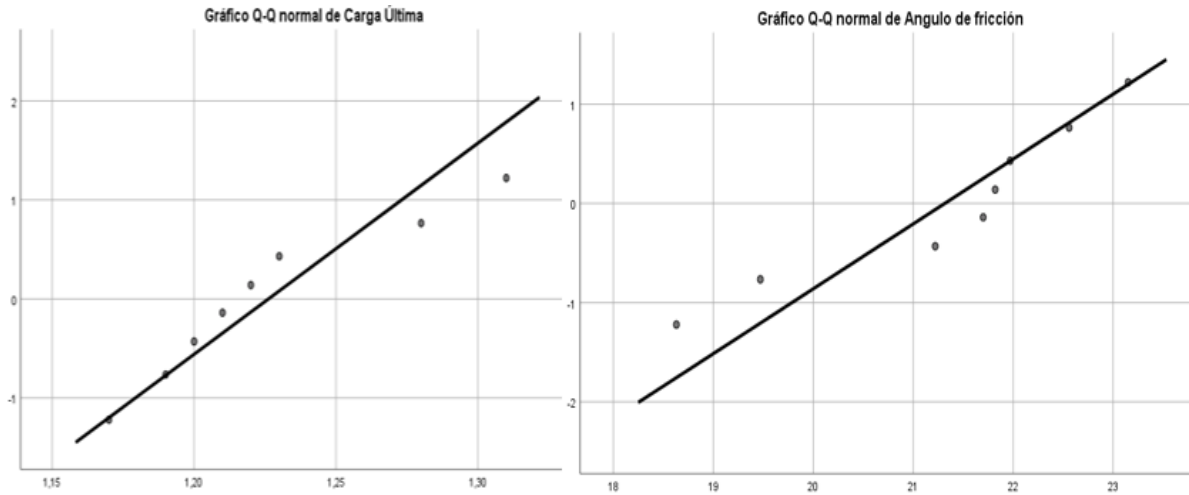
Tabla 4.24 Prueba de normalidad

Shapiro-Wilk

	Estadístico	gl	p
Carga última	0,920	8	0,431
Ángulo de fricción	0,906	8	0,324

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Figura 4.17 Gráfica de normalidad carga última y ángulo de fricción en suelos CH



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la H_a y acepto la H_o .

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la H_a y rechazamos la H_o .

Decisión y conclusión

Según la tabla 4.24 de prueba de normalidad, observamos que los grados de libertad(gl) es de 8, por lo que se utilizara la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Asimismo, el P-valor (carga última) es $0,431 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de datos es normal, P-valor(ángulo de fricción) es $0,324 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de datos es normal, como ambas variables presentan una distribución normal se trabajara con la estadística paramétrica.

4.4.3. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal.

1. Plantear las hipótesis

H_o : No existe correlación entre Carga última y Ángulo de fricción

H_a : Si existe correlación entre Carga última y Ángulo de fricción

Tabla 4.25 Correlación de Pearson de la Carga última y Ángulo de fricción

	r	p	N
Carga ultima – Ángulo	-0,272	0,221	8

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la H_0 y acepto la H_a

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

Decisión y conclusión

Dado que el p-valor es mayor a 0,05 lo cual determina que no existe relación lineal entre la carga última y el ángulo de fricción interno.

4.4.4. Regresión lineal simple

Según IBM SPSS, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, vemos que ninguno tiene relación

Tabla 4.26 Resumen de regresión lineal simple ángulo de fricción vs carga última

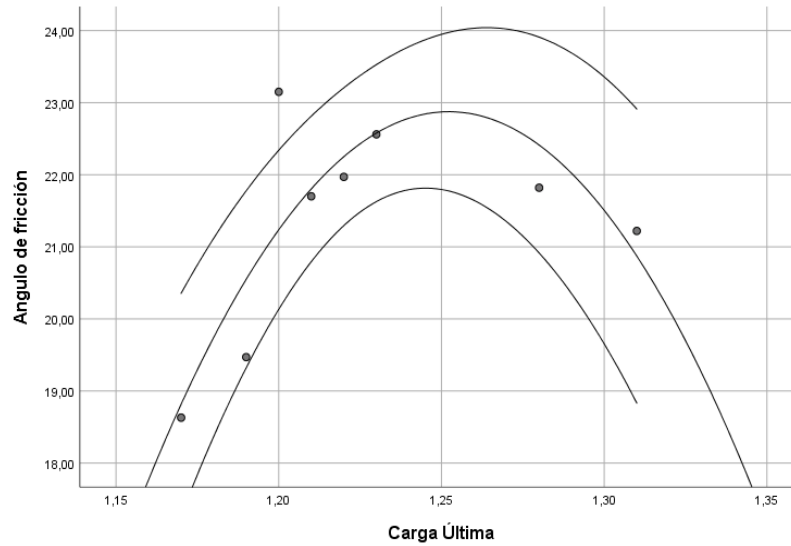
Variable dependiente: Ángulo de fricción					
Ecuación	Resumen del modelo	Estimaciones de parámetro			
	R cuadrado	Constante	b1	b2	b3
Lineal	0,133	6,712	11,909		
Logarítmico	0,142	18,212	15,261		
Inverso	0,151	37,253	-19,520		
Cuadrático	0,669	-918,304	1503,192	-600,201	
Cúbico	0,669	-918,304	1503,192	-600,201	0,000
Compuesto	0,148	10,131	1,831		
Potencia	0,157	18,169	0,774		
S	0,167	3,864	-0,988		
Logística	0,148	0,099	0,546		

Fuente: Elaboración propia.

La variable independiente es q_u .

Tomando en cuenta la variable dependiente al valor de ángulo de fricción obtenido por el ensayo de corte directo y la variable independiente al valor de la carga última obtenido por el ensayo de compresión no confinada tenemos la siguiente gráfica:

Figura 4.18 Diagrama de dispersión de datos ángulo de fricción vs carga última



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

4.4.5. Grado de relación entre Carga última (q_u) vs Cohesión (C)

En la tabla 4.27 muestra los resultados obtenidos de carga última mediante el ensayo de compresión no confinada y cohesión mediante el ensayo de corte directo realizado en suelos cohesivos con una clasificación CH.

Tabla 4.27 Resultados carga última y cohesión.

	Suelo	q_u (Kg/cm²)	C (Kg/cm²)
Suelo 1	CH	1,19	0,203
Suelo 2	CH	1,17	0,212
Suelo 3	CH	1,28	0,182
Suelo 4	CH	1,31	0,177
Suelo 5	CH	1,21	0,187
Suelo 6	CH	1,23	0,194
Suelo 7	CH	1,22	0,175
Suelo 8	CH	1,20	0,168
Media \bar{x}		1,21	0,18
Desviación estándar σ		0,05	0,01
Máximo		1,31	0,21
Mínimo		1,17	0,17

Fuente: Elaboración propia.

4.4.6. Prueba de Normalidad

Plantear las hipótesis

Ho: Los datos no tienen una distribución normal

H1: Los datos tienen una distribución normal

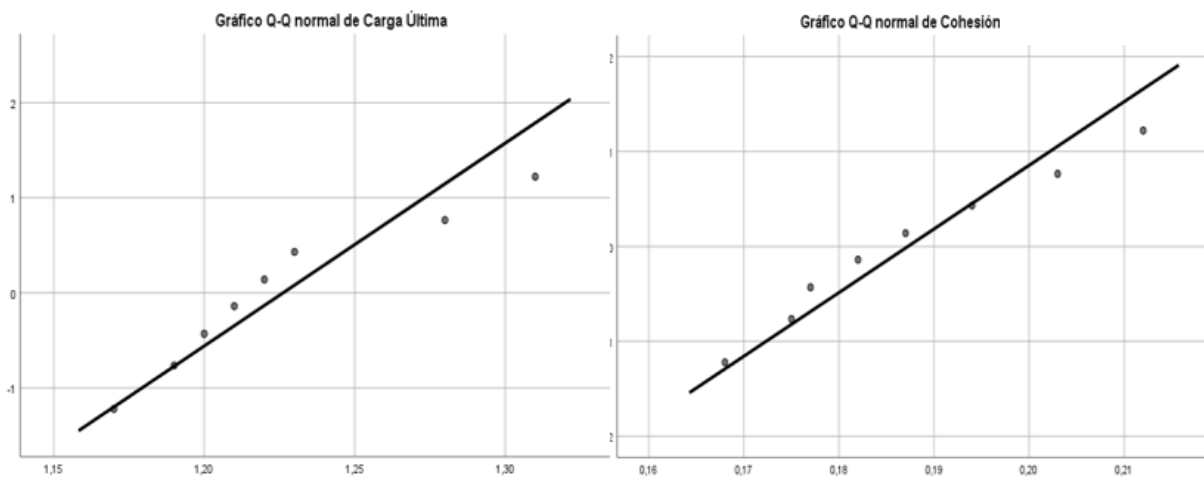
Tabla 4.28 Prueba de normalidad

Shapiro-Wilk

	Estadístico	gl	p
Carga última	0,431	8	0,684
Cohesión	0,962	8	0,831

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Figura 4.19 Gráfica de normalidad carga última y cohesión.



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la Ho y acepto la Ha

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la Ho y rechazamos la Ha.

Decisión y conclusión

Según la tabla 4.28 de prueba de normalidad, observamos que los grados de libertad(gl) es de 8, por lo que se utilizara la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Asimismo, el P-valor (carga última) es $0,431 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de datos es normal, P-valor (cohesión) es $0,831 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de dato es normal, como ambas variables presentan una distribución normal se trabajara con la estadística paramétrica.

4.4.7. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal.

1. Plantear las hipótesis

Ho: No existe correlación entre Carga última y Cohesión.

Ha: Si existe correlación entre Carga última y Cohesión.

Tabla 4.29 Correlación de Pearson de la Carga última y Cohesión.

	r	p	N
Carga ultima - Cohesión	0,519	0,008	8

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la Ho y acepto la Ha

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la Ho y rechazamos la Ha.

Decisión y conclusión

Dado que el p-valor es menor a 0.05 determinamos que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que la cohesión obtenida mediante el ensayo de corte directo está relacionada significativamente con la carga ultima obtenida mediante el ensayo de compresión no confinada.

Por otra parte, el coeficiente de correlación de Pearson = +0.519, lo cual indica una relación positiva de nivel CONSIDERABLE.

4.4.8. Regresión lineal simple

Según IBM SPSS, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo Cuadrático es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 42,1 %.

Tabla 4.30 Resumen de regresión lineal simple cohesión vs carga última

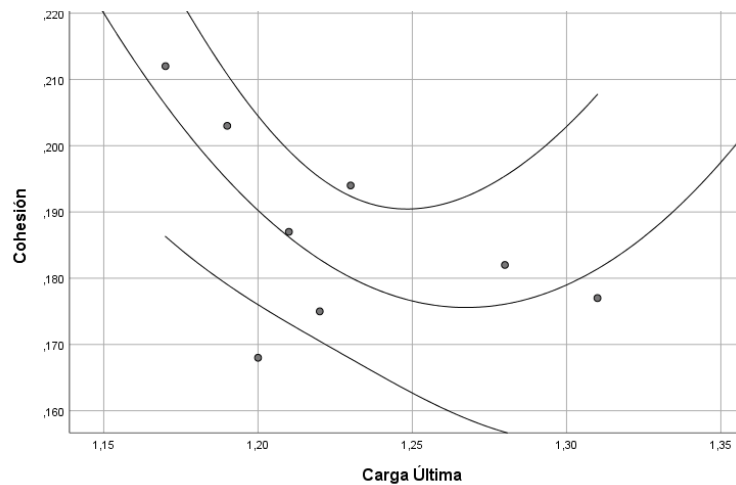
Variable dependiente: Cohesión					
Ecuación	Resumen del modelo	Estimaciones de parámetro			
	R cuadrado	Constante	b1	b2	b3
Lineal	0,359	0,386	-0,162		
Logarítmico	0,366	0,229	-0,204		
Inverso	0,372	-0,022	0,256		
Cuadrático	0,421	5,347	-8,159	3,219	
Cúbico	0,421	5,347	-8,159	3,219	0,000
Compuesto	0,242	0,515	0,437		
Potencia	0,249	0,231	-1,040		
S	0,255	-2,744	1,306		
Logística	0,242	1,942	2,287		

Fuente: Elaboración propia.

La variable independiente es qu.

Tomando en cuenta la variable dependiente al valor de cohesión obtenido por el ensayo de corte directo y la variable independiente al valor de la carga última obtenido por el ensayo de compresión no confinada tenemos la siguiente gráfica:

Figura 4.20 Diagrama de dispersión de datos cohesión vs carga última.



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

4.4.9. Grado de relación entre Cohesión (C) vs Ángulo de fricción

En la tabla 4.31 muestra los resultados obtenidos de cohesión mediante el ensayo de compresión no confinada y ángulo de fricción mediante el ensayo de corte directo realizado en suelos cohesivos con una clasificación CH.

Tabla 4.31 Resultados cohesión y ángulo de fricción.

	Suelo	C (Kg/cm ²)	φ (°)	
	Suelo 1	CL	0,59	19,47
	Suelo 2	CL	0,59	18,63
	Suelo 3	CL	0,64	21,82
	Suelo 4	CL	0,66	21,22
	Suelo 5	CL	0,61	21,70
	Suelo 6	CL	0,61	22,56
	Suelo 7	CL	0,61	21,97
	Suelo 8	CL	0,60	23,15
	Media \bar{x}		0,61	21,76
	Desviación estándar σ		0,02	1,53
	Máximo		0,66	23,15
	Mínimo		0,59	18,63

Fuente: Elaboración propia.

4.4.10. Prueba de Normalidad

Plantear las hipótesis

Ho: Los datos tienen una distribución normal

H1: Los datos no tienen una distribución normal

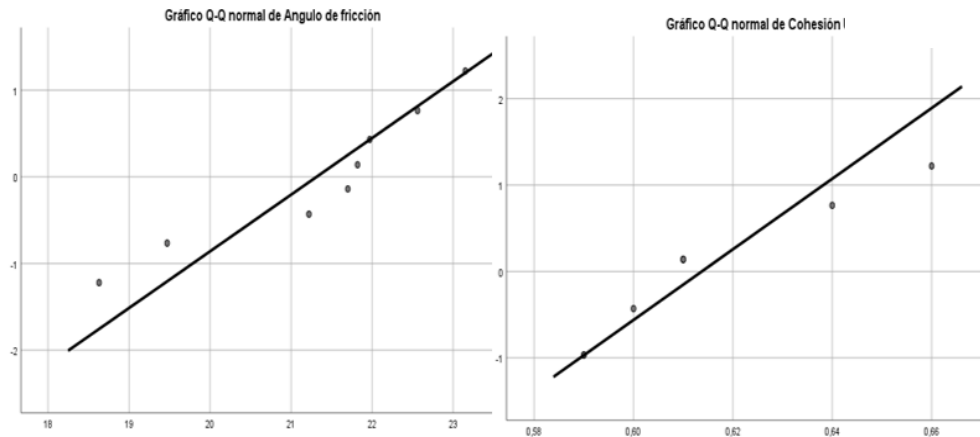
Tabla 4.32 Prueba de normalidad

Shapiro-Wilk

	Estadístico	gl	p
Cohesión	0,857	8	0,113
Ángulo de fricción	0,906	8	0,324

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Figura 4.21 Gráfica de normalidad ángulo de fricción y cohesión.



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la H_0 y acepto la H_a

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

Decisión y conclusión

Según la tabla 4.32 de prueba de normalidad, observamos que los grados de libertad(gl) es de 8, por lo que se utilizara la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Asimismo, el P-valor (cohesión) es $0,113 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de datos es normal, P-valor (ángulo de fricción) es $0,324 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de dato es normal, como ambas variables presentan una distribución normal se trabajara con la estadística paramétrica.

4.4.11. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal.

1. Plantear las hipótesis

H_0 : No existe correlación entre Cohesión y Ángulo de fricción

H_a : Si existe correlación entre Cohesión y Ángulo de fricción

Tabla 4.33 Correlación de Pearson de la Cohesión y Ángulo de fricción

	r	p	N
Ángulo - Cohesión	0,316	0,446	8

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la H_0 y acepto la H_a

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la H_0 y rechazamos la H_a .

Decisión y conclusión

Por medio del IBM SPSS se encontró P-valor = $0,446 > 0,05$, por lo tanto, no existe correlación entre las muestras.

4.4.12. Regresión lineal simple

Según IBM SPSS, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo Cuadrático es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 60,6 %.

Tabla 4.34 Resumen de regresión lineal simple ángulo de fricción vs cohesión.

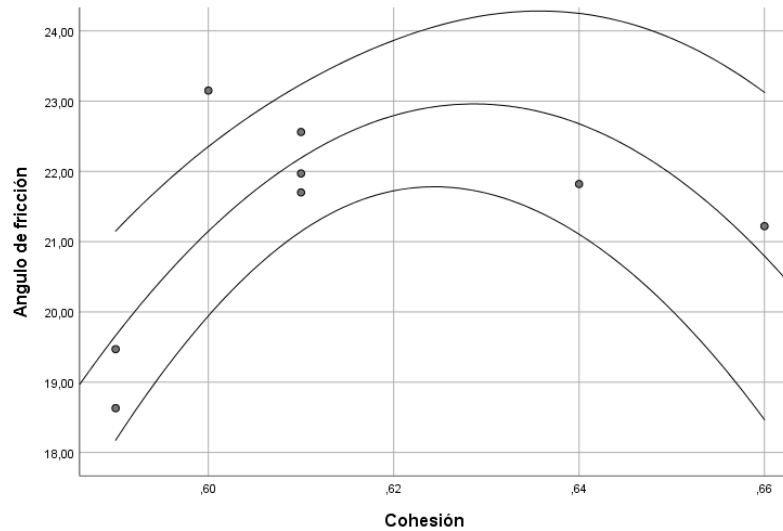
Variable dependiente: Ángulo de fricción					
Ecuación	Resumen del modelo	Estimaciones de parámetro			
	R cuadrado	Constante	b1	b2	b3
Lineal	0,100	9,201	19,737		
Logarítmico	0,107	27,554	12,762		
Inverso	0,115	34,750	-8,234		
Cuadrático	0,606	-848,556	2772,572	-2205,111	
Cúbico	0,606	-848,556	2772,572	-2205,111	0,000
Compuesto	0,112	11,445	2,744		
Potencia	0,120	29,240	0,651		
S	0,128	3,742	-0,420		
Logística	0,112	0,087	0,364		

Fuente: Elaboración propia.

La variable independiente es Cohesión.

Tomando en cuenta la variable dependiente al valor de ángulo de fricción obtenido por el ensayo de corte directo y la variable independiente al valor de la cohesión obtenido por el ensayo de compresión no confinada tenemos la siguiente gráfica:

Figura 4.22 Diagrama de dispersión de datos ángulo de fricción vs cohesión.



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

4.4.13. Grado de relación entre Cohesión (C) vs Cohesión (C)

En la tabla 4.35 muestra los resultados obtenidos de Cohesión mediante el ensayo de compresión no confinada y Cohesión mediante el ensayo de corte directo realizado en suelos cohesivos con una clasificación CH.

Tabla 4.35 Resultados cohesión y cohesión.

	Suelo	C (Kg/cm ²)	C (Kg/cm ²)
Suelo 1	CL	0,59	0,203
Suelo 2	CL	0,59	0,212
Suelo 3	CL	0,64	0,182
Suelo 4	CL	0,66	0,177
Suelo 5	CL	0,61	0,187
Suelo 6	CL	0,61	0,194
Suelo 7	CL	0,61	0,175
Suelo 8	CL	0,60	0,168
Media \bar{x}		0,61	0,185
Desviación estándar σ		0,02	0,015
Máximo		0,66	0,212
Mínimo		0,59	0,168

Fuente: Elaboración propia.

4.4.14. Prueba de Normalidad

Plantear las hipótesis

Ho: Los datos tienen una distribución normal

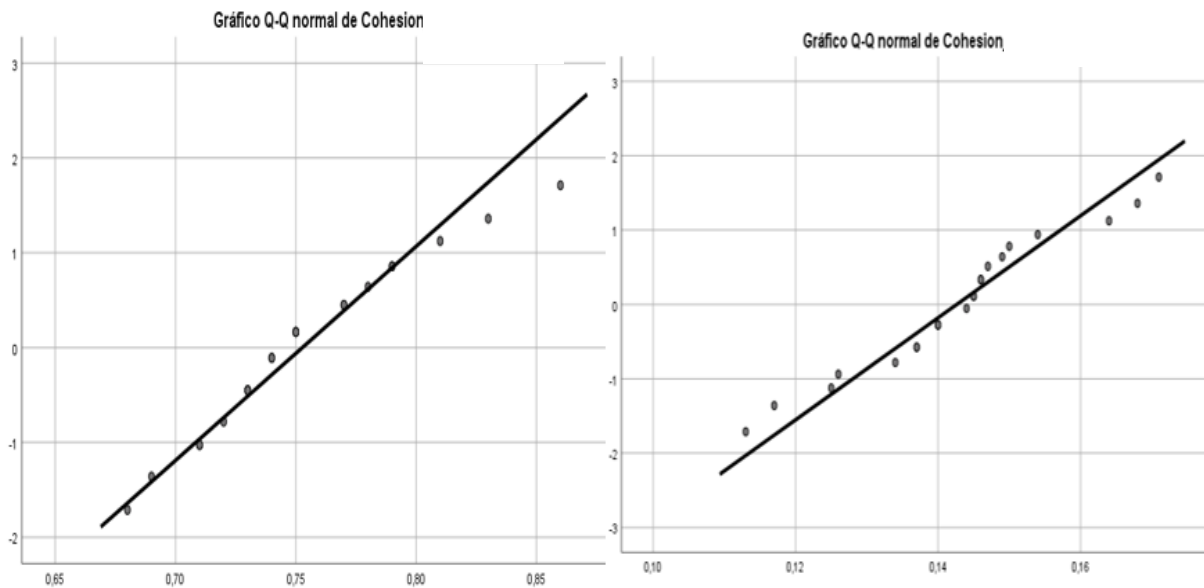
H1: Los datos no tienen una distribución normal

Tabla 4.36 Prueba de normalidad
Shapiro-Wilk

	Estadístico	gl	p
Cohesión	0,857	8	0,113
Cohesión	0,962	8	0,831

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Figura 4.23 Grafica de normalidad cohesión y cohesión.



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la Ho y acepto la Ha

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la Ho y rechazamos la Ha.

Decisión y conclusión

Según la tabla 4.36 de prueba de normalidad, observamos que los grados de libertad(gl) es de 8, por lo que se utilizara la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk. Asimismo, el P-valor (cohesión) es $0,113 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de datos es normal, P-valor (cohesión) es $0,831 > 0,05$ lo cual determina que la distribución de dato es normal, como ambas variables presentan una distribución normal se trabajara con la estadística paramétrica.

4.4.15. Correlación de Pearson para muestras con distribución normal.

1. Plantear las hipótesis

Ho: No existe correlación entre Cohesión y Cohesión.

Ha: Si existe correlación entre Cohesión y Cohesión.

Tabla 4.37 Correlación de Pearson de la Cohesión y Cohesión.

	r	p	N
Cohesión - Cohesión	-0,461	0,003	8

Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la Ho y acepto la Ha

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la Ho y rechazamos la Ha.

Decisión y conclusión

Dado que el p-valor es menor a 0.05 determinamos que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que la cohesión obtenida mediante el ensayo de corte directo está relacionada significativamente con la carga última obtenida mediante el ensayo de compresión no confinada.

Por otra parte, el coeficiente de correlación de Pearson = $+0,461$, lo cual indica una relación positiva de nivel MEDIA.

4.4.16. Regresión lineal simple

Según IBM SPSS, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo Cuadrático es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 41,2 %.

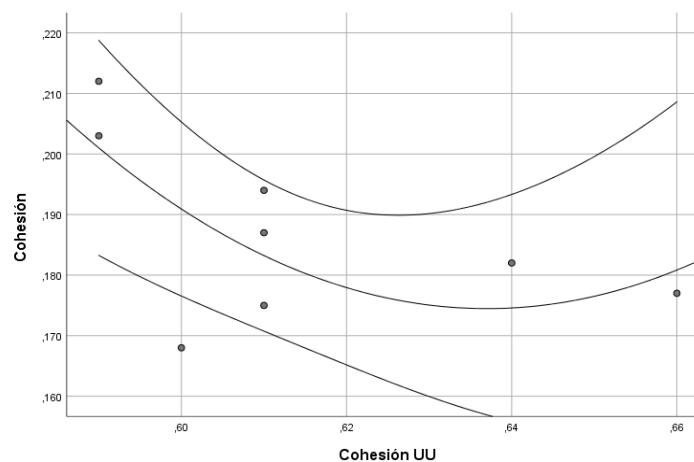
Tabla 4.38 Resumen de regresión lineal simple cohesión vs cohesión.

Resumen de modelo y estimaciones de parámetro					
Variable dependiente: Cohesión					
Ecuación	Resumen del modelo	Estimaciones de parámetro			
	R cuadrado	Constante	b1	b2	b3
Lineal	0,254	0,376	-0,307		
Logarítmico	0,260	0,092	-0,194		
Inverso	0,267	-0,013	0,123		
Cuadrático	0,412	5,050	-15,307	12,015	
Cúbico	0,412	5,050	-15,307	12,015	0,000
Compuesto	0,239	0,491	0,207		
Potencia	0,246	0,115	-0,995		
S	0,252	-2,702	0,628		
Logística	0,239	2,036	4,835		

Fuente: Elaboración propia.

Tomando en cuenta la variable dependiente al valor de cohesión obtenido por el ensayo de corte directo y la variable independiente al valor de la cohesión obtenido por el ensayo de compresión no confinada tenemos la siguiente gráfica:

Figura 4.24 Diagrama de dispersión de datos cohesión vs cohesión.



Fuente: IBM SPSS Statistics 26.

4.5. Correlación (Regresión lineal múltiple) para la obtención del ángulo de fricción y cohesión en suelos cohesivos.

Los resultados obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio, como el límite líquido (LL), límite plástico (LP), porcentaje que pasa del tamiz 200 (T200), densidad máxima (Dmax), contenido de humedad óptimo (CHO) y la carga última (qu); dan lugar para obtener el ángulo de fricción y cohesión a partir de la ecuación encontrada.

4.5.1. Correlación en suelos CL (Arcillas de baja plasticidad)

Tabla 4.39 Resumen resultados caracterización muestras CL

	Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP)	% Que Pasa del Total (T200)	Densidad Máxima (Dmax)	Humedad Óptima (CHO)
Suelo 1	28	17	11	90	1,80	11,9
Suelo 2	29	16	13	87	1,79	11,7
Suelo 3	33	24	10	97	1,84	12,5
Suelo 4	33	22	11	99	1,86	11,9
Suelo 5	30	21	9	86	1,81	13,3
Suelo 6	31	19	12	89	1,82	13,7
Suelo 7	29	21	8	91	1,83	11,4
Suelo 8	32	22	10	90	1,80	12,0
Suelo 9	32	22	10	98	1,84	12,9
Suelo 10	33	21	11	96	1,84	13,0
Suelo 11	33	22	11	86	1,83	11,8
Suelo 12	32	20	12	89	1,79	11,8
Suelo 13	29	22	8	93	1,77	12,5
Suelo 14	30	21	9	95	1,76	12,3
Suelo 15	40	23	17	98	1,77	13,2
Suelo 16	41	24	17	99	1,75	13,5
Suelo 17	34	22	12	97	1,81	13,0
Suelo 18	33	21	12	93	1,83	13,2
Suelo 19	43	25	18	99	1,78	12,8
Suelo 20	42	26	15	99	1,76	13,2
Suelo 21	34	23	11	92	1,81	13,3
Suelo 22	32	23	10	94	1,82	13,0

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2. Regresión lineal múltiple para el ángulo de fricción interna

Según el IBM SPSS Statistics 26, esta tabla muestra los resultados de una regresión lineal simple por el método de pasos en el que introduce las variables en la ecuación una por una, por lo cual podemos observar cómo va afectando cada variable en el R.

Tabla 4.40 Regresión lineal simple por pasos

Modelo	R	R cuadrado	Sig. Cambio en F
1	0,051 ^a	0,003	0,820
2	0,206 ^b	0,042	0,385
3	0,676 ^c	0,457	0,002
4	0,764 ^d	0,584	0,036
5	0,771 ^e	0,594	0,543
6	0,793 ^f	0,629	0,251

Fuente: Elaboración propia.

- a. Predictores: (Constante), LL
- b. Predictores: (Constante), LL, LP
- c. Predictores: (Constante), LL, LP, T200
- d. Predictores: (Constante), LL, LP, T200, Dmax
- e. Predictores: (Constante), LL, LP, T200, Dmax, CHO
- f. Predictores: (Constante), LL, LP, T200, Dmax, CHO, Qu

Según el modelo 6 obtenido por el IBM SPSS Statistics 26, esta tabla muestra los coeficientes de una regresión lineal simple.

Coeficientes ^a				
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Sig.
		B	Desv. Error	
6	(Constante)	104,809	22,546	0,000
	LL	-0,095	0,115	0,421
	LP	0,637	0,198	0,006
	T200	-0,327	0,085	0,002
	Dmax	-33,912	13,771	0,026
	CHO	-0,397	0,461	0,402
	Qu	5,303	4,436	0,251

Después de correlacionar las variables LL, LP, %PASAT200, Dmax, CHO y qu con los valores del ángulo de fricción obtenido en laboratorio, obtenemos un coeficiente de relación de 0,793 y su modelo matemático es la siguiente:

$$\phi = 104,809 - 0,095LL + 0,637LP - 0,327\%T200 - 33,912D_{max} - 0,397CHO + 5,303q_u$$

Donde:

ϕ = Ángulo de fricción

LL = Límite Líquido

LP = Límite Plástico

CHO = Contenido de humedad óptimo

%T200 = % QUE PASA T200

Qu = Carga última compresión no

Dmax = Densidad máxima

confinada

4.5.3. Regresión lineal múltiple para la cohesión

Según el IBM SPSS Statistics 26, esta tabla muestra los resultados de una regresión lineal simple por el método de pasos en el que introduce las variables en la ecuación una por una, por lo cual podemos observar cómo va afectando cada variable en el R.

Tabla 4.41 Regresión lineal simple por pasos

Modelo	R	R cuadrado	Sig. Cambio en F
1	0,054 ^a	0,003	0,812
2	0,111 ^b	0,012	0,675
3	0,218 ^c	0,047	0,426
4	0,807 ^d	0,652	0,000
5	0,844 ^e	0,712	0,085
6	0,893 ^f	0,798	0,024

Fuente: Elaboración propia.

- Predictores: (Constante), LL
- Predictores: (Constante), LL, LP
- Predictores: (Constante), LL, LP, T200
- Predictores: (Constante), LL, LP, T200, Dmax
- Predictores: (Constante), LL, LP, T200, Dmax, CHO
- Predictores: (Constante), LL, LP, T200, Dmax, CHO, Qu

Según el modelo 6 obtenido por el IBM SPSS Statistics 26, esta tabla muestra los coeficientes de una regresión lineal simple.

Tabla 4.42 Coeficientes de regresión múltiple

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Sig.
		B	Desv. Error	
6	(Constante)	-0,4319	0,141	0,008
	LL	0,0017	0,001	0,029
	LP	-0,0001	0,001	0,957
	T200	0,0003	0,001	0,611
	Dmax	0,2666	0,086	0,008
	CHO	-0,0075	0,003	0,020
	Qu	0,0702	0,028	0,024

Fuente: Elaboración propia.

Después de correlacionar las variables LL, LP, %PASAT200, Dmax, CHO y qu con los valores de la cohesión obtenida en laboratorio, obtenemos un coeficiente de relación de 0,893 y su modelo matemático es la siguiente:

$$C = -0,4319 + 0,0017LL - 0,0001LP + 0,0003\%T200 + 0,2666D_{max} - 0,0075CHO + 0,0702q_u$$

Donde:

C = Cohesión

LL = Límite Líquido

LP = Límite Plástico

%T200 = % QUE PASA T200

Dmax = Densidad máxima

CHO = Contenido de humedad óptimo

Qu = Carga última compresión no confinada

4.6. Correlación en suelos CH (Arcillas de alta plasticidad)

Tabla 4.43 Resumen caracterización de muestras CH

	Límite Líquido (LL)	Límite Plástico (LP)	Índice de plasticidad (IP)	% Que Pasa del Total (T200)	Densidad Máxima (Dmax)	Humedad Óptima (CHO)
Suelo 1	58	29	28	99	1,68	16,5
Suelo 2	55	28	27	99	1,70	16,6
Suelo 3	51	27	24	99	1,72	15,9
Suelo 4	53	26	27	100	1,71	16,3
Suelo 5	53	28	25	99	1,70	16,1
Suelo 6	54	28	26	98	1,72	16,5
Suelo 7	59	27	31	99	1,72	16,4
Suelo 8	57	29	28	99	1,71	16,0

Fuente: Elaboración propia.

4.6.1. Regresión lineal múltiple para el ángulo de fricción interna

Según el IBM SPSS Statistics 26, esta tabla muestra los resultados de una regresión lineal simple por el método de pasos en el que introduce las variables en la ecuación una por una, por lo cual podemos observar cómo va afectando cada variable en el R.

Tabla 4.44 Regresión lineal simple por pasos

Modelo	R	R cuadrado	Sig. Cambio en F
1	0,051 ^a	0,003	0,820
2	0,206 ^b	0,042	0,385
3	0,676 ^c	0,457	0,002
4	0,764 ^d	0,584	0,036
5	0,771 ^e	0,594	0,543
6	0,793 ^f	0,629	0,251

Fuente: Elaboración propia.

- a. Predictores: (Constante), LL
- b. Predictores: (Constante), LL, LP
- c. Predictores: (Constante), LL, LP, T200
- d. Predictores: (Constante), LL, LP, T200, Dmax

e. Predictores: (Constante), LL, LP, T200, Dmax, CHO

f. Predictores: (Constante), LL, LP, T200, Dmax, CHO, Qu

Según el modelo 6 obtenido por el IBM SPSS Statistics 26, esta tabla muestra los coeficientes de una regresión lineal simple.

Tabla 4.45 Coeficientes de regresión múltiple

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Sig.
		B	Desv. Error	
6	(Constante)	-67,156	515,095	0,917
	LL	0,201	0,338	0,658
	LP	0,818	1,949	0,747
	T200	-0,481	2,618	0,884
	Dmax	67,382	103,162	0,632
	CHO	-2,347	4,337	0,684
	Carga Última	20,785	27,763	0,591

Fuente: Elaboración propia.

Después de correlacionar las variables LL, LP, %PASAT200, Dmax, CHO y qu con los valores de la cohesión obtenida en laboratorio, obtenemos un coeficiente de relación de 0,893 y su modelo matemático es la siguiente:

$$\varnothing = 67,156 + 0,201LL + 0,818LP - 0,481\%T200 + 67,382D_{max} - 2,347CHO + 20,785q_u$$

Donde:

\varnothing = Ángulo de fricción

LL = Límite Líquido

LP = Límite Plástico

%T200 = % QUE PASA T200

Dmax = Densidad máxima

CHO = Contenido de humedad óptimo

Qu = Carga última compresión no confinada

4.6.2. Regresión lineal múltiple para la cohesión

Según el IBM SPSS Statistics 26, esta tabla muestra los resultados de una regresión lineal simple por el método de pasos en el que introduce las variables en la ecuación una por una, por lo cual podemos observar cómo va afectando cada variable en el R.

Tabla 4.46 Regresión lineal múltiple por pasos

Modelo	R	R cuadrado	Sig. Cambio en F
1	,017 ^a	0,000	0,968
2	,366 ^b	0,134	0,420
3	,389 ^c	0,152	0,786
4	,857 ^d	0,735	0,082
5	,939 ^e	0,881	0,257
6	,964 ^f	0,929	0,561

Fuente: Elaboración propia.

a. Predictores: (Constante), LL

b. Predictores: (Constante), LL, LP

c. Predictores: (Constante), LL, LP, T200

d. Predictores: (Constante), LL, LP, T200, Dmax

e. Predictores: (Constante), LL, LP, T200, Dmax, CHO

f. Predictores: (Constante), LL, LP, T200, Dmax, CHO, Carga Última

Según el modelo 6 obtenido por el IBM SPSS Statistics 26, esta tabla muestra los coeficientes de una regresión lineal simple.

Tabla 4.47 Coeficientes regresión múltiple

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Sig.
		B	Desv. Error	
6	(Constante)	2,0517	3,435	0,657
	LL	-0,0031	0,002	0,396
	LP	-0,0047	0,013	0,779
	T200	-0,0086	0,017	0,709
	Dmax	-0,6010	0,688	0,543
	CHO	0,0308	0,029	0,480
	Qu	-0,1525	0,185	0,561

Fuente: Elaboración propia.

Después de correlacionar las variables LL, LP, %PASAT200, Dmax, CHO y qu con los valores de la cohesión obtenida en laboratorio, obtenemos un coeficiente de relación de 0,964 y su modelo matemático es la siguiente:

$$C = +2,0517 - 0,0031LL - 0,0047LP - 0,0086\%T200 - 0,6010D_{max} + 0,0308CHO - 0,1525q_u$$

Donde:

C= Cohesión

LL = Límite Líquido

LP = Límite Plástico

%T200 = % QUE PASA T200

Dmax = Densidad máxima

CHO = Contenido de humedad óptimo

Qu = Carga última compresión no confinada

4.7. Comparación de los parámetros de resistencia al corte obtenidos en laboratorio

4.8. Porcentaje de variación

El porcentaje de variación se utiliza para describir la relación entre el valor del ángulo de fricción obtenido en laboratorio y el obtenido a partir de la ecuación empírica. De manera específica, el porcentaje de variación representa la diferencia de ambos en términos de un porcentaje de los valores obtenidos en laboratorio.

Donde:

$$\begin{aligned} \% \text{ de Variación} &= \text{Error porcentual} \\ &= \frac{\text{valor aproximado} - \text{valor exacto}}{\text{valor exacto}} * 100 \end{aligned}$$

Valor exacto = Valor de laboratorio obtenido en laboratorio.

Valor aproximado = Valor obtenido mediante la ecuación empíricas.

Tabla 4.48 Porcentaje de variación

% Variación (+)	Valor aproximado > Valor exacto
% Variación (-)	Valor aproximado < Valor exacto

Fuente: Elaboración propia.

4.9. Comparación en suelos CL (Arcillas de baja plasticidad)

4.9.1. Porcentajes de variación de Ángulo de fricción

En la tabla 4.43 muestra los resultados obtenidos del ángulo de fricción mediante el ensayo de laboratorio de corte directo y mediante la ecuación empírica en función de la caracterización de las muestras para los puntos que corresponden a una clasificación **CL**, indicándonos el porcentaje de variación que existe entre el ángulo obtenido mediante la ecuación empírica con respecto al ángulo de fricción obtenido en laboratorio.

Tabla 4.49 Porcentajes de variación del ángulo de fricción en suelos CL

	Laboratorio	Ecuación	Variación
	ϕ (°)	ϕ (°)	%
Suelo 1	25,72	25,97	0,98
Suelo 2	25,86	26,79	3,61
Suelo 3	26,28	26,68	1,55
Suelo 4	25,16	24,34	-3,23
Suelo 5	28,98	29,51	1,80
Suelo 6	28,45	26,10	-8,26
Suelo 7	29,27	26,65	-8,95
Suelo 8	27,13	27,94	2,97
Suelo 9	25,04	24,26	-3,12
Suelo 10	22,72	24,27	6,82
Suelo 11	28,77	28,77	-0,01
Suelo 12	27,51	28,23	2,62
Suelo 13	28,93	27,88	-3,64
Suelo 14	26,50	26,70	0,77
Suelo 15	26,69	25,47	-4,59
Suelo 16	26,97	26,59	-1,39
Suelo 17	25,61	25,98	1,47
Suelo 18	24,13	25,35	5,05
Suelo 19	26,55	26,41	-0,55
Suelo 20	27,80	28,03	0,84
Suelo 21	27,70	27,71	0,03
Suelo 22	24,99	26,35	5,44

Fuente: Elaboración propia.

Considerando el porcentaje de variación en valor absoluto, en la tabla 4.8 se observa el promedio del porcentaje de variación para los suelos que corresponden a una clasificación **CL**.

Tabla 4.50 Porcentaje de variación Total

	Variación %
Ecuación	3,08

Fuente: Elaboración propia.

4.9.2. Porcentajes de variación de la Cohesión

En la tabla 4.7 muestra los resultados obtenidos del ángulo de fricción mediante el ensayo de laboratorio de corte directo y mediante la ecuación empírica en función de la caracterización de las muestras para los puntos que corresponden a una clasificación CL, indicándonos el porcentaje de variación que existe entre el ángulo obtenido mediante la ecuación empírica con respecto al ángulo de fricción obtenido en laboratorio.

Tabla 4.51 Porcentaje de variación de la cohesión en suelos CL

	Laboratorio	Laboratorio	Variación	Empírico	Variación
	C (Kg/cm²)	C (Kg/cm²)	%	C (Kg/cm²)	%
Suelo 1	0,140	0,79	463,49	0,144	2,55
Suelo 2	0,150	0,75	401,54	0,136	-9,44
Suelo 3	0,171	0,86	401,76	0,168	-1,28
Suelo 4	0,168	0,83	395,68	0,176	5,02
Suelo 5	0,137	0,81	488,87	0,137	0,40
Suelo 6	0,134	0,79	489,69	0,139	3,45
Suelo 7	0,140	0,74	427,17	0,149	6,82
Suelo 8	0,147	0,73	395,95	0,140	-4,45
Suelo 9	0,164	0,77	370,07	0,153	-6,63
Suelo 10	0,146	0,75	414,68	0,150	2,51
Suelo 11	0,145	0,73	402,84	0,150	3,42
Suelo 12	0,137	0,74	445,22	0,141	3,22
Suelo 13	0,113	0,69	516,03	0,119	5,14
Suelo 14	0,117	0,68	480,11	0,118	1,34
Suelo 15	0,126	0,71	460,53	0,137	8,35
Suelo 16	0,125	0,72	474,90	0,131	4,92
Suelo 17	0,145	0,77	432,39	0,145	0,39
Suelo 18	0,149	0,78	424,83	0,148	-0,10
Suelo 19	0,154	0,71	364,23	0,147	-4,21
Suelo 20	0,146	0,73	398,38	0,137	-5,84
Suelo 21	0,140	0,75	435,16	0,139	-0,79
Suelo 22	0,144	0,73	406,13	0,138	-4,22

Fuente: Elaboración propia.

Considerando el porcentaje de variación en valor absoluto, en la tabla 4.8 se observa el promedio del porcentaje de variación para los suelos que corresponden a una clasificación **CL**.

Tabla 4.52 Comparación variación

Obtención	Variación %
Ensayo Compresión no confinada	431,35
Ecuación Empírica	3,84

Fuente: Elaboración propia.

4.10. Comparación en suelos CH (Arcillas de alta plasticidad)

4.10.1. Porcentajes de variación de Ángulo de fricción

En la tabla 4.45 muestra los resultados obtenidos del ángulo de fricción mediante el ensayo de laboratorio de corte directo y mediante la ecuación empírica en función de la caracterización de las muestras para los puntos que corresponden a una clasificación **CH**, indicándonos el porcentaje de variación que existe entre el ángulo obtenido mediante la ecuación empírica con respecto al ángulo de fricción obtenido en laboratorio.

Tabla 4.53 Porcentaje de variación de ángulo de fricción en suelos CH

	Laboratorio ϕ (°)	Ecuación ϕ (°)	Variación %
Suelo 1	19,47	20,14	3,48
Suelo 2	18,63	19,19	2,96
Suelo 3	21,82	22,58	3,47
Suelo 4	21,22	20,53	-3,29
Suelo 5	21,70	21,15	-2,53
Suelo 6	22,56	21,64	-4,08
Suelo 7	21,97	21,77	-0,92
Suelo 8	23,15	23,36	0,93

Fuente: Elaboración propia.

Considerando el porcentaje de variación en valor absoluto, en la tabla 4.8 se observa el promedio del porcentaje de variación para los suelos que corresponden a una clasificación **CH**.

Tabla 4.54 Porcentaje de variación

Obtención	Variación %
Ecuación	2,71

Fuente: Elaboración propia.

4.10.2. Porcentajes de variación de la Cohesión

En la tabla 4.7 muestra los resultados obtenidos del ángulo de fricción mediante el ensayo de laboratorio de corte directo y mediante la ecuación empírica en función de la caracterización de las muestras para los puntos que corresponden a una clasificación **CH**, indicándonos el porcentaje de variación que existe entre el ángulo obtenido mediante la ecuación empírica con respecto al ángulo de fricción obtenido en laboratorio.

Tabla 4.55 Porcentaje de variación de la cohesión en suelos CH

	Laboratorio	Laboratorio	Variación	Empírico	Variación
	C (Kg/cm ²)	C (Kg/cm ²)	%	C (Kg/cm ²)	%
Suelo 1	0,203	0,59	191,32	0,200	-1,91
Suelo 2	0,212	0,59	176,46	0,209	-1,60
Suelo 3	0,182	0,64	251,11	0,177	-2,92
Suelo 4	0,177	0,66	270,11	0,182	2,82
Suelo 5	0,187	0,61	222,98	0,190	1,39
Suelo 6	0,194	0,61	217,12	0,201	3,75
Suelo 7	0,175	0,61	248,19	0,179	2,19
Suelo 8	0,168	0,60	257,73	0,167	-0,66

Fuente: Elaboración propia.

Considerando el porcentaje de variación en valor absoluto, en la tabla 4.8 se observa el promedio del porcentaje de variación para los suelos que corresponden a una clasificación **CH**.

Tabla 4.56 Comparación variación

Obtención	Variación %
Ensayo Compresión no confinada	229,38
Ecuación Empírica	2,15

Fuente: Elaboración propia.

4.10.3. Prueba de Hipótesis

Plantear las hipótesis

Ho: Los parámetros determinados por el ensayo de corte directo no son mejores que los parámetros determinados por el ensayo de compresión no confinada.

H1: Los parámetros determinados por el ensayo de corte directo son mejores que los parámetros determinados por el ensayo de compresión no confinada.

Tabla 4.57 Prueba T- Studen muestras relacionadas

Prueba T-Student muestras emparejadas					
	Diferencias emparejadas			gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio		
Cohesión - Cohesión	-0,610091	0,036067	0,007690	21	0,000

Fuente: Elaboración propia.

Criterio de decisión

Si $p < 0,05$ rechazamos la Ho y acepto la H1.

Si $p \geq 0,05$ aceptamos la Ho y rechazamos la H1.

Decisión y conclusión

Dado que el p-valor es menor a 0.05 determinamos que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que los parámetros determinados por el ensayo de corte directo son mejores que el parámetro determinado por el ensayo de compresión no confinada

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se cumplió con el objetivo de la investigación comparar los parámetros de resistencia al corte de suelos cohesivos, utilizando los ensayos de corte directo y compresión no confinada.
- De acuerdo con los resultados obtenidos mediante la caracterización se clasificaron en 22 muestras de suelo CL y 8 muestras de suelo CH, según el sistema de clasificación unificado (SUCS).
- Mediante el ensayo de compresión no confinada realizado a 22 muestras de suelo CL se obtuvo un valor promedio de carga última igual a 1.49 Kg/cm² que presentan una consistencia firme, el valor promedio de carga última realizado en 8 muestras de suelo CH es igual a 1.21 Kg/cm² que presentan una consistencia firme según la tabla de referencia de la norma ASTM D2126 - AASHTO T208).
- Mediante el ensayo de corte directo realizado a 22 muestras de suelo CL se obtuvo un valor promedio de ángulo de fricción igual a 26.7 °, el valor promedio de ángulo de fricción para muestras de suelo CH es igual a 21.8 ° que presentan valores dentro de los rangos de la tabla de referencia de Braja Das.
- Según el grado de relación de Pearson se establece que existe una relación entre los parámetros de:

Tipo de suelo	Variables	Coefficiente de correlación	Interpretación
CL	Carga última vs cohesión	+0.685	Indica una relación positiva considerable
CL	Cohesión vs cohesión	+0.664	Indica una relación positiva considerable
CH	Carga última vs cohesión	+0.519	Indica una relación positiva considerable
CH	Cohesión vs cohesión	+0.461	Indica una relación positiva media

- Según la prueba de hipótesis realizada a la correlación de Pearson con un nivel de significancia de 5% (0.005) a los siguientes parámetros:

Tipo de suelo	Variables	significancia	Interpretación
CL	Carga última vs cohesión	0,336 > 0,005	No existe correlación
CL	Cohesión vs cohesión	0,363 > 0,005	No existe correlación
CH	Carga última vs cohesión	0,221 > 0,005	No existe correlación
CH	Cohesión vs cohesión	0,446 > 0,005	No existe correlación

- Del análisis de la correlación entre los parámetros de resistencia al corte y la caracterización de las muestras se obtuvo ecuaciones empíricas para poder estimar los valores de ángulo de fricción y cohesión con un grado de confiabilidad de considerable a fuerte.

Figura 5.1 Resumen Correlación

Suelo	Ecuación	R - cuadrado
CL	$\phi=104,809-0,095LL+0,637LP-0,327\%T200-33,912D_{max}-0,397CHO+5,303q_u$	62.9 %
CL	$C_{CD}=-0,4319+0,0017LL-0,0001LP+0,0003\%T200+0,2666D_{max}-0,0075CHO+0,0702q_u$	79.8 %
CH	$\phi=67,156+0,201LL+0,818LP-0,481\%T200+67,382D_{max}-2,347CHO+20,785q_u$	62.9 %
CH	$C_{CD}=+2,0517-0,0031LL-0,0047LP-0,0086\%T200-0,6010D_{max}+0,0308CHO-0,1525q_u$	92.9 %

- Se comparó los valores; ángulo de fricción y cohesión obtenidos en laboratorio con los obtenidos mediante un modelo matemático observado que la diferencia promedio entre ellos es menor al 4%.
- Con nuestro análisis y comparación se puede afirmar que los resultados obtenidos mediante un modelo matemático a partir de la caracterización de las muestras son confiables para la determinación de la cohesión y ángulo de fricción como un valor de referencia para suelos con una clasificación CL y CH.

5.2. Recomendaciones

- En el proceso de compactación de las muestras se recomienda mezclar el suelo hasta que toda la muestra tenga una consistencia homogénea sin grumos para que la cantidad de agua se mezcle con todo el suelo.
- Se recomienda revisar a detalle el equipo de corte directo antes de realizar el ensayo calibrando los manómetros para que al momento de iniciar el ensayo no haya errores.
- Se recomienda que las probetas compactadas para el ensayo de compresión no confinada se rompan lo más pronto posible para que las mismas no pierdan humedad y sean comparables con la humedad a la cual se las compactó.
- En los ensayos de laboratorio que se realizan tener cuidado de no cometer errores de apreciación, de los cuales o con los cuales podemos hacer variar el resultado y tratar de seguir los pasos que estén especificados en el manual de laboratorio.

