

CAPITULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

La correlación estadística determina la relación o dependencia que existe entre dos variables que intervienen en una misma distribución bidimensional. Es decir, determina si los cambios en una variable influyen en los cambios de otra, en caso de que suceda, se dirá que las variables están correlacionadas o que hay correlación entre ellas.

El índice de compresión representa uno de los parámetros de mayor importancia en el proceso de consolidación de los suelos, pues se relaciona directamente con los asentamientos que presenta una masa de suelo durante un determinado tiempo. El valor del índice de compresión se puede hallar mediante diferentes ensayos, sin embargo, el proceso es largo, por lo que la utilización de expresiones empíricas puede dar, de forma rápida, valores preliminares. Dichas expresiones están en función de las diversas propiedades índices del suelo.

Las correlaciones ya existentes para determinar el índice de compresión de un suelo están en función de muchas variables, que proponen diferentes autores, como Terzaghi y Peck (1967), que es aplicable en arcillas inalteradas; la correlación de Skempton (1986), determinada para arcillas en suelos españoles, y la correlación de Nakase y Boekhout (1988), en la que la variable por correlacionar no es directamente el límite líquido, sino el índice de plasticidad. A pesar de brindar aportes muy valiosos son formulas muy generales para la mayoría de suelos.

El presente trabajo tiene la finalidad de correlacionar el índice de compresión de un suelo cohesivo de alta compresibilidad con las propiedades índices, estableciendo que la misma pueda tener una confiabilidad del 95% de tal manera se pueda establecer una propuesta técnica de los suelos en la ciudad de Tarija.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Para obtener un análisis completo del fenómeno de consolidación se requiere de un tiempo relativamente largo pues la ejecución de las pruebas requiere de un tiempo aproximado de entre dos o tres semanas, en este tiempo se obtienen las gráficas de consolidación y compresibilidad; esto no significa problema alguno cuando se cuenta con el tiempo suficiente para entregar los resultados al diseñador de cimentaciones.

Actualmente los tiempos de planeación, diseño y construcción de infraestructura se reducen al mínimo posible, por lo cual se requiere procedimientos que estimen los asentamientos de una manera rápida, y que sirvan para hacer un análisis previo de las estructuras a diseñar, dentro de la ingeniería geotécnica es bien sabido que el estudio de la compresibilidad de los suelos es de considerable relevancia, debido a que la predicción de los asentamientos para cualquier edificación representa un punto que debe tratarse con cuidado, sobre todo si ésta se encuentra cimentada en estratos saturados, constituidos por materiales finos. En el caso de la ciudad de Tarija, este tipo de análisis adquiere especial importancia, tomando en cuenta la alta compresibilidad de las arcillas que forman una parte del subsuelo (zona del valle central), y el fenómeno de algunos hundimientos que se presenta en la zona, lo cual afecta de manera muy marcada las edificaciones en algunas partes de la ciudad. Por lo que, en los proyectos ingenieriles desplantados en estratos compresibles, el análisis de su comportamiento es un aspecto muy importante para que no exista una inadecuada interpretación de las condiciones del subsuelo del sitio, generando riesgos y costos adicionales en los proyectos. Las correlaciones establecidas en la literatura toman en cuenta la región donde está ubicado el sitio de estudio, así como el tipo de suelo, por lo que su uso en la práctica debe ser limitado. A pesar de ello son de gran utilidad, principalmente en la etapa de planeación de la obra. Debido a que las soluciones de los problemas de Mecánica de Suelos que se presentan en la práctica dependen de las condiciones particulares del sitio donde se ubica el problema, en este trabajo se estudiarán las correlaciones entre el índice de compresión y las propiedades índice de las arcillas del valle central de Tarija, con la finalidad de obtener y brindar una herramienta práctica al especialista en suelos, que le permita realizar análisis preliminares de las condiciones de compresibilidad esperadas en la región, sin sustituir las pruebas que deben hacerse para obtener un análisis definitivo del índice de compresión.

1.3. DISEÑO TEORICO.

1.3.1. Identificación del tipo de investigación

El tipo de investigación es correlacional, que se aplicara a suelos arcillosos que correspondan con características de alta plasticidad y compresibilidad.

1.3.2. Investigación correlacional

- Una investigación correlacional es aquella en que se analiza la relación entre ciertos sucesos, proporcionando indicios de la relación que podría existir entre dos variables dos o más variables o que también uno o más datos podrían predecir un resultado específico.
- Se utiliza un índice numérico llamado coeficiente de correlación como medida de fuerza de la fortaleza de tal relación.
- Si bien es cierto con la investigación correlacional se explica la relación entre dos variables no necesariamente significa que una se la causa de otra, es decir investiga asociaciones entre dos variables, pero no relaciona causales (causa y efecto).
- Si no hay correlación entre las variables, significa que estas varían sin seguir un patrón sistemático entre sí.
- Si dos variables están correlacionadas y se conoce la correlación, se tendrán bases para predecir el valor aproximado, predecir el valor aproximado que tendrá una situación representada por la variable Y (coeficiente de compresión), sabiendo el valor de x (propiedades índices de suelo).
- Una correlación positiva entre dos variables es cuando un aumento en una variable conduce a un aumento en la otra variable y una disminución en una variable conducirá a una disminución en la otra variable.

Para esta investigación el autor se basó netamente al estudio de laboratorio y mediante esta, generar puntos para poder realizar la sistematización de los mismos y poder determinar una correlación entre variables como el índice de compresión y las propiedades índice de suelo

1.3.3. Determinación de la línea de investigación

1.3.3.1. Línea de estudio

La línea de investigación inicialmente parte de la consolidación de un suelo que no es más que un proceso de reducción de volumen de los suelos cohesivos provocado por acción de solicitaciones (cargas) sobre el suelo y que ocurre en un intervalo de tiempo generalmente largo.

Luego se llegó al siguiente punto que es el incremento de presión que recibe el suelo, este incremento parte de un análisis de carga que puede variar por magnitud, geometría y por intervalos de tiempo.

Llegando a la relación de vacíos que está en función del tipo de suelo, porosidad y cantidad de aire que existe en los poros. Y por último la unidad de estudio que en este caso es el índice de compresión que se obtiene de la construcción de la curva de compresibilidad representada por la pendiente de esta curva en tramo recto.

1.3.3.2. Breve descripción de causales identificados

Los causales más relevantes fueron:

- Hay un parecido en los resultados obtenidos de laboratorio con los empíricos que recomiendan diferentes autores para el coeficiente de compresión.
- Existe alguna correlación obtenida o definida para la determinación del coeficiente de compresión para suelos de Tarija de manera empírica o directa.

1.3.3.3. Identificación del objeto de estudio

El objeto de estudio es la determinación correlacional del índice de compresión.

1.3.3.4. Determinación de la perspectiva de solución

Se optó por hacer un análisis porque el autor necesitaba descomponer y comprender cada elemento que puede afectar a este parámetro como es el índice de compresión.

1.4. SITUACION PROBLEMICA

Las correlaciones ya existentes para determinar el coeficiente de compresión de un suelo están en función de muchas variables que proponen diferentes autores a pesar de brindar aportes muy valiosos, son fórmulas muy generales para la mayoría de suelos.

No existen correlaciones directas para determinar el coeficiente de compresión para suelos netamente de la ciudad de Tarija, lo que esto puede perjudicar cuando se trate de construcción de obra civil, porque para determinar este coeficiente se necesita trabajos de campo y laboratorio lo que lleva tiempo y costo.

Es posible obtener correlaciones con un cierto grado confiabilidad mediante un análisis estadístico en función de variables que relacionen al coeficiente de compresión.

Fundamentalmente la contracción de las arcillas se debe al fenómeno cíclico asociado a los cambios climáticos o estacionales los cuales inducen movimientos y sus consecuentes daños a las estructuras, esta alta capacidad de contraerse y expandirse se presenta en las arcillas que tiene alto contenido de mineral montmorillonita

En la ciudad de Tarija predomina la existencia de suelos arcillosos en diferentes zonas principalmente en lugares destinados al crecimiento poblacional, como 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.

El fenómeno que produce un cambio de volúmenes es debido a que los granos de arcilla sufren un reacomodo radical de las partículas y por consecuencia una pérdida de volúmenes, esto muchas veces es causado por un incremento en la carga, otra causa que se presenta es la succión capilar, la cual mantiene juntos los granos de arcilla.

1.5. DETERMINACION DEL PROBLEMA

¿Se podrá disminuir el tiempo en la determinación del índice de compresión de los suelos arcillosos, en función de la obtención de la correlación del índice de compresión y las propiedades índices de los suelos?

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo general

Analizar una correlación en función de las propiedades mecánicas del suelo mediante ensayos de consolidación y límites de ATTERBERG, de tal manera que sirva de base para definir de una forma más rápida algunos parámetros importantes para el diseño de obras civiles y comportamiento de suelo.

1.6.2. Objetivo específico

- Analizar y correlacionar el coeficiente de compresión en función de distintas variables.
- Ajustar los resultados obtenidos en laboratorio del índice de compresión, con los resultados de las correlaciones ya existentes y así obtener un parámetro más preciso.
- Realizar ensayos básicos de caracterización y clasificación de los suelos que se sometan a ensayos de consolidación para obtener el índice de compresión.
- Brindar una expresión que permita obtener, de forma preliminar los valores del índice de compresión para suelos de alta compresibilidad.

1.7. FORMULACION DE LA HIPOTESIS

1.7.1. Hipótesis

A partir de los resultados obtenidos mediante las características plásticas de las arcillas, podemos estimar valores del índice de compresión de manera rápida y óptima, en base a una correlación entre estos ensayos, estableciendo que la misma pueda tener una confiabilidad del 95% de tal manera se pueda establecer una propuesta técnica de los suelos de la ciudad de Tarija.

1.7.2. Identificación de variables

Variable independiente:

Límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, relación de vacíos, y contenido de humedad.

Variable dependiente:

Estudio de la consolidación para la determinación del índice de compresión.

1.7.2.1. Conceptualización y Operacionalización de las variables

Definición de variable dependiente:

Índice de compresión. - El coeficiente de compresibilidad está dado en el ensayo de consolidación por la pendiente de la secante de la curva esfuerzo/relación de vacíos, en un intervalo dado de esfuerzos.

Definición de variable independiente:

- El Límite Líquido (LL) es el contenido de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado líquido. En este estado la mezcla se comporta como un fluido viscoso y fluye bajo su propio peso. Por debajo de este contenido de humedad la mezcla se encuentra en estado plástico. Cualquier cambio en el contenido de humedad a cualquier lado de LL produce un cambio en el volumen del suelo.
- El Límite Plástico LP es el contenido de humedad por encima del cual la mezcla suelo-agua pasa a un estado plástico. En este estado la mezcla se deforma a cualquier forma bajo ligera presión. Por debajo de este contenido de humedad la mezcla está en un estado semi - sólido. Cualquier cambio en el contenido de humedad a cualquier lado de LP produce un cambio en el volumen del suelo.
- Atterberg definió el índice de plasticidad para describir el rango de contenido de humedad natural sobre el cual el suelo era plástico. El índice de plasticidad IP, es por tanto numéricamente igual a la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.
- Relación de vacíos, se define como la relación entre el volumen de vacíos y el volumen de sólidos del suelo. Es un valor adimensional que al igual a la porosidad

da una idea de que tan denso puede ser el suelo, aunque normalmente se usa más la relación de vacíos.

- El contenido de agua de un suelo o contenido de humedad es la relación entre el agua contenida en el mismo y el peso de su fase sólida, y se expresa en forma de porcentaje.
- Peso específico relativo (w) Se seleccionó el peso específico por la cantidad de valores disponibles y la confiabilidad de su obtención

Tabla 1.1. Operalización de variables

VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR/ACCIÓN
Coeficiente de compresión	El coeficiente de compresión está dado en el ensayo de consolidación por la pendiente de la secante de la curva esfuerzo/relación de vacíos, en un intervalo dado de esfuerzos.	Incremento de carga	Kilogramo por centímetro cuadrado	De antecedentes prospectivos
		Relación de vacíos	Cantidad de aire en los poros	Diferencia entre volumen inicial y final
		Tipo de suelo	Clasificación	USCS/ AASHTO
		Humedad	Porcentaje	Relación que expresa entre el peso del agua y el peso de las partículas sólidas

VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR/ACCIÓN
Propiedades índices (Límite líquido, límite plástico, índice de plasticidad, relación de vacíos, y contenido de humedad)	Las propiedades o características índices de los suelos nos deben servir para conocer, cualitativamente, el comportamiento mecánico de los suelos..	Límites de Atterberg	Porcentaje	Relación entre el peso y su volumen
		Granulometría	Porcentaje	Se expresa cuantitativamente
		Plasticidad	Grado de deformación	Determinación mediante la diferencia entre LL. Y LP.
		Relación de vacíos.	Cantidad de aire en los poros	Diferencia entre volumen inicial y final

Fuente: Elaboración propia

1.8. DISEÑO METODOLÓGICO

1.8.1. Unidad de estudio

Coeficiente de compresión

1.8.2. Población

Para la presente investigación la población está dada por la delimitación de los suelos finos de la ciudad de Tarija con la particularidad que para este suelo tendrá que tener un límite líquido mayor al 50%.

1.8.3. Muestra

Serán suelos de tipo fino, se definieron 35 tipos de suelo fino que serán extraídos de distintos puntos de la ciudad de Tarija, en los cuales exista mayor cantidad de suelos arcillosos.

1.8.4. Muestreo método estratificado

Para poder realizar el muestreo se tiene que conocer el tamaño de la población para luego determinar la cantidad mínima de ensayos, para un nivel de confianza del 95%, luego se procederá a la identificación de una zona que tenga la presencia de suelo arcilloso y posteriormente a la extracción de la muestra.

Tamaño de población

$$N = \frac{z^2 * p * q}{e^2}$$

Donde:

N = Tamaño de la población (adimensional)

p = Probabilidad de que ocurra el suceso (porcentaje).

q = Probabilidad de que no ocurra el suceso (porcentaje).

e = Error probable (porcentaje).

$$N = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2} = 384$$

El tamaño de la población es de 384 ensayos que deberán realizarse para este proyecto.

Selección del nivel de confianza:

Para esta selección como es una correlación que debe tener un nivel de resultados significativos por lo tanto el nivel de confianza será del 95 %.

Tabla 1.2. Nivel de confianza para Z al 95%

NIVEL DE CONFIANZA %	VALORES DE NIVEL DE CONFIANZA PARA Z
95	1.960

https://www.ditutor.com/inferencia_estadistica/nivel_confianza.html

Tamaño de la muestra:

Una vez definido el tamaño de población podemos conocer el número mínimo de unidades de muestreo que deben evaluarse se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n N * p_i * q_i}{N * \frac{e^2}{Z^2} + \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^n N * p_i * q_i}$$

Donde:

n = Es el tamaño de la muestra (adimensional).

N = Tamaño de la población (adimensional)

p_i = Probabilidad de que ocurra el suceso (porcentaje).

q_i = Probabilidad de que no ocurra el suceso (porcentaje).

e = Error probable (porcentaje).

Z = Certeza (adimensional)

Para la Cantidad de ensayos de laboratorio se realizará una tabla resumen donde en función a la ecuación anterior que corresponde al método estratificado con el fin de conocer la cantidad aproximada y necesaria de ensayos se realizara esta metodología por estadística.

El autor para los hechos de ocurrencia se usaron valores arbitrarios con la ayuda del docente guía como el 50% de que este ocurra y no ocurra el suceso.

Tabla 1.3. Resumen para cantidad de ensayos.

METODO ESTRATIFICADO							
Descripción	Cantidad	p_i	q_i	$p_i \cdot q_i$	$N_i \cdot p_i \cdot q_i$	W_i	n_i
Peso específico	64	0.5	0.5	0.25	16	0.167	32
Ensayo de compresión	64	0.5	0.5	0.25	16	0.167	32
Granulometría	64	0.5	0.5	0.25	16	0.167	32
Limites	64	0.5	0.5	0.25	16	0.167	32
Contenido de humedad	64	0.5	0.5	0.25	16	0.167	32
Hidrómetro	64	0.5	0.5	0.25	16	0.167	32
Suma	384				96	1.000	192

Fuente: elaboración propia

Esta metodología nos permite saber de forma clara y rápida la cantidad de ensayos para el nivel de confianza del 95% en función del tamaño de muestra.

Para tener una tentativa de cantidad de ensayos que se realizaran a cada práctica, se dividirá entre 6 a la población porque es el número de prácticas de ensayos que se realizaran en este trabajo, de esto obtenemos 64 ensayos por practica como tentativa.

Luego remplazar en la ecuación 1.2 y así poder obtener la cantidad real de ensayos por practica como se puede ver en el siguiente resumen:

Limites ATTERBERG 32 ensayos

Peso específico 32 ensayos.

Granulometría 32 ensayos.

Contenido de humedad 32 ensayos.

Hidrómetro 32 ensayos.

Consolidación 32 ensayos.

Estos valores se obtienen mediante la ayuda de la estadística son valores mínimos y no quiere decir que son valores fijos, para este trabajo se realizaron 35 en sayos por práctica, que se mostraran a detalle en anexos. Esto para elevar el nivel de confianzan.

1.8.5. Metodología

1.8.5.1. Técnicas

La toma u obtención de muestras es el procedimiento que consiste en recoger partes, porciones o elementos representativos de un terreno, a partir de las cuales se realizará un reconocimiento geotécnico del mismo. La representatividad y calidad de la muestra es decisiva para lograr la información adecuada. Un buen proceso de muestreo permite obtener información confiable.

Existen muchas técnicas para la extracción de muestra en este caso se dividió el procedimiento en cuatro pasos.

Paso 1.- Se procedió a realizar un relevamiento del terreno de manera de dividir el lote en áreas uniformes en lo que hace a la topografía. Tanto las diferencias naturales como ser relieve, la erosión y el color.

Paso 2.- los Materiales a utilizar para extracción de muestra para este proyecto.

- Palas, combo, grasa de automóvil.
- Extractores (o caladores), éstos resultan más prácticos ya que sacan muestras más uniformes, son rápidos y causan menos daño a la superficie del terreno. Estos materiales son propios del equipo de consolidación.
- Bolsa de plástico resistente, balde o contenedor impermeable donde ir colocando las distintas submuestras que se van recolectando.

Paso 3.- Profundidad de extracción de muestra.

En este caso se hicieron excavaciones a diferentes profundidades partiendo de una profundidad de excavación de un metro cuya profundidad permite apreciar claramente el perfil de suelo.

Paso 4.- Procedimiento para la extracción de muestra.

Luego de que se establecieron las áreas homogéneas como se explicó en el paso 1, se procede a obtener una muestra de cada una de ellas. Ésta muestra (conjunto) estará compuesta por varias submuestras (muestras parciales).

Muestras obtenidas con el extractor de muestra del equipo de consolidación

Figura 1.1. Extractores de muestra



Elaboración propia

1.8.5.2. Equipos

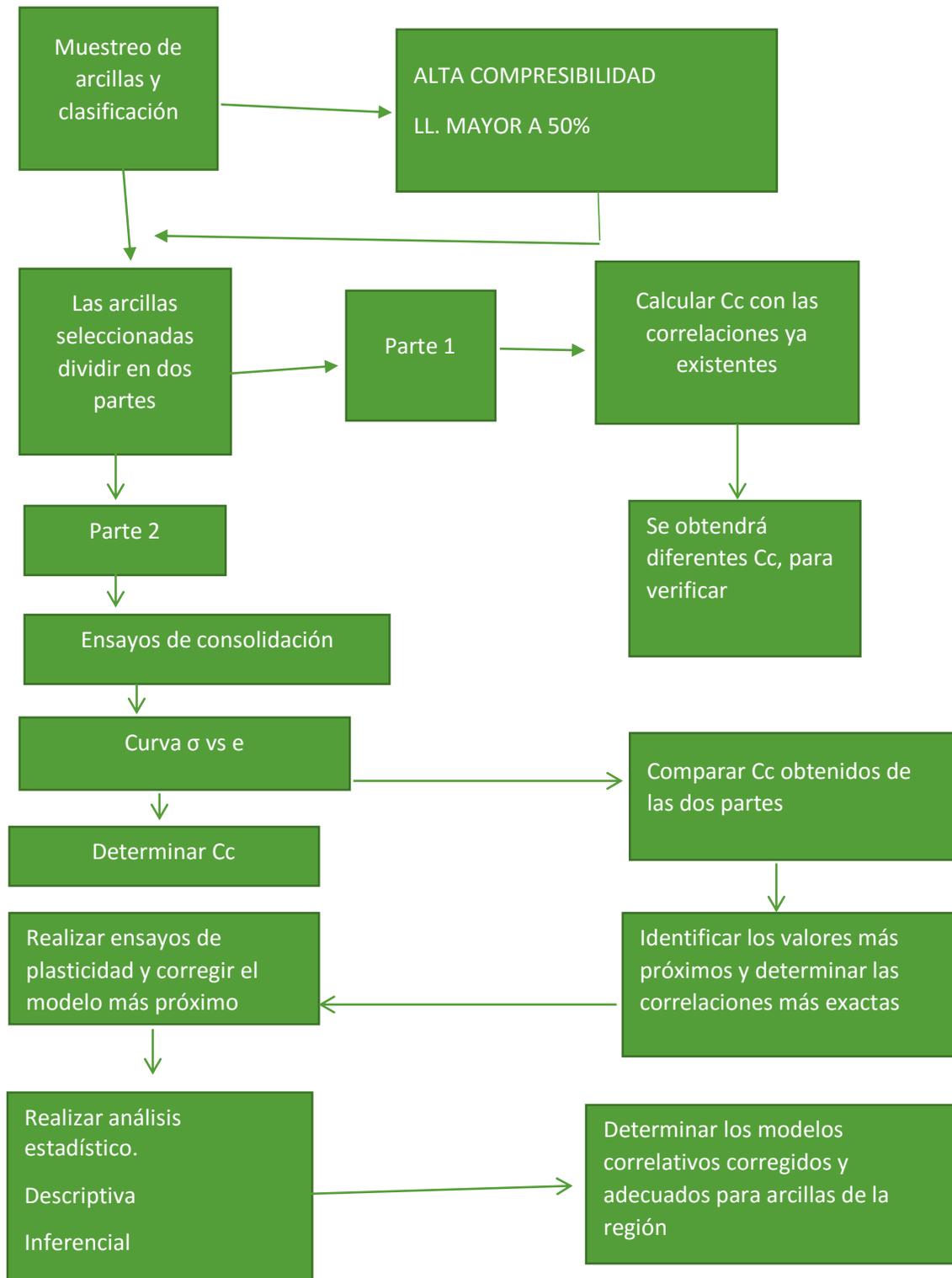
Figura 1.2. Consolidómetro.



Fuente: Elaboración propia

Equipo del laboratorio de la U.A.J.M.S. características Base en fundición de aluminio, maquinado con guía para la cámara de consolidación para muestras de 50,8 mm de diámetro Brazo de carga con 3 relaciones de palanca marco de carga con tornillo ajustable en altura para la medición de la deformación se mostrará a mayor detalle en el reporte fotográfico en anexos.

1.9. ESQUEMA DE ACTIVIDADES.



CAPITULO II

ESTADO DE CONOCIMIENTO

2.1. MARCO TEORICO

2.1.1. Introducción

Con el fin de evaluar la deformación y la resistencia de los suelos cohesivos, es necesario investigar la variación de sus propiedades físicas y mecánicas, lo cual es esencial para comprender su comportamiento, permitiendo de esta forma predecir los asentamientos que se producirán en los estratos arcillosos que son sometidos a un incremento de esfuerzos por la aplicación de una carga.

Terzaghi fue uno de los primeros en estudiar el fenómeno de consolidación en suelos finos saturados, y desarrolló la teoría de consolidación unidimensional, que es en la actualidad una de las más aplicadas para el cálculo de asentamientos. El objetivo principal de los ensayos de consolidación es obtener directamente información acerca de la compresibilidad de los suelos y determinar parámetros que expresan su deformabilidad, como los coeficientes de consolidación y de cambio volumétrico.

Debido a las desventajas presentadas por los odómetros, fue desarrollado un proceso de instrumentación, medición automática y automatización en los mismos, sustituyendo de esta forma al consolidómetro convencional por el dispositivo denominado celda Rowe, con el objetivo de mejorar la confiabilidad de los resultados y permitir ensayar un espécimen saturado. Enseguida se expondrán de forma general, los conceptos básicos sobre la teoría de consolidación, así como los parámetros obtenidos durante las pruebas de consolidación unidimensional con carga incremental. Después, se describirá el origen y evolución de los equipos utilizados para desarrollar este tipo de pruebas, particularmente la celda Rowe, y se presentarán los aspectos más relevantes de las investigaciones realizadas para determinar el índice de compresión a través de correlaciones empíricas.

2.1.2. Generalidades del fenómeno de consolidación

Terzaghi (1936) mencionaba en su trabajo *Theorie der Setzungen Von Tonschichte*, que desde 1856 se había planteado el proceso de consolidación a través de Tynall, en sus *Fragments of Science*. Por otro lado, Allen Hazen (1920) hablaba de consolidación en su

trabajo sobre presas en la American Society of Civil Engineers. Pero no es hasta cinco años después cuando Terzaghi (1925) establece la ecuación diferencial de consolidación, publicada en su *Erdbaumechanik*, análoga a la empleada en la teoría de la transmisión de calor. Sin embargo, los problemas relacionados con el proceso de consolidación se vislumbraban desde 1891, cuando un ingeniero norteamericano especialista en suelos y obras sanitarias llamado Francis Collingwood (citado en Dimitri, 1947) expuso lo siguiente:

En la mayoría de los casos es suficiente alcanzar un terreno natural y sano, de calidad conocida. Pero siempre hay que perforarlo hasta una profundidad suficiente para asegurar que no está soportado por un material semifluido o compresible el cual, con el tiempo, puede ceder y provocar peligrosos inconvenientes.

Sooy Smith (citado en Dimitri, 1947) describió con exactitud en 1898 no sólo la expulsión de agua de la arcilla en el proceso de consolidación, que causó los asentamientos en algunas zonas de la ciudad de Chicago, sino también el proceso denominado hoy como compresión secundaria.

Conforme a lo que establece la teoría de consolidación, el agua expulsada de la probeta de suelo fluye de acuerdo a la teoría de Darcy, con un coeficiente de permeabilidad constante. Además de esta hipótesis propuesta por Terzaghi, existen otras como la que establece que, en una masa de arcilla saturada y completamente consolidada, prácticamente no hay agua libre, porque de lo contrario, sería eliminada por el peso de la masa, puesto que el agua libre no tiene resistencia al corte" (Dimitri, 1947).

De acuerdo con lo expuesto, puede observarse que el fenómeno de consolidación en los suelos ha sido ampliamente estudiado, estableciéndose que, bajo la acción de una carga, la mayor parte de los materiales presentan una deformación, cuya naturaleza y magnitud dependen de la dimensión de la carga aplicada, de las propiedades del material y del tiempo. Esta deformación puede presentarse por cambio de volumen o de forma, el primer caso es denominado como compresión o expansión, y es el proceso a través del cual el suelo cambia de volumen, pero no de forma. Mientras que el segundo caso, se llama distorsión o deformación desviadora, y consiste en que el suelo cambie de forma, variando la posición de los puntos, pero manteniendo su volumen constante.

2.1.3. Proceso de consolidación

Todo suelo tiende a deformarse cuando se aplican cambios en su estado de esfuerzos; dicha deformación se debe a un cambio de volumen, en el cual influyen características como la permeabilidad del suelo.

En el caso de los suelos finos como las arcillas este cambio tiene lugar en un amplio intervalo de tiempo, debido a su baja o incluso muy baja permeabilidad, durante dicho cambio de volumen gradualmente se presentan un flujo lento de agua, una compresión del suelo y una transferencia del esfuerzo aplicado que se traduce en un aumento de la resistencia; dicho esfuerzo es asumido en principio en su totalidad por el agua intersticial presente, por lo que la presión intergranular inicial que presenta el suelo en ese momento aún se mantiene; el fenómeno descrito anteriormente es denominado consolidación.

La compresión que se genera en el fluido causa excesos en las presiones de poros cuyo valor inicial al instante de la aplicación de la carga es máximo e igual a ésta y va en disminución con el transcurrir del tiempo a medida que ocurre el fenómeno de la consolidación, en el que la relación de vacíos inicial que presentaba el suelo se ve disminuida y además avanza en menor tiempo en las partes superior e inferior del depósito de suelo que hacía el centro del mismo, en el caso de que exista drenaje en ambas fronteras, condición que se denomina doble drenaje.

En suelos granulares como las arenas, la deformación que ocurre debido a una carga aplicada sucede de manera inmediata comparativamente con el caso de las arcillas, debido a que en dichos suelos granulares las presiones de poros se disipan muy rápido, gracias a la alta permeabilidad de este tipo de suelos.

La consolidación genera un cambio de las fuerzas interparticulares, tiene un gran efecto en la resistencia del suelo, como se había indicado anteriormente y ocasiona un reajuste en la estructura del mismo, ya que, con la salida del agua, se generan espacios que posteriormente van a ser ocupados por las partículas del suelo, cuando éste empieza a comprimirse. La reducción del volumen de los poros y por tanto de la masa del suelo, produce asentamientos sobre éste afectando las estructuras que lo utilizan como suelo de fundación.

Al analizar la consolidación, se prefiere utilizar modelos unidimensionales que simplifican los cálculos del asentamiento, ya que además las deformaciones horizontales

que se presentan en el suelo, sobretodo cerca del área cargada, suelen ser menores con respecto a los desplazamientos verticales, por tanto los primeros suelen ser despreciables, dicho asentamiento debido a la compresión del suelo se debe a la disminución del volumen de vacíos y se analiza en términos de esfuerzo efectivo, que es como el suelo asume al final del proceso la carga aplicada, ya que las presiones de poros son nulas.

El período de tiempo en el cual ocurre este proceso, se identifica como **CONSOLIDACIÓN PRIMARIA** y sus efectos sobre un suelo dependen en gran medida de la composición, estructura y en especial de la relación de vacíos, muchas de esas condiciones mecánicas o químicas del suelo están dadas por la historia geológica y el esfuerzo efectivo al que éste se encuentra en el terreno. La condición de consolidación de un suelo en terreno suele ser definida gracias a la relación de vacíos y al esfuerzo de preconsolidación; una relación de vacíos alta indica que existe agua en gran cantidad contenida en los espacios interparticulares, lo cual contribuye a incrementar el potencial para un cambio de volumen. En el rango de recompresión comprendido entre el esfuerzo efectivo actual y el esfuerzo de preconsolidación no se generan mayores desplazamientos interparticulares, al contrario de lo que sucede en el rango de compresión, localizado para esfuerzos superiores al esfuerzo de preconsolidación.

Con el fin de determinar la velocidad y el tiempo que puede tardar el suelo en deformarse, se realizan ensayos de laboratorio. Es posible encontrar dichas variables por el ensayo de Consolidación Unidimensional, el cual consiste en colocar una muestra de suelo dentro de un anillo rígido y en medio de piedras porosas que permiten la disipación del agua cuando se aplican cargas al espécimen del suelo.

A dicha prueba se le puede adicionar agua para observar el comportamiento que puede sufrir el suelo cuando está saturado; durante el ensayo se toman lecturas de los asentamientos con sus respectivos tiempos, por medio del deformímetro, el sistema está unido a una barra de carga, en la cual se pueden modificar las cargas aplicadas al suelo en estudio.

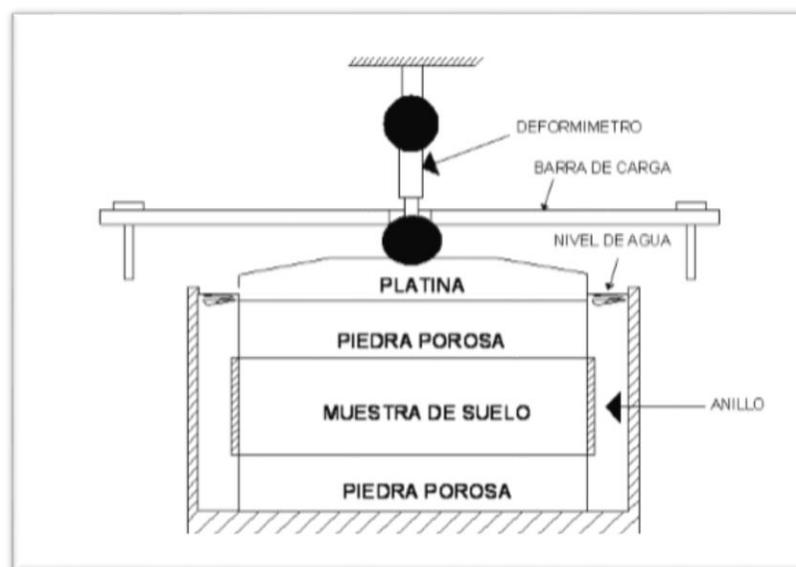
Cuando se realizan pruebas de consolidación primaria a muestras de suelo, se busca en primera instancia establecer los parámetros de consolidación (coeficiente de compresión), simulando las principales consideraciones de las hipótesis de Terzaghi al respecto; deformación vertical y flujo vertical de agua intersticial.

En la figura se observa que el equipo puede constituirse por un anillo metálico flotante, mayormente usado porque puede desplazarse durante el proceso de consolidación, o fijo usado para la realización de pruebas de permeabilidad ejecutadas simultáneamente con la de consolidación

El edómetro con anillo flotante debe tener una base rígida metálica, independiente del cuerpo del edómetro, siendo conveniente que el recipiente que contiene la muestra sea un cilindro de lucita para poder observar los movimientos del anillo y de las piedras porosas durante la prueba. Por otro lado, el consolidómetro de anillo fijo debe tener una base rígida diseñada para recibir la piedra porosa interior, y fijar el anillo de consolidación. Para sumergir la probeta se usa un recipiente independiente del banco de consolidación. Este consolidómetro debe incluir un piezómetro calibrado y las condiciones necesarias para poder realizar pruebas de permeabilidad.

EQUIPO DE CONSOLIDACIÓN

Figura 2.1. Celda convencional para consolidación con pesas



Fuente: BOWLES, Joseph A. (1982): Foundation analysis and design, ed. McGraw-Hill

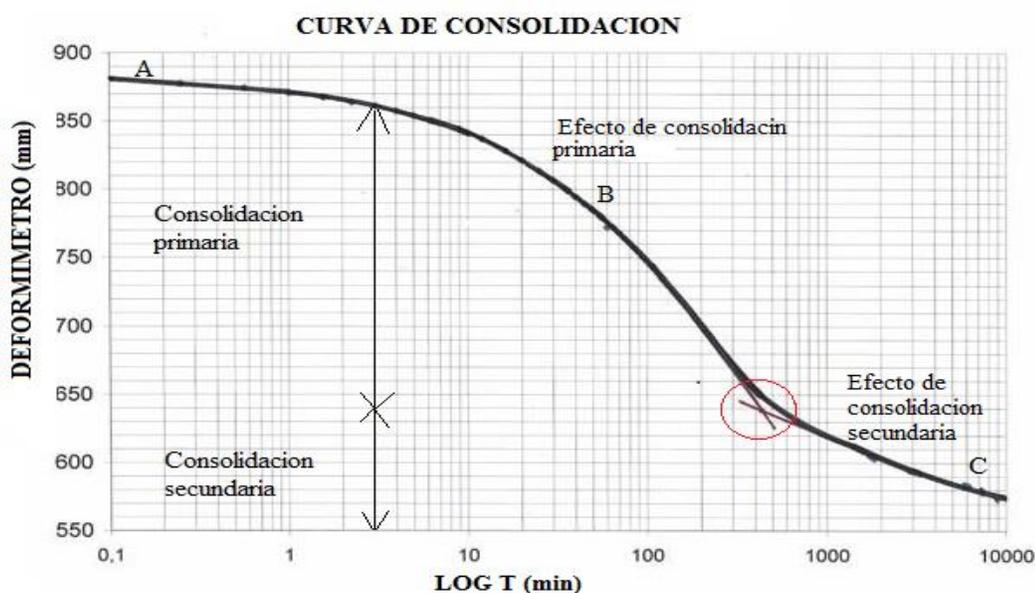
Es importante al inicio del ensayo cargar la muestra de suelo por un intervalo de tiempo determinado, puesto que el espécimen de suelo al ser extraído tiende a aumentar su volumen como producto del desconfinamiento al no estar sometido a los esfuerzos efectivos del

terreno. Una vez terminado este proceso el suelo se comporta tal cual como en el terreno y se puede empezar el proceso de carga y descarga para determinar el esfuerzo que éste puede soportar y el tiempo que tarda en deformarse.

Los valores obtenidos del ensayo de Consolidación Unidimensional, se analizan mediante gráficas que reciben el nombre de curvas de consolidación las cuales a su vez se designan como curva de consolidación de Taylor cuando relacionan las lecturas de deformación con la raíz cuadrada del tiempo o curva de consolidación de Casagrande cuando se relacionan en las abscisas el logaritmo del tiempo y en las ordenadas la deformación como se muestra en la siguiente figura.

CURVA DE CONSOLIDACIÓN

Figura 2.2. Curva de consolidación de Casagrande



Fuente: <https://www.google.com/search?q=tesis+de+consolidacion+de+suelo&oq>

Este tipo de gráficas pueden ser elaboradas para cada uno de los incrementos de carga que se realicen en el ensayo de consolidación y su tramo inicial; es decir, el tramo AB representa la deformación que presenta el suelo únicamente por el fenómeno de la consolidación primaria, en tanto que la zona BC indica la deformación que se produce debido al flujo plástico de las partículas del suelo, fenómeno que recibe el nombre de consolidación secundaria.

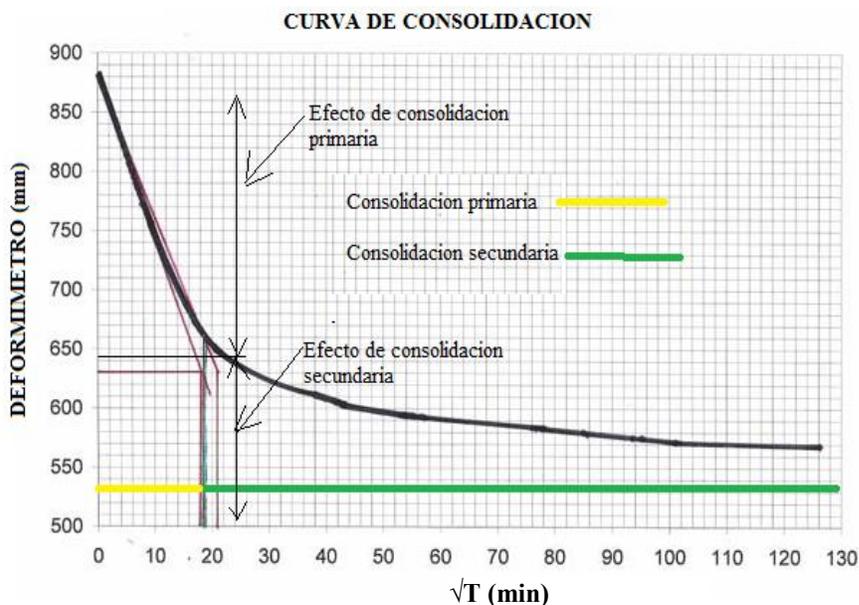
2.1.4. Consolidación secundaria

Una vez se considera terminada la consolidación primaria; es decir, cuando gran parte de los excesos en las presiones de poros han sido disipados, el asentamiento sigue presentándose debido al flujo viscoso de la estructura del suelo sometido a un esfuerzo constante y la composición química que puede llegar a tener dicho suelo. Este fenómeno se presenta a una velocidad que es lineal en función del logaritmo del tiempo y que depende de las características plásticas, en el caso de tratar con suelos arcillosos.

En esta etapa la compresión ocurre a una tasa tan pequeña que el flujo de agua hacia el exterior ya no es considerado como factor de control para dicho fenómeno, que se manifiesta o es apreciable en la forma del segmento final que presentan las curvas de consolidación; en muestras en las cuales se presenta una etapa de consolidación secundaria importante, suele preferirse el realizar un análisis por la curva de consolidación de Taylor, ya que en estos casos la curva de Casagrande no muestra la forma común para lograr establecer de manera aproximada el punto para el cual se ha producido el 100% de consolidación primaria.

CURVA DE TAYLOR

Figura 2.3. Curva de consolidación de Taylor



Fuente: GARGA, Vinod K. (1988): *Effect of sample size on consolidation of a fissured*

Al contrario de la consolidación primaria relevante en los suelos finos, la deformación plástica es importante tanto en suelos finos como gruesos ya que la línea de consolidación secundaria describe la línea básica de flujo viscoso de las partículas del suelo cuando la carga es soportada totalmente por el esqueleto de éste. Se ha identificado que los suelos normalmente consolidados y suelos con un alto contenido orgánico son los más susceptibles a los efectos de la consolidación secundaria, ésta puede ser representada en laboratorio mediante la gráfica de relación de vacíos por el logaritmo del tiempo ó la raíz del tiempo.

Cuando la gráfica tiene pendiente y es aproximadamente lineal, se puede determinar el índice de consolidación secundaria C_α , que suele presentar los siguientes valores dependiendo del tipo de suelo que se analice “para arcillas sobreconsolidadas:

(0.0005 – 0.0015), para arcillas normalmente consolidadas (0.005 – 0.03) y para arcillas, limos, turbas y orgánicos (0.04 – 0.1).

La relación más sencilla que se ha propuesto para expresar los efectos de la consolidación secundaria es:

$$\Delta H = C_\alpha H_o \text{Log}_{10} \frac{t}{t_o}$$

Donde:

ΔH = Disminución del espesor de la capa de suelo (metros)

H_o = Espesor inicial (metros)

t_o = Tiempo a partir del cual predomina el fenómeno de la consolidación secundaria (segundos)

t = Tiempo final tomado una vez ha culminado el ensayo de la consolidación secundaria (segundos)

C_α = Índice de la consolidación secundaria (adimensional)

Sin embargo, existen hipótesis que fueron trabajadas para la estimación del asentamiento secundario para algunos casos simples, es el caso de Raymond y Wahls (1976) y Mesri y Godlewski (1977) quienes definieron el índice de compresión secundaria C_α como:

$$C\alpha = \frac{\Delta e}{\Delta \log t}$$

Donde:

$C\alpha$ = Índice de consolidación secundaria (adimensional)

Δe = El cambio en la relación de vacíos a lo largo de una parte de la gráfica de relación de vacíos contra el logaritmo del tiempo entre los tiempos t_1 y t_2 . (adimensional)

Δt = El tiempo entre t_2 y t_1 (segundos)

La pendiente de la curva de compresión secundaria se puede expresar en términos del índice de compresión secundaria $C\alpha$ de acuerdo a las gráficas tanto de Taylor como de Casagrande después de completada la consolidación primaria; Así mismo es posible determinar el cambio en la deformación $\varepsilon\alpha$ por medio de la siguiente expresión:

$$\varepsilon\alpha (\%) = \left(\frac{C\alpha}{1 + e_o} \right) \times 100$$

Donde:

$\varepsilon\alpha$ = Cambio en la deformación (porcentaje)

$C\alpha$ = Índice de consolidación secundaria (adimensional)

e_o = Relación de vacíos inicial (adimensional)

Los valores del cambio de la deformación ($\varepsilon\alpha$) indican los siguientes parámetros

Tabla 2.1. Parámetros según el cambio en la deformación ($\varepsilon\alpha$)

$\varepsilon\alpha$ (%)	COMPRESIBILIDAD SECUNDARIA
≤ 0.2	Muy baja
0.2 - 0.4	Baja
0.4 - 0.8	Media
0.8 - 1.6	Alta
1.6 - 3.2	Muy alta
≥ 3.2	Extremadamente alta

Fuente: Mesri: 1980

A través del tiempo, científicos como Ladd (1971) y otros, y resumido por Raymond y Wahls (1976) crearon suposiciones acerca del comportamiento de suelo de grano fino en compresión secundaria, en las cuales:

$C\alpha$ es independiente del espesor de la capa de suelo (adimensional).

$C\alpha$ es independiente de todo el proceso de la consolidación primaria (adimensional).

La relación $C\alpha/Cc$ es aproximadamente constante para arcillas normalmente consolidadas encima del rango normal de presiones de ingeniería (adimensional).

Según (Mesri:1980) los valores de $C\alpha/Cc$ de todos los suelos están en el rango de 0.01 a 0.07, típicamente en el rango de 0.03 a 0.06, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.2. Tipo de suelo según la relación $C\alpha/Cc$.

$C\alpha/Cc$.	TIPO DE SUELO
0.03 +/- 0.01	Arcilla firme (lutitas)
0.04 +/- 0.01	Arcilla inorgánicas blandas
0.05 +/- 0.01	Arcillas orgánicas blandas y limos
0.06 +/- 0.01	Turbas

Fuente: Mesri: 1980

La tasa a la cual se presenta la consolidación secundaria decrece continuamente con el tiempo, la ecuación inicial para hallar asentamientos con el último incremento de carga es idéntica a la implementada para hacer este cálculo en la consolidación primaria, para suelos normalmente consolidados los asentamientos por consolidación primaria se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{C_c}{1 + e_0} \times H \times \log \frac{\sigma_o + \Delta\sigma}{\sigma_o} .$$

Donde:

S = Asentamiento (metros)

C_c = Coeficiente de compresión (adimensional)

H = Espesor de estrato (metros)

σ = Esfuerzo efectivo suelo (N/cm^2)

e_0 = Relación de vacíos (porcentaje)

El tiempo en el cual se efectúen las pruebas para hallar la consolidación secundaria debe ser prolongado estimando que los efectos por consolidación primaria tardan poco tiempo en desarrollarse, en campo este tiempo puede ser de meses o años, en cualquier caso, la consolidación secundaria va careciendo de importancia con el transcurrir del tiempo.

Como se mencionó anteriormente para cualquier esfuerzo efectivo en cualquier tiempo la relación $C\alpha/Cc$ es una constante en los tramos tanto de compresión como de recompresión. Se debe tener en cuenta que el valor de $C\alpha$ no se mantiene constante con el tiempo en la mayoría de los casos, de aquí que este valor pueda presentar un aumento o disminución en el rango de consolidación para el cual Cc permanece constante, aumenta o disminuye con el esfuerzo efectivo.

Los valores del índice de compresión (CC) para suelos naturales indican que la mayoría de los suelos inorgánicos tienen valores de Cc en el rango de 0.2 a 0.8; y los suelos orgánicos en el rango de 1.6 a más de 3.2 (Mesri: 1980).

2.2. CORRELACIÓN

Una correlación existe entre dos variables cuando una de ellas está relacionada con la otra de alguna manera. En esta sección se explica el coeficiente de correlación lineal r que es una medida numérica de la fuerza de la relación entre dos variables que representan datos cuantitativos.

Utilizando datos muestrales apareados (que en ocasiones se llaman datos bivariados), calculamos el valor de r (generalmente con la ayuda de recursos tecnológicos) y luego utilizamos este valor para concluir que existe (o no) una relación entre las dos variables.

Coeficiente de correlación lineal:

El coeficiente de correlación lineal r mide la fuerza de la relación lineal entre los valores cuantitativos apareados X y Y en una muestra. También se conoce como coeficiente de correlación producto momento de Pearson, en honor de Karl Pearson (1857-1936), quien lo desarrolló originalmente. Su valor se calcula con la siguiente fórmula:

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} * \sqrt{n(\sum y^2) - (\sum y)^2}}$$

Donde:

n = Representa el número de pares de datos presentes (adimensional)..

Σ = Denota la suma de los elementos indicados (adimensional).

Σx = Denota la suma de todos los valores de x (adimensional).

Σx^2 = Indica que cada valor de x debe elevarse al cuadrado y después deben sumarse esos cuadrados (adimensional).

$(\Sigma x)^2$ = Indica que los valores de x deben sumarse y el total elevarse al cuadrado. Es sumamente importante evitar confundirse entre Σx^2 y $(\Sigma x)^2$ (adimensional).

Σxy = Indica que cada valor de x debe multiplicarse primero por su valor y correspondiente. Después de obtener todos estos productos, se calcula su suma.

r = Representa el coeficiente de correlación lineal de una muestra (adimensional).

ρ = La letra griega rho se usa para representar el coeficiente de correlación lineal de una población (adimensional).

El valor de r^2 (coeficiente de determinación muestral) es la proporción de la variación de y que está explicada por la relación lineal entre X y Y .

Conceptos básicos de las medias de tendencia central.

2.2.1. Media

La media (aritmética), por lo general, es la medida numérica más importante que se utiliza para describir datos; comúnmente se le conoce como promedio. Es la medida de tendencia central que se calcula al sumar los valores y dividir el total entre el número de valores.

$$\mathbf{MEDIA} = \frac{\Sigma \mathbf{x}}{\mathbf{n}}$$

Σx = Suma de todos los valores de la muestra (adimensional).

n = Número de valores muestrales (adimensional).

2.2.2. Mediana

La mediana de un conjunto de datos es la medida de tendencia central que implica el valor intermedio, cuando los valores de los datos originales se presentan en orden de magnitud creciente (o decreciente).

Una desventaja de la media es su sensibilidad a cada valor, de tal forma que una puntuación excepcional puede afectarla de manera drástica. La mediana resuelve, en gran medida, esa desventaja. La mediana es un “valor intermedio”, ya que la mitad de los valores de los datos están por debajo de la mediana y la otra mitad por arriba de ella.

Para calcular la mediana, primero se ordenan los valores (se acomodan en orden) y luego se sigue uno de los siguientes dos procedimientos:

Si el número de valores es impar, la mediana es el número que se localiza exactamente a la mitad de la lista.

Si el número de valores es par, la mediana se obtiene calculando la media de los dos números que están a la mitad.

2.2.3. Moda

La moda de un conjunto de datos es el valor que se presenta con mayor frecuencia.

Cuando dos valores se presentan con la misma frecuencia y ésta es la más alta, ambos valores son modas, por lo que el conjunto de datos es bimodal.

Cuando más de dos valores se presentan con la misma frecuencia y ésta es la más alta, todos los valores son modas, por lo que el conjunto de datos es multimodal.

Cuando ningún valor se repite, se dice que no hay moda.

2.2.4. Sesgo

Una distribución de datos está sesgada si no es simétrica y se extiende más hacia un lado que hacia el otro. (Una distribución de datos es simétrica si la mitad izquierda de su histograma es aproximadamente una imagen en espejo de su mitad derecha). Una comparación de la media, la mediana y la moda pueden revelar información acerca de las características de sesgo.

2.3. MARCO GEOLOGICO DE TARIJA

La información de suelos finos del valle central de Tarija se deriva de diferentes procesos como ser físico, químicos, mecánicos o fisicoquímicos.

Tarija comprende rellenos con espesores mayores a los 10 km de rocas sedimentarias desde el Silúrico al Reciente, donde pueden ser reconocidos varios ciclos sedimentarios con jerarquía de conjunto de supersecuencias que tienen diferentes mecanismos de subsidencia e historias deposicionales.

Estos ciclos sobreyacen en discordancia a rocas de edad Cambro-Ordovícico consideradas basamento económico.

El Ciclo Siluro-Devónico está compuesto por más de 3000 m de sedimentos clásticos de origen marino y edad silúrica y devónica, donde alternan facies arenosas y arcillosas. La ciclicidad y continuidad lateral de ciertos límites litológicos han sido tomadas como base para su división en secuencias y conjuntos de secuencias. Las facies arcillosas, todas ellas de colores negro y gris oscuro tienen potencial como roca madre de hidrocarburos, siendo comprobadas solamente las que se asignan a la Formación Los Monos (Disalvo y Villar 1999). Adicionalmente a su capacidad generadora estas facies finas constituyen sellos regionales.

CICLO TACSARIANO. - Este ciclo comienza con uno de los depósitos aeronopolíticos de la Fm. Torohuayco (ca 500 m) en un ambiente de plataforma externa. Sobre esta unidad se desarrolla una cuenca continua de facies marinas, que corresponde a la Fm. Sama (ca 600 m), Iscayachi (ca 650 m), Cieneguillas (ca 500m) y Obispo (ca 400m); esta última de características políticas que sugieren etapas de subsistencia.

CICLO CORDILLERANO. - Comienza con el desarrollo de una cuenca aproximada N-S, en cuyo ambiente se deposita las diacmitas, resedimentos y areniscas ferruginosas de la Fm. Cancañiri (ca 200 m).

MARCO ESTRUCTURAL. - La evolución tectónica del sur de Bolivia se caracteriza desde el paleozoico Sup. Hasta la base del mezoico, por una subsidencia casi continua con las fases tectónicas ya mencionadas, de igual manera los ámbitos de depositación han sufrido acortamientos en sentido oeste-este, como consecuencia de las orogénias del oligoceno-plioceno (fases inca y quechua).

Estas orogenias ocasionaron entre otros el cabalgamiento andino principal y el cabalgamiento frontal principal; este último ubicado hacia la parte oriental del área. La imbricación a gran escala de bloques tectónicos a lo largo de los planos de despegue ubicados dentro de sedimentitas del ordovícico, así como el levantamiento de la cordillera oriental, son también efectos de las orogenias citadas.

Resultado de esta evolución tectónica es la actual distribución de fajas delgadas y plegadas en la parte oriental del área (zona subandina), con el bloque occidental (zona andina) presentando amplios anticlinales y sinclinales.

GEOLOGIA ECONOMICA.- Entre los minerales se presenta algunas variedades de arcillas de edad cuaternaria las que se encuentran distribuidas en diferentes puntos del valle de Tarija.

La variedad de sus sistemas geológicos es muy representativo, según el MAPA TEMATICO DE RECURSOS MINERALES DE BOIVIA, en sus cartas SF 20-5, SF-20, pertenecientes a la ciudad de Tarija y a Villazon en escala 1:250000, nos da una columna estratigráfica con la cual se clasifica los diferentes tipos de suelo y minerales alrededor del valle central de Tarija

Tabla 2.3. Estratos del valle central de Tarija

COLUMNA ESTRATIGRÁFICA	DENOMINACIÓN
Qs	Sedimentos no consolidados (grava, arena , arcilla)
Ope	Lutita y limotita con algunas intercalaciones de areniscas
Ois	Arenisca con intercalaciones de lutita y limolita
Ops	Arenisca cuareítica, arenisca intercalada con lutita
Stb	Arenisca con intercalaciones esporádicas de lutita
Drs	Arenisca
Dhu	Arenisca

Fuente: Mapa temático de recursos minerales de Bolivia

2.4. MARCO CONCEPTUAL

Los siguientes conceptos se consideran importantes dentro del desarrollo del presente estudio y proceden de los conocimientos adquiridos de las diferentes bibliografías.

2.4.1. Las arcillas

Son cualquier sedimento o depósito mineral que es plástico cuando se humedece y que consiste de un material granuloso muy fino, formado por partículas muy pequeñas cuyo tamaño es inferior a 0.002 mm, y que se componen principalmente de silicatos de aluminio hidratados.

El término arcilla se usa habitualmente con diferentes significados:

- Desde el punto de vista mineralógico, engloba a un grupo de minerales (minerales de la arcilla), filosilicatos en su mayor parte, cuyas propiedades físico-químicas dependen de su estructura y de su tamaño de grano, muy fino (inferior a 0,002mm).
- Desde el punto de vista petrológico la arcilla es una roca sedimentaria, en la mayor parte de los casos de origen detrítico, con características bien definidas. Para un sedimentólogo, arcilla es un término granulométrico, que abarca los sedimentos con un tamaño de grano inferior a 0,002mm.
- Para un ceramista una arcilla es un material natural que cuando se mezcla con agua en la cantidad adecuada se convierte en una pasta plástica. Desde el punto de vista económico las arcillas son un grupo de minerales industriales con diferentes características mineralógicas y genéticas y con distintas propiedades tecnológicas y aplicaciones.

Por tanto, el término arcilla no sólo tiene connotaciones mineralógicas, sino también de tamaño de partícula, en este sentido se consideran arcillas todas las fracciones con un tamaño de grano inferior a 0,002 mm. Según esto todos los filosilicatos pueden considerarse verdaderas arcillas si se encuentran dentro de dicho rango de tamaños, incluso minerales no pertenecientes al grupo de los filosilicatos (cuarzo, feldespatos, etc.) pueden ser considerados partículas arcillosas cuando están incluidos en un sedimento arcilloso y sus tamaños no superan los 0,002 mm.

Las arcillas son constituyentes esenciales de gran parte de los suelos y sedimentos debido a que son, en su mayor parte, productos finales de la meteorización de los silicatos que, formados a mayores presiones y temperaturas, en el medio exógeno se hidrolizan.

2.4.2. Consolidación primaria

Disipación del exceso de presión de poros que se presenta en el suelo, debido al flujo de agua hacia el exterior. Este proceso genera asentamientos de la masa de suelo y es relevante en aquellos suelos de baja permeabilidad como las arcillas.

2.4.3. Consolidación secundaria

Proceso que tiene lugar una vez disipado el exceso de presión poros y que trae consigo la continuación de los asentamientos del suelo a una velocidad que es lineal al logaritmo del tiempo. Estos asentamientos se deben al flujo viscoso que se presenta en la estructura del suelo a un esfuerzo efectivo constante.

2.4.4. Esfuerzos efectivos

Dados exclusivamente por las fuerzas que actúan en los puntos de contacto de partículas individuales de suelo, por tanto, los esfuerzos efectivos determinan la resistencia al corte del suelo y los procesos de asentamientos.

2.4.5. Plasticidad

Es una característica propia de los suelos denominados finos; básicamente de las arcillas, la misma se genera gracias a los desenlaces iónicos que se originan por el predominio de estas fuerzas sobre las gravitacionales, debido a la forma de placa plana que presentan las partículas que conforman este tipo de suelos. La plasticidad se puede definir como la capacidad de experimentar deformaciones irreversibles con un volumen constante sin presentar falla o rotura y aparece usualmente cuando las arcillas presentan una humedad intermedia.

2.4.6. Permeabilidad

Es la característica de un suelo para permitir que el agua pase a través del mismo. Está en función de diferentes características que presenta el suelo; como puede ser su densidad, el tamaño de las partículas que lo componen y su grado de saturación, además es importante resaltar que la viscosidad del agua en el suelo varía con la temperatura.

2.4.7. Presión de poros

Presión ejercida por la fase líquida que ocupa los vacíos del suelo.

2.4.8. Porosidad

Representa el porcentaje total de huecos que hay entre el material sólido de un suelo. Es un parámetro importante porque de él depende el comportamiento del suelo frente a las fases líquida y gaseosa, y por tanto vital para la actividad biológica que pueda soportar.

2.4.9. Capacidad de saturación de agua

Es la cantidad de agua para llenar todos los espacios de poros entre las partículas de suelo, es decir el límite superior del contenido de humedad. Para que los suelos estén saturados es necesario que todo el aire retenido en los espacios de los poros sea reemplazado con agua. Algunas veces a la saturación se le denomina capacidad máxima de retención de agua o poder retentivo para el agua.

2.4.10. Gravedad específica

La gravedad específica está definida como el peso unitario del material dividido por el peso unitario. Se representa la Gravedad Específica por G_s , y también se puede calcular utilizando cualquier relación de peso de la sustancia a peso del agua siempre y cuando se consideren volúmenes iguales de material y agua.

2.4.11. Aplicación de la gravedad específica G_s

Es un factor auxiliar para determinar las características índices de los suelos, tales como la porosidad, la relación de vacíos, la saturación. Se utiliza también en estudios de consolidación, gradiente hidráulico crítico.

2.5. MARCO REFERENCIAL

El uso de correlaciones empíricas entre los parámetros de compresibilidad y las propiedades índice permiten predecir la cantidad de asentamiento que se llevará a cabo en un sitio, y el tiempo necesario para que el estrato desarrolle la compresión; por consiguiente, este tipo de correlaciones ha asumido un gran significado en el ámbito geotécnico, principalmente en el desarrollo práctico.

Enseguida se expondrán algunas de las investigaciones que se han realizado alrededor del mundo sobre los parámetros de compresibilidad y su relación con las propiedades índice, con la finalidad de tener un panorama más amplio del tema.

En 1944 Skempton y sus colaboradores, establecieron la primera correlación que determinaba los valores del índice de compresión para muestras remoldeadas de arcilla de diferentes partes del mundo, con una desviación de $\pm 30\%$, los cuales aumentaban a medida que lo hacía el límite líquido:

$$C_c = 0.007(Wl - 10\%)$$

Terzaghi y Peck (1967) encontraron que, en arcillas normalmente consolidadas de sensibilidad baja a media, Para arcillas de la ciudad de Brasilia se encontró la siguiente correlación:

$$C_c = 0.0046(Wl - 9)$$

Han sido varios los autores que han establecido correlaciones entre los parámetros de compresibilidad y las propiedades índice, después de Skempton y Terzaghi, entre los que destacan: Nishida (1956); Cozzolino (1961); Lambe y Whitman (1969); Mayne,(1980); Nakase (1988); Yin(1999); Azzouz (1976); Koppula (1981); Rendón – Herrero (1983); Al - Khafaji y Andersland (1992), entre otros que se listan en la tabla.

El uso de las ecuaciones mostradas en la tabla ha determinado que la magnitud del índice de compresión (C_c) en arcillas saturadas varía de 0.1 a 0.5, dependiendo de sus características, y aumentan cuando la plasticidad se incrementa. En suelos orgánicos y turbas, el índice de compresión puede incrementar hasta valores de 3 como en la arcilla de la Ciudad de México, y en algunos casos puede alcanzar valores tan altos como 10 (Mesri,1975).

En efecto, su caracterización geotécnica requiere de métodos diferentes a los convencionales, pues dado que son suelos altamente sensibles a la manipulación de las muestras y a las técnicas de laboratorio utilizadas, los resultados son más susceptibles a ser incoherentes con respecto a las propiedades in situ del mismo.

Esta situación se puede evidenciar en el hecho de que muchos criterios de diseño y construcción de estructuras geotécnicas, conocidos extensamente, deben ser manejados con mucha precaución en presencia de estos materiales; problemas de tipo geotécnico comúnmente asociados a estos suelos incluyen inestabilidad de taludes, alta sensibilidad,

La disponibilidad de tantas ecuaciones para determinar los parámetros de compresibilidad en los suelos, sugiere que no es completamente satisfactorio generalizar y correlacionar la compresibilidad con las propiedades índice u otras. Sin embargo, estas permiten realizar estimaciones rápidas para cuestiones prácticas. Por lo que las correlaciones establecidas en este trabajo, permitirán obtener valores estimativos del índice de compresión de forma rápida, destacando que podrán utilizarse en los cálculos, valores mayores de las propiedades índices, comparados con los que comúnmente son utilizados en la mayoría de las ecuaciones determinadas en la literatura. Esto se debe a que las correlaciones que se expondrán más adelante para a ciudad de Tarija, cuyas propiedades son peculiares con respecto a otros lugares.

A continuación, se mostrará una tabla de correlaciones que elaboraron los diferentes autores que brindan un estudio detallado en función de las propiedades del suelo a nivel mundial.

TABLA DE CORRELACIONES

Tabla N° 2.4. Tabla de correlaciones según diferentes autores.

Ecuación	Aplicabilidad	Referencia
$C_c=0.007(w_L-10)$	Arcillas remoldeadas	Skempton, 1944
$C_c=0.0046(w_L-9)$	Arcillas Brasileñas	Cozzolio, 1961
$C_c=0.009(w_L-10)$	Arcillas normalmente consolidadas	Terzaghi y Peck, 1967
$C_c=0.006(w_L-9)$	Arcillas con límite líquido < 100%	Azzouz et. al., 1976
$C_c=0.009(w_L-8)$	Arcillas de la Bahía de Osaka	Tsuchida, 1991
$C_c=0.01(w_n-5)$	Todas las arcillas	Azzouz et. al., 1976
$C_c=0.01w_n$	Todas las arcillas	Koppula, 1981
$C_c=0.01(w_n-7.549)$	Todas las arcillas	Herrero, 1983
$C_c=0.0115w_n$	Arcillas y limo orgánico	Bowles, 1989
$C_c=0.54(e-35)$	Todas las arcillas	Nishida, 1956
$C_c=0.29(e_0-0.27)$	Suelos inorgánicos	Hough, 1957
$C_c=0.246+0.43(e_0-0.25)$	Arcillas Montley de San Paulo Brasil	Cozzolio, 1961
$C_c=1.21+1.055(e_0-1.87)$	Tierras bajas de Santos, Brasil.	Cozzolio, 1961
$C_c=0.75(e_0-0.50)$	Suelos con plasticidad	Sowers, 1970
$C_c=0.208e_0+0.0083$	Arcillas de Chicago	Bowles, 1989
$C_c=0.156e_0+0.0107$	Todas las arcillas	Bowles, 1989
$C_c=0.5 (\gamma_w/\gamma_d)^{2.4}$	Todo tipo de suelos	Herrero, 1980
$C_c=0.185[G_s(\gamma_w/\gamma_d)^2-0.144]$	Todo tipo de suelos	Herrero, 1983
$C_c=0.5PIG_s$	Todas las arcillas remoldeadas	Wroth y Wood, 1978

Fuente: Sridharan A (2000)

Ecuaciones que nos brindan autores de distintas literaturas esto servirá para realizar un análisis y comparación para el objetivo principal de esta tesis que es obtener una correlación para el coeficiente de compresión de suelo en función de las propiedades índice del suelo del valle central de Tarija.

CAPITULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA

3.1. CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE INFORMACIÓN

3.1.1. Criterios establecidos para la obtención de muestra

Se establecieron las áreas de estudio bajo un criterio inicial que fue el establecer arcilla con un límite líquido mayor a 50 una vez ubicado el lugar, se procede a obtener una muestra de cada una de ellas. Ésta muestra (conjunto) estará compuesta por varias submuestras (muestras parciales). Cuanto mayor es la cantidad de submuestras que se tomen, más representativa será para el fin del estudio.

Ubicación

La ubicación de los puntos de muestreo se señala en la figura 3.1. en el área urbana de la ciudad de Tarija; con la muestra obtenida se realizó los respectivos ensayos, de la cual se obtuvo la clasificación mencionada en la tabla para realizar un mapeo técnico con precisión expresado en coordenadas UTM.

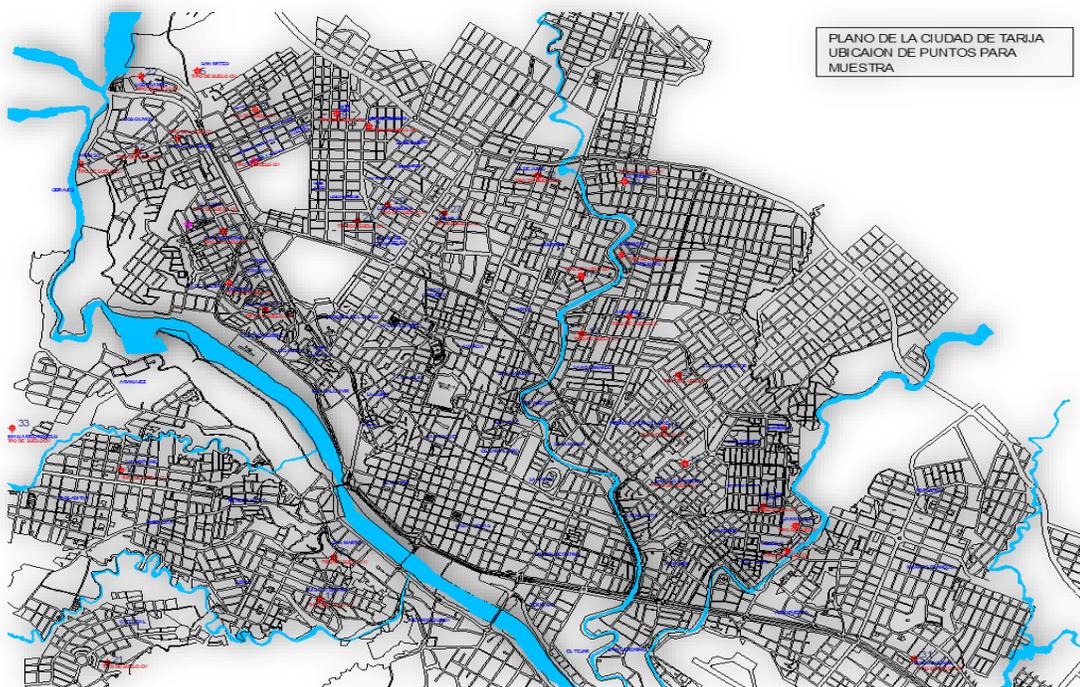
Figura 3.1. Ubicación de lugar de extracción de muestra



Fuente: Fuente: <https://www.google.com/search?q=mapa+de+ciudad+de+tarija&source>

PUNTOS DE EXTRACCION DE MUESTRA

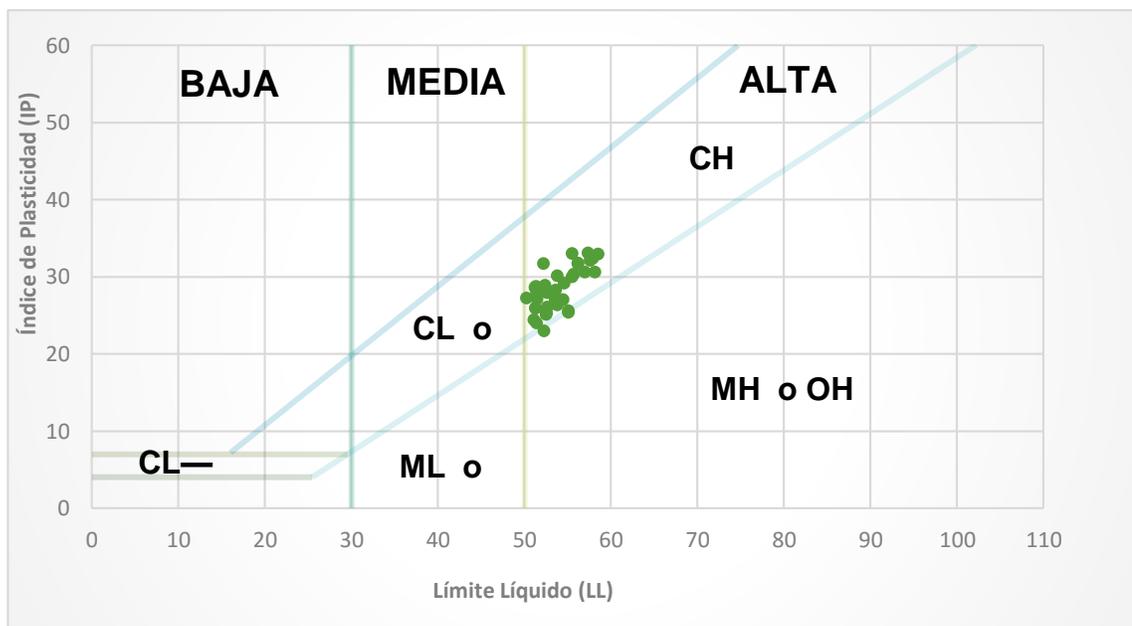
Figura 3.2. Puntos de extracción de muestra



Fuente: Catastro Urbano de la ciudad de Tarifa

CLASIFICACIÓN DE SUELO

Figura 3.3. Clasificación de suelo mediante la carta de plasticidad



Fuente: Elaboración propia

Ubicación, Identificación y coordenadas de los puntos de extracción de muestra

Tabla 3.1. Identificación de las zonas de muestreo

DESCRIPCIÓN		COORDENADAS		TIPO DE SUELO
Nº	ZONAS DE EXTRACCION	ESTE	NORTE	Clasificación SUCS
1	B/PARAISO	317415.650	7620917.950	CH
2	B/ OLIVOS	317826.170	7621007.350	CH
3	B/LIBERTAD	318722.470	7619797.280	CH
4	B/CARLÓS WAGNER.	318291.440	7621153.950	CH
5	B/SAN MATEO	318761.200	7621490.180	CH
6	B/7 DE OCTUBRE	318929.010	7620924.500	CH
7	B/OSCAR ZAMORA	319882.430	7621415.510	CH
8	B/FORTALEZA	318934.940	7621417.840	CH
9	B/15 DE JUNIO	319511.290	7621382.270	CH
10	B/SAN MARTIN.	319586.750	7617263.280	CH
11	B/LUIS DE FUENTES	319473.230	7616848.620	CH
12	B/SAN BERNARDO	321620.470	7619328.630	CH
13	B/ SAN ANTONIO	317818.390	7618062.780	CH
14	B/BARTOLOMÉ ATTARD	323164.620	7617716.430	CH
15	B/JUAN NICOLAI	323434.810	7617529.840	CH
16	PEDRO ANTONIO FLORES	322339.910	7618434.010	CH
17	B/LOURDES	321646.340	7619786.210	CH
18	B/ANDALUZ	322032.280	7619490.790	CH
19	B/ NARCISO CAMPERO	322507.610	7618117.230	CH
20	B/PANAMERICANO	318647.710	7622822.700	CH
21	B/CATEDRAL	317705.890	7616252.600	CH
22	B/LOS ALAMOS	317984.290	7621732.650	CH
23	B/LOS CHAPACOS	319787.680	7620376.180	CH
24	B/CONSTRUCTOR	322457.740	7618939.360	CH
25	ZONA SANBLAS	321533.970	7614920.080	CH
26	B/2 DE MAYO	321984.970	7620068.250	CH
27	B/3 DE MAYO	320508.000	7620448.120	CH
28	B/ROSEDAL	323367.430	7617300.770	CH
29	B/LAS PASCUAS	320033.180	7620531.960	CH
30	B/TRIGAL	322032.280	7620750.070	CH
31	B/SIMON BOLIVAR	324418.980	7616290.110	CH
32	B/24 DE JUNIO	321287.510	7620804.880	CH
33	B/AMALIA MEDINACELLI	316911.240	7618443.100	CH
34	B/LA UNION	318374.610	7620352.700	CH
35	B/JUAN PABLO II	319016.960	7619550.830	CH

Fuente: Elaboración propia

Los puntos y coordenadas obtenidas del plano catastral de Tarija, ver Anexo V. indican que los suelos pertenecen al grupo de CH: Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.

3.1.2. Obtención de muestra

Se procedió a despejar una superficie horizontal (o paralela a la superficie del suelo) de suelo de lo suficientemente amplia como para que quepan las taras dejando un espacio entre ellos de unos 3-5 cm (aproximadamente 20 cm x 40 cm). La superficie estaba entre 2-3 cm por sobre el nivel superior de muestreo.

Una vez limpia la superficie seguidamente se entierro los anillos extractores, con un combo de goma dura, hasta la profundidad mucho mayor al espesor de los anillos.

Se Extrajo los anillos evitando que pierdan material de su interior y enrasarlos para obtener el volumen correspondiente, sin alterar su estructura natural. Se guardaron las muestras adecuadamente para el transporte.

Para densidad aparente (pero no la distribución de poros), se procedió de la siguiente forma: Una vez obtenido cada tara de un estrato, se vacía su contenido íntegramente (sin perder nada) en una bolsa de plástico resistente. De esta manera la muestra estará formada por el suelo equivalente a un volumen total determinado por el número y tamaño de las muestras.

Para este trabajo se utilizaron materiales como pala, pico y los extractores de muestra del equipo de consolidación del laboratorio de la universidad UAJMS

Para el fin del proyecto se tomarán la mayor cantidad de muestras de los diferentes lugares de Tarija provincia Cercado, con el fin de encontrar la mayor cantidad de suelos arcillosos. La cantidad de la muestra será de 5 kg por cada punto para los diferentes ensayos que se practicarán en cada muestra para poder clasificarlos según sus características. Precauciones y normas generales a tener en cuenta:

- No muestrear inmediatamente después de una lluvia (la humedad ideal del suelo debe ser de 25 % aproximadamente) o si el perfil del suelo está saturado, es conveniente siempre esperar 2 o 3 días a que drene bien.

- Al extraer de las profundidades de más abajo (5-20 cm / 20-40 cm / 40-60 cm), convendrá quitar o separar la tierra que haya caído de más arriba para no contaminar las submuestras.
- Tener especial cuidado de no mezclar las muestras de diferentes profundidades.

A continuación, se presenta la descripción de las actividades desarrolladas en el laboratorio. Los ensayos de consolidación condicionados a incrementos de carga cada 24 horas cuando se alcance los 16 kg este último parámetro para las cargas se dedujo ya que no variaba la lectura en el deformímetro con respecto a los 16 kg, ensayos de gravedad específica límites, hidrómetro y contenido de humedad; fueron desarrollados paralelamente.

3.1.3. Extracción de muestra

Se presentarán en forma fotográfica algunas zonas de extracción de muestra:

Fotografía 3.1. Barrio Paraiso



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3.2. Barrio Carlos Wagner



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3.3. Barrio Olivos



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3.4. Barrio San Mateo



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3.5. Barrio 7 de Octubre



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3.6. Barrio 26 de Agosto



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3.7. Barrio 15 de Junio



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3.8. Barrio 26 de Agosto



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3.9. Barrio Los Álamos



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3.10. Barrio Panamericano



Fuente: Elaboración propia

Los ensayos realizados en este laboratorio fueron desarrollados directamente por Kenny G. Zenteno Bustamante, autor del presente trabajo.

Con el fin de tener resultados confiables, se siguieron los parámetros de las siguientes metodologías estandarizadas, para la ejecución de ensayos en muestras de suelo en el laboratorio:

Determinación en el laboratorio del contenido de humedad. (INV E 122-07, ASTM D2216, NTC 1495).

Determinación del límite líquido, plástico e índice de plasticidad de los suelos (INV E-125, 126, ASTM D-4318, AASHTO T-89).

Determinación de la gravedad específica de los suelos y (INV E128, ASTM D-854, AASHTO T-100).

Consolidación unidimensional de los suelos (INV E-151, ASTM D-2435, AASHTO T2160).

Parámetros de resistencia del suelo mediante compresión. (INV E-153, ASTM D-2850 - 4767, AASHTO T-234 - 297).

3.2. DESCRIPCIÓN DE ENSAYOS PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS PARA EL ENSAYO DE CONSOLIDACIÓN

Las muestras de suelo obtenidas del sondeo de la ciudad de Tarija se la realiza un total de 35 pruebas de consolidación unidimensional, también se realizó variaciones en los tiempos de aplicación de los incrementos de carga y en la magnitud de los incrementos, correspondiente al programa de pruebas de laboratorio.

Se colocaron las muestras inalteradas en anillos de bronce con diámetro promedio 64 mm y altura de 25.5 mm. El gradiente hidráulico se estableció en sentido vertical con desplazamiento hacia arriba y hacia abajo. En la Figura se presenta en forma esquemática el montaje de la muestra de suelo. En éste se colocan piedras porosas de buena permeabilidad en los dos extremos para garantizar el drenaje en el sentido vertical, pero en distancia equivalente a la mitad de la altura de la muestra.

La presión inducida en la muestra se hizo por medio de brazos que hacen el efecto de palanca y multiplican la carga que se coloca en el extremo libre.

3.3. EL CONTENIDO DE HUMEDAD Y LÍMITES DE ATTERBERG

Se determinó el contenido de humedad natural a cada una de las 35 muestras obtenidas. A las mismas se les hizo ensayo de clasificación mediante la obtención de los límites líquido, plástico e índice de plasticidad.

En estas pruebas se utilizaron los equipos necesarios para garantizar la confiabilidad; horno con temperatura controlada a 110 °C, balanza con precisión de 0.01 g, cazuela de Casagrande y ranurador metálico curvo.

En el ensayo de límite líquido se determinó la humedad para 4 diferentes números de golpes que varían entre 15 y 50 con altura de caída de 10 mm. El valor de LL corresponde a la humedad del suelo para el cual este se cierra a 25 golpes en una, longitud de la ranura de 13mm. Este se determinó mediante el método gráfico No. Golpes Vs humedad.

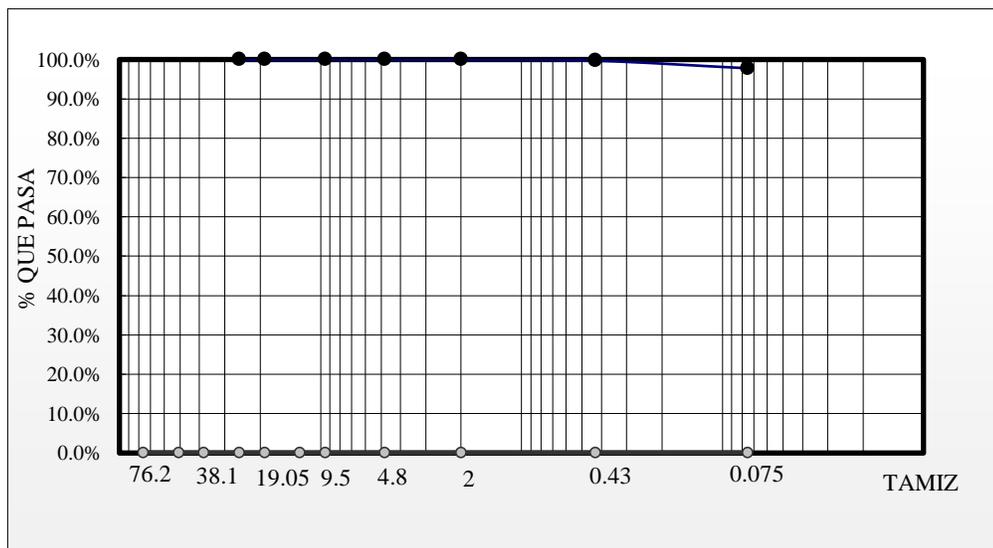
Caracterización para arcillas del proyecto curva granulometría por el método del tamizado

Tabla 3.2. Tabla de resultados de caracterización de suelo solo para la muestra 1

PESO TOTAL (gr.)		500			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Ret. Acum	% Ret	% Que pasa total
1"	25.400	0.000	0.000	0.000	100.000
3/4"	19.050	0.000	0.000	0.000	100.000
3/8"	9.500	0.000	0.000	0.000	100.000
N°4	4.800	0.000	0.000	0.000	100.000
N°10	2.000	0,00	0.000	0.000	100.000
N°40	0.430	1.200	1.200	0.200	99.800
N°200	0.075	9.800	11.000	2.200	97.800
Base		489.000			

Fuente: Elaboración propia

Grafica N° 3.1. Curva granulométrica de la muestra 1



Fuente: Elaboración propia

Cómo se puede apreciar la curva granulométrica pertenece un suelo fino netamente un suelo arcilloso el procedimiento para la obtención de datos se mostrarán con más detalle en anexos

3.4. CARACTERIZACIÓN DE LA ARCILLA

Para poder caracterizar la arcilla se procedió a realizar los siguientes ensayos descritos a continuación en el laboratorio de suelos de la universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

El procedimiento de cada ensayo realizado se verá en el ANEXO correspondiente

Tabla 3.3. Resultados de granulometría para hidrómetro

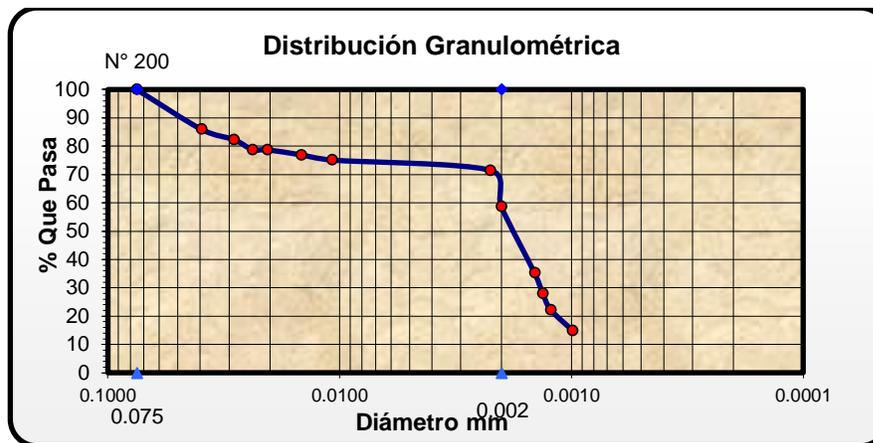
HORA DE LECTURA	TIEMPO TRANSC. (MIN)	TEMP. °C.	LECTURA REAL R'.	LECTURA CORREG R.	PROF. EFEC. L	CONSTANTE K 'TABLA	L/T	CT	LECTURA CORREG RC.	DIAM. PARTÍCULA MM	% MÁS FINO
11:000	0.000	18.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	100
11:010	1.000	18.000	51.700	52.700	8.400	0.014	8.400	-0.500	52.200	0.039	3.279
11:020	2.000	18.000	49.500	50.500	8.800	0.014	4.400	-0.500	50.000	0.029	3.140
11:030	3.000	18.000	47.300	48.300	9.100	0.014	3.033	-0.500	47.800	0.024	3.002
11:040	4.000	18.000	47.300	48.300	9.100	0.014	2.275	-0.500	47.800	0.021	3.002
11:080	8.000	18.000	46.200	47.200	9.200	0.014	1.150	-0.500	46.700	0.015	2.933
11:150	15.000	18.000	45.100	46.100	9.400	0.014	0.627	-0.500	45.600	0.011	2.864
17:150	360.000	18.000	42.900	43.900	9.700	0.014	0.027	-0.500	43.400	0.002	2.726
18:000	500.000	18.000	35.200	36.200	10.900	0.014	0.022	-0.500	35.700	0.002	2.242
08:000	1160.000	18.000	20.900	21.900	13.000	0.014	0.011	-0.500	21.400	0.001	1.344
10:400	1440.000	18.000	16.500	17.500	13.700	0.014	0.010	-0.500	17.000	0.001	1.068
16:400	1800.000	17.000	13.200	14.200	14.200	0.014	0.008	-0.700	13.500	0.001	0.848
10:400	2880.000	17.000	8.800	9.800	14.800	0.014	0.005	-0.700	9.100	0.001	0.572

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el ensayo d hidrómetro para poder definir cuanto existe de arcilla y cuanto de limo existe en las muestras obtenidas expresadas en porcentaje para este proyecto.

Curva de granulometría obtenida mediante los resultados del ensayo de hidrómetro que consta del porcentaje que pasa el tamiz número 200 y el diámetro de las partículas de suelo en suspensión.

Grafica 3.2. Curva granulométrica de hidrómetro



Fuente: Elaboración propia

Lecturas obtenidas mediante el equipo de consolidación en este caso se obtuvieron varias lecturas en función al tipo de carga y al tiempo, para esta lectura el tiempo fue de 24hrs y una carga de 1 kg.

Tabla N° 3.4. Lecturas obtenidas en el ensayo de consolidación

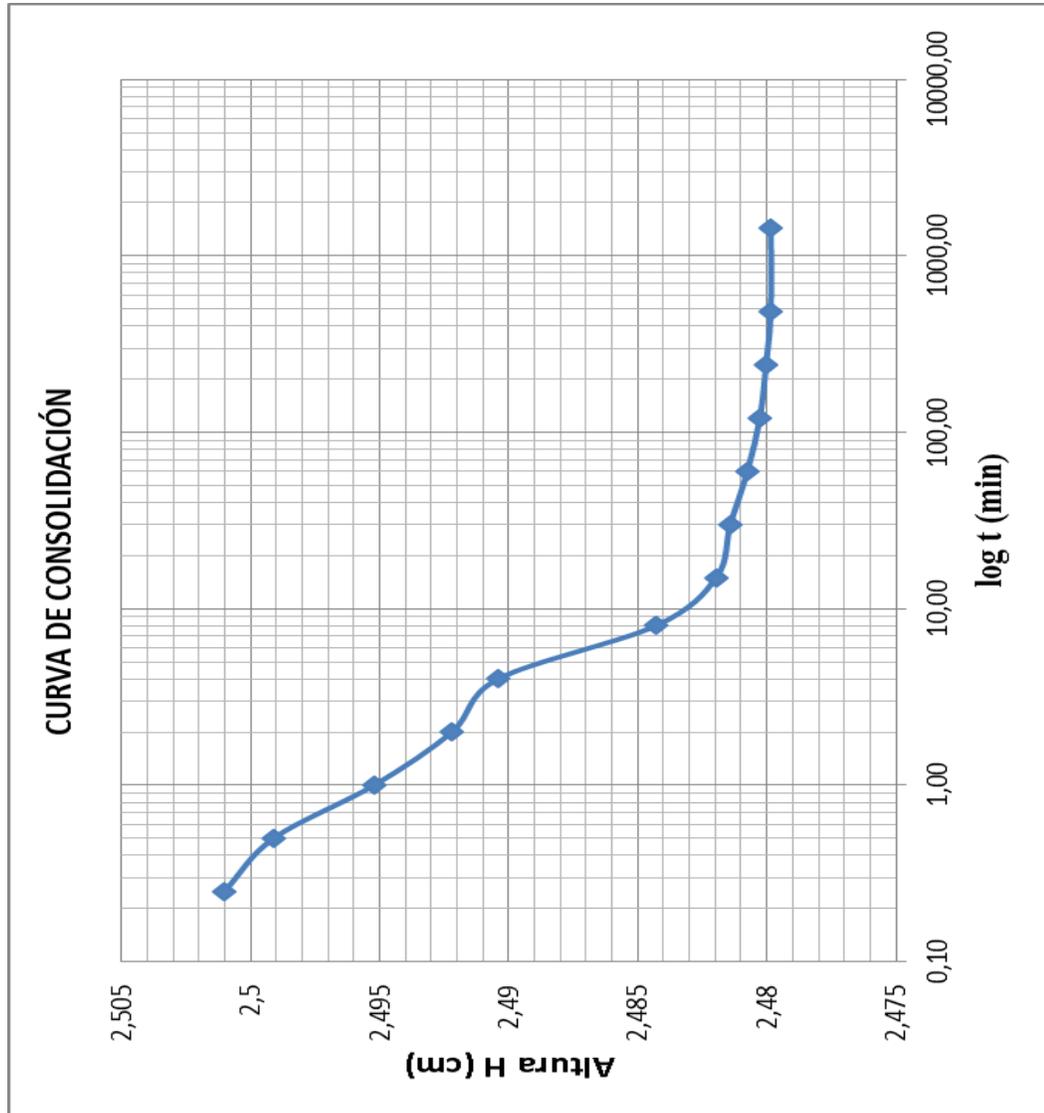
TIEMPO (min)	DEF.V (X0,01mm)	ALTURA DE PROBETA (cm)
0.000	179.150	2.662
0.100	270.000	2.571
0.250	339.990	2.501
0.500	341.900	2.499
1.000	345.800	2.495
2.000	348.800	2.492
4.000	350.600	2.490
8.000	356.700	2.484
15.000	359.040	2.482
30.000	359.580	2.481
60.000	360.240	2.481
120.000	360.720	2.480
240.000	360.960	2.480
480.000	361.140	2.480
1440.000	361.152	2.480
	Hf (cm)=	2.480

Fuente: Elaboración propia

Curva de consolidación construida con el proceso total del ensayo de laboratorio para una muestra, es decir está construida con el total de cargas y las alturas de asentamiento para cada carga.

Las cargas para el ensayo de consolidación de laboratorio para todas las muestras fueron de: 1, 2, 4, 8, 16 kg.

Gráfica .3.3. Curva de consolidación



Fuente: Elaboración propia

El proceso de la construcción de la curva se mostrará en el anexo IV

Resumen de resultados obtenidos mediante los distintos ensayos de laboratorio que servirán como base de datos para poder generar la nube de puntos que se analizarán en el capítulo IV

Tabla N° 3.6. Tabla de resultados ensayos de laboratorio

N°	LUGAR	LL (%)	LP (%)	IP (%)	Clasif. SUCS:	Gs (g/cm ³)	en (%)	Cc (adm)	Wo (%)
1	B/PARAÍSO	53.570	25.300	28.270	CH	2.658	0.765	0.417	8.520
2	B/ OLIVOS	56.200	24.410	31.791	CH	2.617	1.186	0.418	16.040
3	B/LIBERTAD	52.620	24.720	27.902	CH	2.621	0.935	0.383	13.580
4	B/CARLÓS WAGNER.	55.050	29.650	25.402	CH	2.640	0.882	0.399	9.580
5	B/SAN MATEO	56.950	26.380	30.571	CH	2.659	1.024	0.426	12.610
6	B/7 DE OCTUBRE	52.560	27.280	25.276	CH	2.634	0.740	0.388	11.490
7	B/26 DE AGOSTO	58.140	27.540	30.597	CH	2.652	1.084	0.436	11.310
8	B/FORTALEZA	53.760	27.430	26.337	CH	2.631	1.055	0.390	15.280
9	B/15 DE JUNIO	54.560	25.430	29.133	CH	2.663	0.987	0.404	8.520
10	B/SAN MARTIN.	57.370	24.330	33.032	CH	2.640	0.937	0.395	13.690
11	B/LUIS DE FUENTES	52.600	26.540	26.065	CH	2.681	0.931	0.369	8.520
12	B/SAN BERNARDO	52.180	20.520	31.657	CH	2.725	1.233	0.379	12.590
13	B/ SAN ANTONIO	57.890	25.530	32.359	CH	2.720	1.457	0.373	9.560
14	B/BARTOLOMÉ ATTARD	56.200	24.530	31.676	CH	2.670	1.402	0.378	16.040
15	B/JUAN NICOLAI	52.480	27.380	25.100	CH	2.685	1.416	0.396	11.490
16	B/PEDRO ANTONIO FLORES	57.570	25.440	32.136	CH	2.754	1.201	0.405	11.480
17	B/LOURDES	58.480	25.520	32.952	CH	2.678	1.226	0.403	12.570
18	B/ANDALUZ	52.370	23.530	28.847	CH	2.729	1.243	0.401	11.360
19	B/ NARCISO CAMPERO	51.370	27.370	24.002	CH	2.675	1.439	0.386	17.770
20	B/PANAMERICANO	55.680	25.360	30.324	CH	2.679	1.344	0.396	6.180
21	B/CATEDRAL	54.470	27.460	27.018	CH	2.667	0.887	0.397	10.450
22	B/LOS ALAMOS	53.780	23.660	30.120	CH	2.668	1.192	0.393	10.880
23	B/LOS CHAPACOS	55.480	25.480	30.002	CH	2.651	1.066	0.401	12.450
24	B/CONSTRUCTOR	55.050	29.450	25.604	CH	2.709	1.044	0.414	9.420
25	ZONA SANBLAS	55.470	22.490	32.983	CH	2.724	1.051	0.413	15.130
26	B/2 DE MAYO	53.540	26.550	26.984	CH	2.666	0.883	0.394	12.510
27	B/3 DE MAYO	51.280	25.370	25.905	CH	2.644	0.949	0.404	12.620
28	B/SAN GERONIMO	51.320	22.560	28.762	CH	2.638	1.054	0.423	9.580
29	B/LAS PASCUAS	52.270	29.330	22.946	CH	2.630	0.970	0.434	8.650
30	B/TRIGAL	51.220	22.640	28.579	CH	2.610	1.049	0.423	12.610
31	B/SIMON BOLIVAR	51.260	25.370	25.895	CH	2.669	2.616	0.780	11.310
32	B/GERMAN BUCH	51.090	26.670	24.420	CH	2.633	1.230	0.401	15.280
33	B/AMELIA MEDINACELLI	50.250	23.050	27.202	CH	2.666	1.439	0.386	8.520
34	B/LA UNION	51.400	23.360	28.043	CH	2.660	1.346	0.396	11.480
35	B/JUAN PABLO II	51.430	24.370	27.062	CH	2.696	0.876	0.397	12.570

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

ANALISIS E INTERPRETACION DE DATOS

4.1. ANÁLISIS DE CORRELACIONES PARA OBTENER EL ÍNDICE DE COMPRESIÓN EN FUNCIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE

4.1.1. Introducción

El índice de compresión es uno de los parámetros mejor conocidos en la mecánica de suelos. Además, es útil tanto en el desarrollo de conceptos teóricos, como en la realización de trabajos prácticos. De ahí, que a lo largo de los años ha existido un gran esfuerzo para realizar investigaciones que permitan establecer correlaciones entre el índice de compresión y las propiedades índices de suelos cohesivos, con la finalidad de simplificar los procedimientos de identificación del esfuerzo de compresión.

En el presente capítulo se exponen las correlaciones establecidas para obtener el índice de compresión a partir del límite líquido, el peso específico relativo, el índice de plasticidad y la relación de vacíos final. Estas correlaciones se establecieron para brindar una herramienta práctica en el análisis preliminar de las condiciones de compresibilidad esperadas para los suelos. Por lo tanto, este capítulo está enfocado a la determinación del índice de compresión, indispensable para el cálculo de los asentamientos que puede sufrir una estructura, y correlacionarlo con las propiedades índices del suelo.

A menudo en la práctica se requiere resolver problemas que incluyen conjuntos de variables entre las que existen relaciones inherentes, desarrollando en ocasiones análisis de regresión lineal. Este tipo de análisis fue utilizado en el presente trabajo, para definir las diferentes correlaciones entre el índice de compresión y las propiedades índice, en las cuales el índice de compresión se conocerá como variable dependiente, y estará en función de: LL, LP, IP, Gs, Wo, en, llamadas variables independientes. El rango de valores de las variables analizadas es muy extenso, comparados con los que se presentan en otros suelos.

Las correlaciones establecidas se basaron en diversos criterios, los cuales se expondrán en este capítulo. En general, los resultados indican que el índice de compresión está correlacionado en mejor medida con la relación de vacíos.

4.2. RECOPIACIÓN DE DATOS

La información recopilada para establecer las correlaciones simples y múltiples de arcillas de la ciudad de Tarija provincia cercado, pertenecen a un total de 35 ensayos de consolidación unidimensional realizados en muestras de esta zona, pruebas realizadas en el laboratorio de Mecánica de Suelos de la UAJMS.

Con la finalidad de comparar los resultados obtenidos, y mejorar las correlaciones determinadas, se estableció una base de datos constituida con los resultados antes mencionados, y la información de suelos cohesivos generada por otros autores. Observando con ello, la variabilidad que tienen los resultados.

Por otro lado, el procesamiento de la información fue desarrollado con los programas Excel, y Statgraphics.

4.3. SELECCIÓN Y TRATAMIENTO DE INFORMACIÓN

Debido a que cualquier propiedad índice es fácil y rápida de obtener, estas pueden utilizarse como variables para determinar correlaciones con el índice de compresión, por lo que deben escogerse las más adecuadas para ello. Es decir, aquellas que tengan alguna relación física con la variable dependiente, además de tomar en cuenta la cantidad y calidad de datos disponibles.

4.4. RESULTADOS OBTENIDOS EN LABORATORIO

Con las propiedades índice que muestra la tabla 3.6. Se realizará las siguientes correlaciones para determinar el coeficiente de compresión, previamente al tratamiento estadístico.

4.4.1. Análisis estadístico para el coeficiente de compresión

Coeficiente de compresión

Medidas de Tendencia Central

Tabla 4.1: Distribución de frecuencia simple

COF. DE COMP. (X)	FREC. (f)	COF.*F
0.369	1.000	0.369
0.373	1.000	0.373
0.378	1.000	0.378
0.379	1.000	0.379
0.383	1.000	0.383
0.386	1.000	0.386
0.388	2.000	0.776
0.390	1.000	0.390
0.393	1.000	0.393
0.394	1.000	0.394
0.396	1.000	0.396
0.396	1.000	0.396
0.396	1.000	0.396
0.398	2.000	0.795
0.399	2.000	0.798
0.401	1.000	0.401
0.401	1.000	0.401
0.403	2.000	0.806
0.404	1.000	0.404
0.404	1.000	0.404
0.405	1.000	0.405
0.413	1.000	0.413
0.414	1.000	0.414
0.418	1.000	0.418
0.418	1.000	0.418
0.423	1.000	0.423
0.426	2.000	0.853
0.434	1.000	0.434
0.436	1.000	0.436
0.780	1.000	0.780
Suma	35.00	14.408

Fuente: Elaboración propia

Se realizará un tratamiento estadístico al coeficiente de compresión para poder verificar que los datos obtenidos en laboratorio son coherentes para objeto de este trabajo.

Media Aritmética

$$x = \frac{f_1 * x_1 + f_1 * x_2 \dots \dots f_m * x_m}{\sum n}$$

$$x = \frac{14,408}{35} = 0.412$$

Mediana

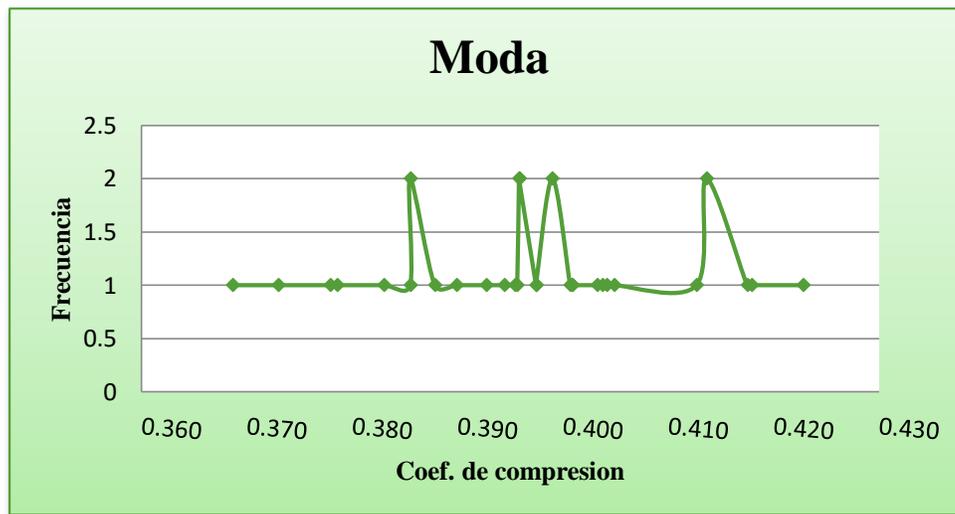
$$Me = \frac{X\left(\frac{n}{2}\right) + X\left(\frac{n}{2} + 1\right)}{2}$$

$$Me = \frac{0,396+0,397}{2} = 0.397$$

Este valor nos indica que el 50% de los valores están por encima de 0.397 y el otro 50% debajo de 0,397

Moda

Grafica 4.1. Frecuencia Vs Moda



Fuente: Elaboración propia

La moda de nuestra información es de forma multimodal, debido a que presenta más de un pico en la gráfica lo que quiere decir q los valores que se presentaron más veces son: 0.386, 0.396, 0.399, 0.414

Medidas de dispersión

Tabla 4.2: Datos para el análisis de Dispersión

COEF. COMPR. (X)	FREC. (f)	COEF. COMP.*f	Xi - xmed	f*(Xi-x)	ABS f*(Xi-x)	(Xi-x)^2	f*(Xi-x)^2
0.369	1.000	0.369	-0.028	-0.028	0.028	0.001	0.001
0.373	1.000	0.373	-0.023	-0.023	0.023	0.001	0.001
0.378	1.000	0.378	-0.019	-0.019	0.019	0.000	0.000
0.379	1.000	0.379	-0.018	-0.018	0.018	0.000	0.000
0.383	1.000	0.383	-0.013	-0.013	0.013	0.000	0.000
0.386	1.000	0.386	-0.011	-0.011	0.011	0.000	0.000
0.386	2.000	0.771	-0.011	-0.022	0.022	0.000	0.000
0.388	1.000	0.388	-0.009	-0.009	0.009	0.000	0.000
0.390	1.000	0.390	-0.007	-0.007	0.007	0.000	0.000
0.393	1.000	0.393	-0.004	-0.004	0.004	0.000	0.000
0.394	1.000	0.394	-0.002	-0.002	0.002	0.000	0.000
0.395	1.000	0.395	-0.001	-0.001	0.001	0.000	0.000
0.396	1.000	0.396	-0.001	-0.001	0.001	0.000	0.000
0.396	2.000	0.792	-0.001	-0.001	0.001	0.000	0.000
0.396	2.000	0.792	-0.001	-0.001	0.001	0.000	0.000
0.397	1.000	0.397	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
0.397	1.000	0.397	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000
0.399	2.000	0.798	0.003	0.005	0.005	0.000	0.000
0.401	1.000	0.401	0.004	0.004	0.004	0.000	0.000
0.401	1.000	0.401	0.004	0.004	0.004	0.000	0.000
0.401	1.000	0.401	0.004	0.004	0.004	0.000	0.000
0.403	1.000	0.403	0.007	0.007	0.007	0.000	0.000
0.404	1.000	0.404	0.007	0.007	0.007	0.000	0.000
0.404	1.000	0.404	0.008	0.008	0.008	0.000	0.000
0.405	1.000	0.405	0.008	0.008	0.008	0.000	0.000
0.413	1.000	0.413	0.016	0.016	0.016	0.000	0.000
0.414	2.000	0.827	0.017	0.034	0.034	0.000	0.001
0.417	1.000	0.417	0.021	0.021	0.021	0.000	0.000
0.418	1.000	0.418	0.021	0.021	0.021	0.000	0.000
0.423	1.000	0.423	0.026	0.026	0.026	0.001	0.001
0.780	1.000	0.780	0.384	0.384	0.384	0.147	0.147
SUMA		14.667			0.713		0.152

Fuente: Elaboración propia

Rango= Xmax-Xmin

Rango = 0.780 – 0.369 = 0.411

DESVIACION MEDIA:

$$DM = \frac{\sum_1^m |xi - x| * fi}{n}$$

$$DM = \frac{0,713}{35} = 0.020$$

El valor de 0,02 es un error promedio, este se refiere a la distancia promedio de dato a dato de toda la serie.

VARIANZA POBLACIONAL:

$$S^2 = \frac{\sum_1^m (xi - x)^2 * fi}{n}$$

$$S^2 = \frac{0,15}{35} = 0.004$$

VARIANZA MUESTRAL:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_1^m (xi - x)^2 * fi}{n - 1}$$

$$\sigma^2 = \frac{0,15}{35-1} = 0.004$$

La varianza se interpreta como como una medida de cuán diversos son los datos obtenidos del coeficiente de compresión.

DESVIACION ESTANDAR

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

$$\sigma = \sqrt{0.004} = 0.02$$

Por tanto, el error estándar es de 0,02, este valor permite conocer la ubicación de nuestros datos con respecto a la media

COEFICIENTE DE VARIABILIDAD

$$CV = \frac{\sigma}{X} * 100\%$$

$$CV = \frac{0,077}{0,411} * 100\% = 18.73\%$$

Un coeficiente de variación bajo nos indica hay una baja dispersión de datos de toda la serie de estudio.

Tabla 4.3. Resumen de datos estadísticos del coeficiente de compresión

RESUMEN ESTADÍSTICO DEL COEFICIENTE DE COMPRESIÓN	
Numero de tatos	35.000
Media	0.411
Mediana	0.397
Desviación media	0.020
Variación poblacional	0.042
Variación muestral	0.044
Desviación Estándar	0.077
Coeficiente de Variación (%)	18.730
Mínimo	0.368
Máximo	0.780
Rango	0.411

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.1. Estadística inferencial prueba de hipótesis

Para realizar la prueba de hipótesis se mostrarán mediante los siguientes pasos

Paso 1. Ho hipótesis nula \Rightarrow coeficiente de compresión es de 0.380 es decir: $\mu = 0.380$

Ha hipótesis alternativa \neq coeficiente de compresión no es de 0.3800 $\mu \neq 0.380$

Pasó 2. Determinar el nivel de significancia este nivel representa la probabilidad de rechazar una hipótesis nula verdadera matemáticamente se puede considerar cualquier valor entre cero y 1; pero para estudios de pruebas de hipótesis normalmente esta entre 0,05 y 1, este nivel está determinado por el analista y debe basarse en las características de estudio nivel de significancia para este proyecto $\alpha = 0.05$

Paso 3. Calcular los intervalos que implican ese nivel de significancia:

$$\text{NIVEL DE CONFIANZA} = 95.000\% \Rightarrow Z = 1.959$$

Intervalo o región donde se acepta la hipótesis nula [-1.9599639; 1.9599639] **Paso**

4. Calcular el estadístico de la prueba

$\mu = 0.380$ Promedio considerado por la hipótesis nula

$\chi = 0.399$ Media de la muestra tomada

$\sigma = 0.066$ Desviación estándar de la muestra

$\eta = 35.000$ Número de elementos muestreados

$$\sigma_x = 0.0112 \text{ Desviación estándar tipificada} \Rightarrow \sigma_x = \sigma / \sqrt{\eta}$$

$$Z = 1.704 \text{ Valor de Z tipificado} \Rightarrow Z = \frac{X - \mu}{\sigma_x}$$

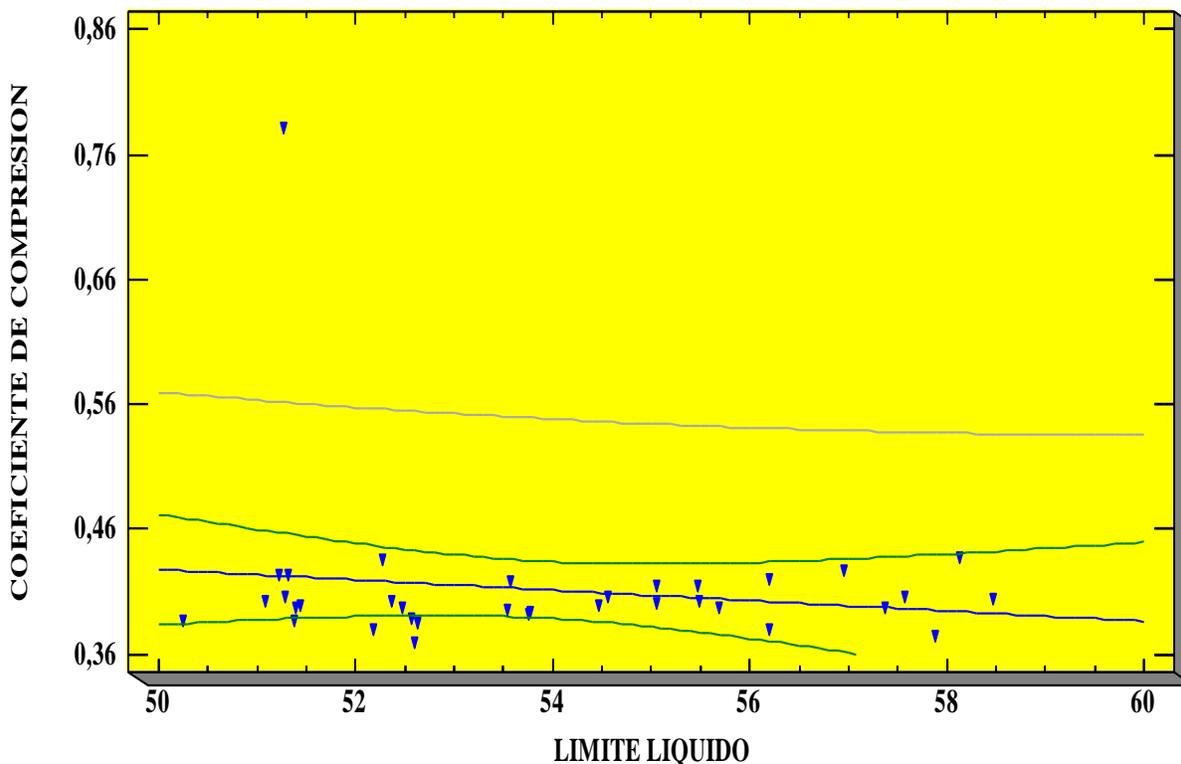
Pasó 5. Verificaciones de la hipótesis Como se puede apreciar la hipótesis se acepta porque está dentro del intervalo o región encontrado mediante el nivel de confianza

4.4.2. Correlaciones entre las propiedades índice y el coeficiente de compresión

4.4.2.1. Correlación entre el límite líquido y el coeficiente de compresión

Grafica 4.2. Límite líquido vs coeficiente de compresión

Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa estadístico Statgraphics.



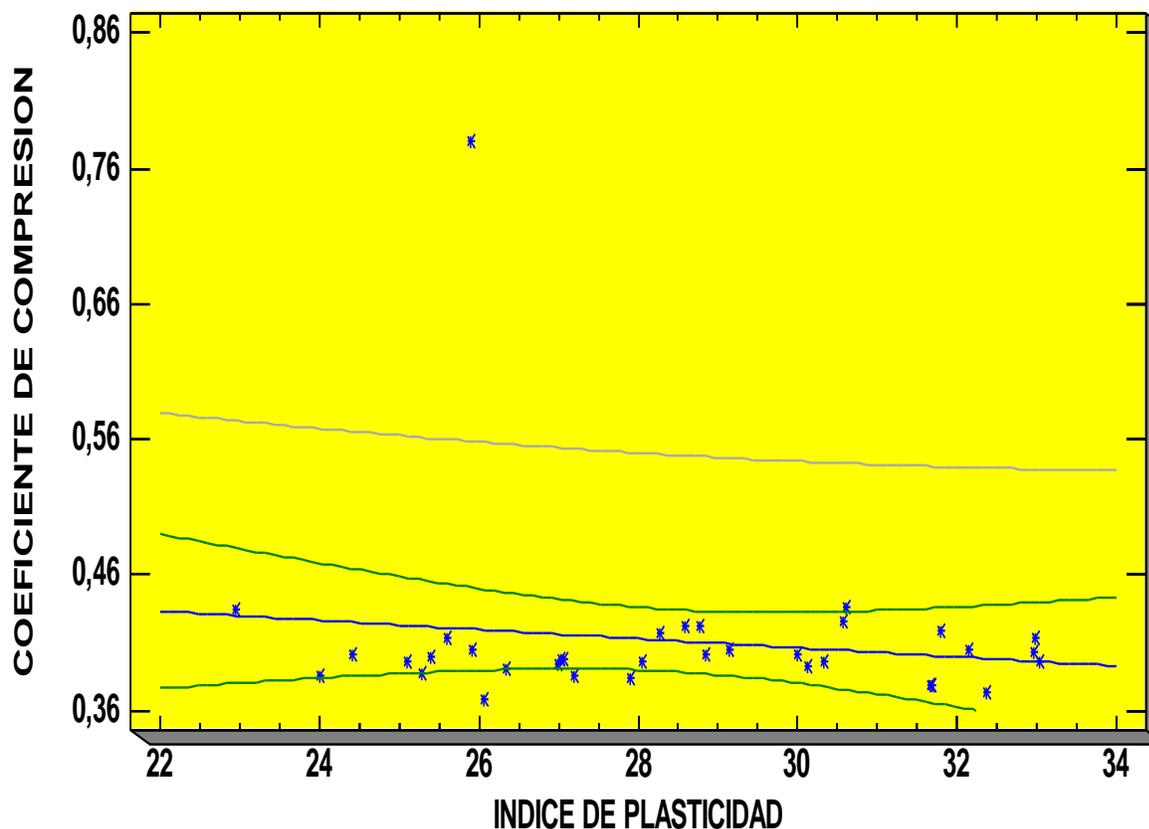
Coeficiente de Correlación = 0.56567

La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre **coeficiente de compresión** y **límite líquido**. La ecuación del modelo ajustado es:

$\text{COEFICIENTE DE COMPRESIÓN} = 0.635228 + 0.00413532 \cdot \text{límite líquido}$ Puesto que el valor del coeficiente de correlación tiene un valor relativamente alto se puede decir, hay una relación estadísticamente fuerte entre **coeficiente de compresión** y **límite líquido** con un nivel de confianza del 95.00%.

4.4.2.2. Correlación entre el índice de plasticidad y el coeficiente de compresión

Grafica 4.3. Índice de plasticidad vs coeficiente de compresión



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa estadístico Statgraphics.

Coeficiente de correlación = -0.357

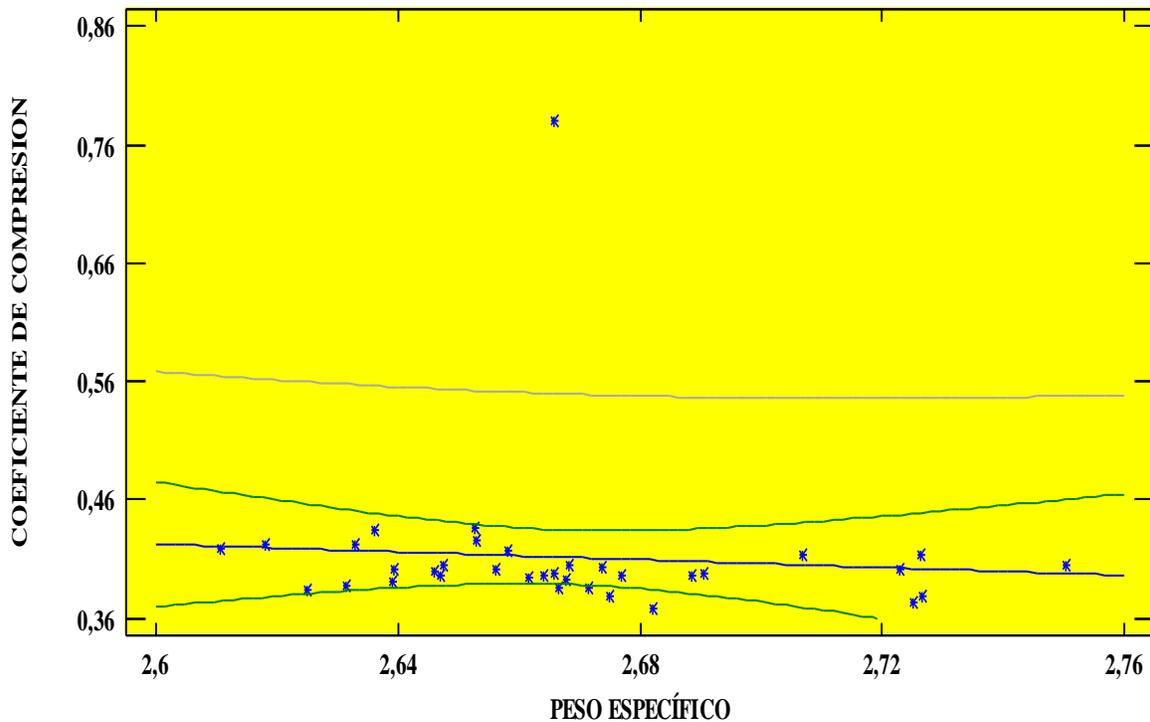
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre **coeficiente de compresión** y **límite plástico**. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{COEFICIENTE DE COMPRESIÓN} = 0.50799 - 0.003369 * \text{ÍNDICE DE PLASTICIDAD}$$

Puesto que el valor del coeficiente de correlación tiene un valor considerablemente bajo se puede decir, no hay una relación estadísticamente fuerte entre **coeficiente de compresión** y **índice de plasticidad** con un nivel de confianza del 95,0% o más.

4.4.2.3. Correlación entre el peso específico relativo y el coeficiente de compresión

Grafica 4.4. Peso específico relativo vs coeficiente de compresión



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa estadístico Statgraphics.

Coefficiente de correlación = -0.433

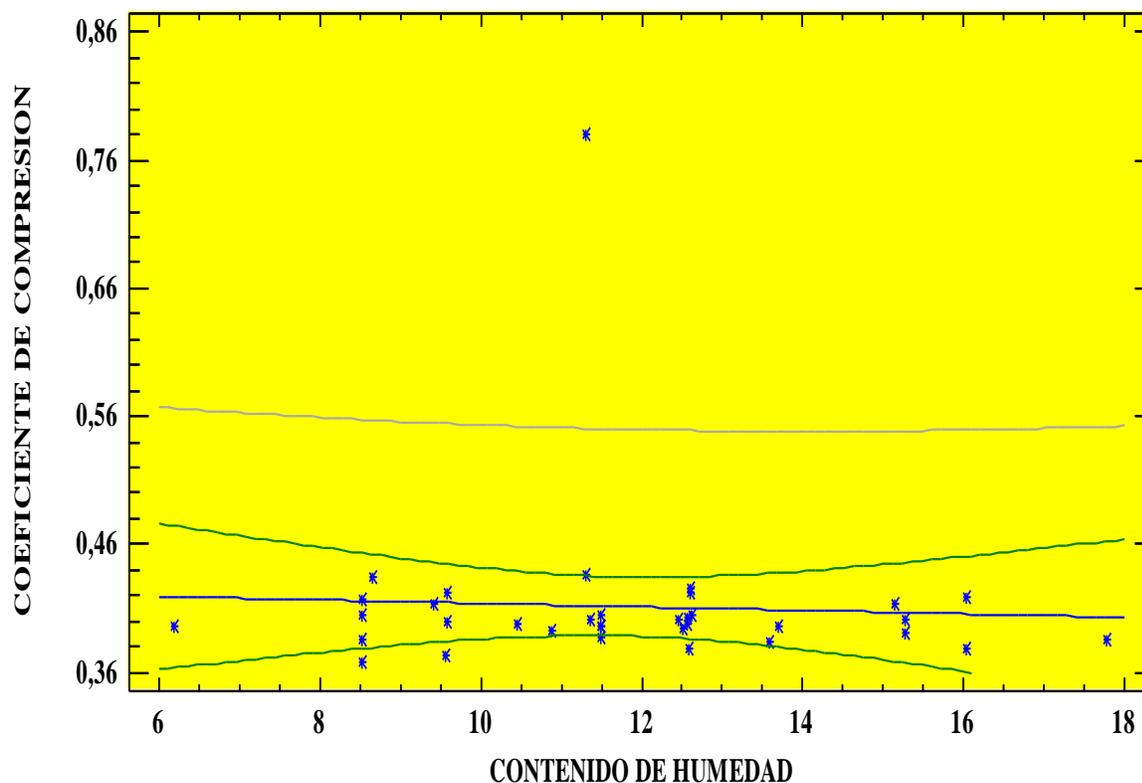
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre **coeficiente de compresión** y **peso específico**. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{COEFICIENTE DE COMPRESIÓN} = 0.849754 - 0.164349 * \text{PESO ESPECÍFICO}$$

Puesto que el valor del coeficiente de correlación tiene un valor bajo se puede, hay una relación estadísticamente débil **entre coeficiente de compresión** y **peso específico** con un nivel de confianza del 95.000% o más.

4.4.2.4. Correlación entre el contenido de humedad y el coeficiente de compresión.

Grafica 4.5. Contenido de humedad vs coeficiente de compresión



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa estadístico Statgraphics.

Coefficiente de correlación = 0.537

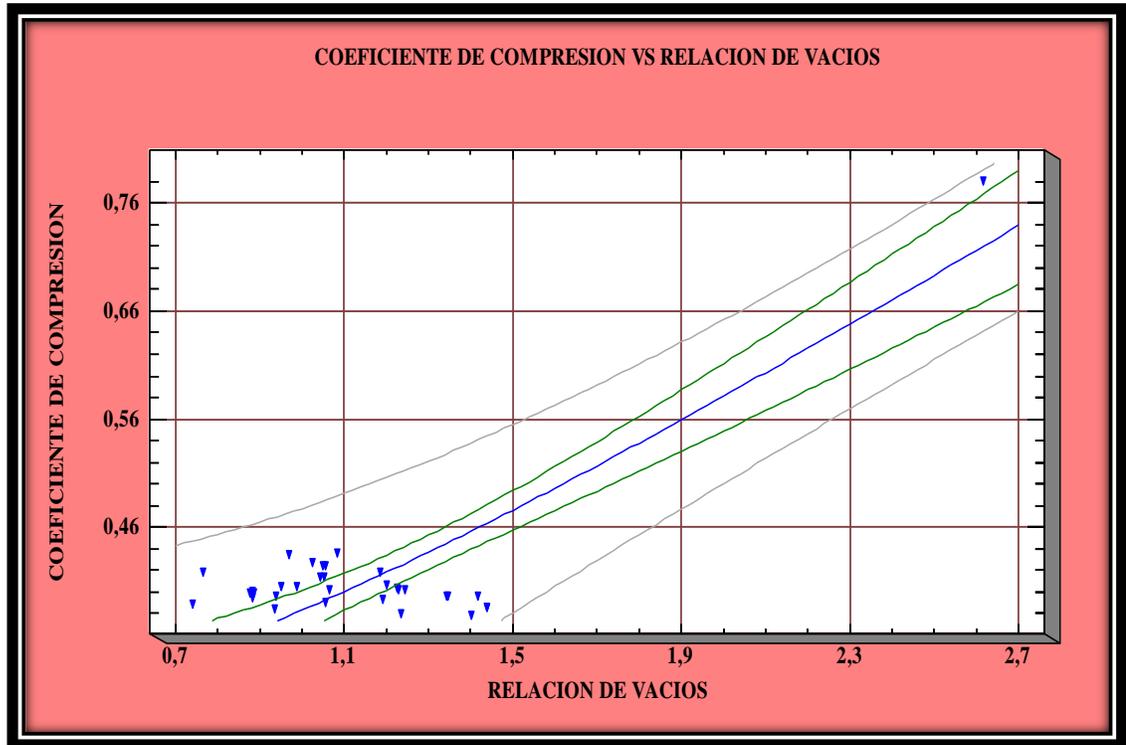
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo doble cuadrado para describir la relación entre **coeficiente de compresión** y **contenido de humedad**. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{COEFICIENTE DE COMPRESIÓN} = 0.427281 - 0.00135 * \text{CONTENIDO DE HUMEDAD}$$

Puesto que el valor del coeficiente de correlación tiene un valor considerablemente bajo se puede decir, no existe una relación estadísticamente significativa entre **coeficiente de compresión** y **contenido de humedad** con un nivel de confianza del 95.000%.

4.4.2.5. Correlación entre la relación de vacíos y el coeficiente de compresión

Grafica 4.6. Límite plástico vs coeficiente de compresión



Fuente: Elaboración propia con ayuda del programa estadístico Statgraphics.

Coefficiente de correlación = 0.867

Entre **coeficiente de compresión** y **relación de vacíos**. La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{COEFICIENTE DE COMPRESIÓN} = \sqrt{(0.08337 + 0.063 * \text{RELACION DE VACIOS}^2)}$$

Puesto que el valor del coeficiente de correlación tiene un valor considerablemente alto se puede decir, existe una relación estadísticamente significativa entre **coeficiente de compresión** y **relación de vacíos** con un nivel de confianza del 95.000%. Para esta correlación se realizará un análisis y comparación con las correlaciones o expresiones matemáticas que nos presenta algunos autores.

El modelo para esta correlación se puede elegir de la siguiente tabla con la ayuda del programa Stargraphics.

Tabla 4.4. modelos alternativos

COMPARACIÓN DE MODELOS ALTERNOS		
Modelo	Correlación	R-Cuadrada (%)
Cuadrado Doble	0.865	74.810
Cuadrado de X	0.840	70.560
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.822	67.680
Log-Y Cuadrado-X	0.801	64.260
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.748	55.990
Cuadrado de Y	0.746	55.750
Logístico	0.725	52.580
Log probit	0.724	52.430
Lineal	0.720	51.910
Raíz Cuadrada de Y	0.702	49.400
Exponencial	0.681	46.490
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.670	45.010
Raíz Cuadrada de X	0.645	41.620
Inversa de Y	-0.629	39.620
Raíz Cuadrada Doble	0.627	39.430
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.607	36.910
Cuadrado-Y Log-X	0.591	34.920
Logaritmo de X	0.566	32.060
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	-0.557	31.055
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0.549	30.233
Multiplicativa	0.530	28.140
Inversa-Y Log-X	-0.483	23.356
Cuadrado-Y Inversa de X	-0.441	19.510
Inversa de X	-0.420	17.660
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0.406	16.516

Fuente: Elaboración propia

Para poder definir de manera más rápida se hizo el siguiente análisis muy sencillo q consta de elegir el valor mayor de coeficiente de correlación para las posibles ecuaciones en este caso la que más se ajusta es la de cuadrado doble

Tabla 4.5. Resumen de resultados de correlación y estadístico para todas las variables

PARÁMETROS	LL(%)	Cc (adm)	IP (%)	Cc (adm)	Wo (%)	Cc (adm)	en (%)	Cc (adm)
Población	35.000		35.000		35.000		35.000	
Valor mínimo	50.250	0.369	20.520	0.369	6.180	0.369	0.748	0.369
Valor máximo	58.480	0.780	29.650	0.780	0.780	0.780	2.616	0.780
Media	53.910	0.411	25.490	0.411	11.760	0.411	1.147	0.411
Varianza	5.729	0.004	4.347	0.004	6.675	0.004	0.105	0.004
Desviación estándar	2.394	0.066	2.085	0.066	2.585	0.066	0.323	0.066
Coefficiente de variación [%]	4.444	16.081	8.180	16.080	21.980	16.081	28.180	16.080
Coefficiente de correlación	0.567		0.356		0.536		0.866	
Coefficiente de determinación R ² [%]	32.210		12.722		28.791		75.070	
Error típico de la estimación	0.256		0.141		0.054		0.012	
Ecuación	Cc=0.635 + 0.004*LL		Cc= 0.508 – 0.003*IP		Cc=0.423-0.001*Wo		Cc= $\sqrt{(0.08+0.06*en^2)}$	

Fuente: Elaboración propia

4.5. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

- Analizando el coeficiente de correlación de cada variable se puede observar que el límite líquido y la relación de vacíos tienen mayor correlación con el coeficiente de compresión, este aspecto reafirma lo que se mencionó en el marco teórico.
- En la tabla 4.4. se detalla un resumen estadístico, donde se puede apreciar que el cuadrado del coeficiente de correlación varía entre 0 y 1, que nos permite obtener el grado de certeza con que una variable depende de la otra, este coeficiente multiplicado por 100 y redondeado, nos brinda la seguridad en qué porcentaje los valores de Cc dependen de los valores de la relación de vacíos, para nuestro estudio se tiene un coeficiente de determinación: R² = 0.748 que en porcentaje nos R² = 75,070 %.

Lo que nos indica que el valor Cc (Coef. De compresión) depende en un 74,850% de la variable relación de vacíos.

- Como se puede apreciar el coeficiente de variación de todas las variables el valor mayor es la de la relación de vacíos lo que nos quiere decir que tiene mayor dispersión de puntos y también podemos decir que la desviación estándar tiene 28,180% de la media.
- La correlación entre el coeficiente de compresión y la relación de vacíos es alta como se puede verificar con un coeficiente de correlación de 0,8652 esto nos confirma que la compresibilidad del suelo está directamente relacionada con la reducción de volumen.

4.5.1. Comparación de la correlación obtenida más significativa de este proyecto con la de los diferentes autores

Como la variable más significativa que se correlaciona con el coeficiente de compresión para este trabajo fue la relación de vacíos.

$$\text{COEFICIENTE DE COMPRESIÓN} = \sqrt{(0,08337 + 0,063 * \text{RELACION DE VACIOS}^2)}$$

Correlación de autores para realizar la comparación con la obtenida en este trabajo

Tabla 4.6. Correlaciones para comparación de este proyecto

CORRELACIÓN	DESCRIPCIÓN	AUTOR
$C_c=0.54(e-35)$	Todas las arcillas	Nishida, 1956
$C_c=0.156e+0.0170$	Todas las arcillas	Bowles, 1989
$C_c=0.246+0.43(e-0.25)$	Arcillas Montley de San Paulo Brasil	Cozzolio, 1961

Fuente: Elaboración propia

La correlacione que nos ofrece el autor: NISHIDA, 1956 para todo tipo de arcilla.

En 1956 NISHIDA desarrolló, con base en consideraciones de esfuerzo-deformación y en la pendiente de las curvas de compresibilidad, la siguiente ecuación:

$$C_c = 0.54(e - 35)$$

Ecuación con la que se realizará la comparación con este autor.

Se muestra en la siguientes grafica la comparación de los distintos valores obtenidos en laboratorio de la U.A.J.M.S para la ciudad de Tarija y los valores obtenidos mediante forma empírica de la fórmula de NISHIDA.

Comparación de valores con el autor NISHIDA

Tabla N° 4.7. Comparación con NISHIDA

NUMERO DE DATOS	RELACION DE VACIOS	NISHIDA CC=0,54*(e-0,35)	CC. OBTENIDO EN LAB.	VARIACIÓN DE COMPARACIÓN
1	0.765	0.125	0.417	-0.292
2	1.186	0.189	0.418	-0.229
3	0.935	0.151	0.383	-0.232
4	0.882	0.143	0.399	-0.256
5	1.026	0.165	0.426	-0.261
6	0.748	0.123	0.388	-0.265
7	1.086	0.174	0.436	-0.262
8	1.055	0.169	0.390	-0.221
9	0.989	0.159	0.404	-0.245
10	0.937	0.151	0.395	-0.244
11	0.930	0.150	0.369	-0.219
12	1.245	0.197	0.379	-0.182
13	1.457	0.229	0.373	-0.144
14	1.401	0.221	0.378	-0.157
15	1.415	0.223	0.396	-0.173
16	1.201	0.191	0.405	-0.214
17	1.221	0.194	0.403	-0.209
18	1.246	0.198	0.401	-0.203
19	1.439	0.227	0.386	-0.159
20	1.344	0.212	0.396	-0.184
21	0.890	0.144	0.397	-0.253
22	1.191	0.189	0.393	-0.204
23	1.068	0.171	0.401	-0.230
24	1.044	0.167	0.414	-0.247
25	1.051	0.168	0.413	-0.245
26	0.883	0.143	0.394	-0.251
27	0.949	0.153	0.404	-0.251
28	1.054	0.169	0.423	-0.254
29	0.970	0.156	0.434	-0.278
30	1.049	0.168	0.423	-0.255
31	2.616	0.403	0.780	-0.377
32	1.230	0.195	0.401	-0.206
33	1.439	0.227	0.386	-0.159
34	1.344	0.212	0.396	-0.184
35	0.887	0.144	0.397	-0.253

Fuente: Elaboración propia

- Como se puede apreciar existe diferencia, entre las comparaciones de los resultados obtenidos en laboratorio para el coeficiente de compresión en los suelos de Tarija con los obtenidos mediante la ecuación que nos brinda por Nishida, esto debido a muchos factores por ejemplo en el clima, la geología del lugar la época entre otros son factores cruciales para el efecto de consolidación de suelo.

Comparación de valores con el autor BOWLES

Tabla N° 4.8. Comparación con BOWLES

NUMERO DE DATOS	RELACIÓN DE VACÍOS	BOWLES CC=0,156*e+0.0170	CC. OBTENIDO EN LAB.	VARIACIÓN DE COMPARACIÓN
1	0.765	0.132	0.417	-0.285
2	1.186	0.195	0.418	-0.223
3	0.935	0.157	0.383	-0.226
4	0.882	0.149	0.399	-0.250
5	1.026	0.171	0.426	-0.255
6	0.748	0.129	0.388	-0.259
7	1.086	0.180	0.436	-0.256
8	1.055	0.175	0.390	-0.215
9	0.989	0.165	0.404	-0.239
10	0.937	0.158	0.395	-0.237
11	0.930	0.157	0.369	-0.212
12	1.245	0.204	0.379	-0.175
13	1.457	0.235	0.373	-0.138
14	1.401	0.227	0.378	-0.151
15	1.415	0.229	0.396	-0.167
16	1.201	0.197	0.405	-0.208
17	1.221	0.200	0.403	-0.203
18	1.246	0.204	0.401	-0.197
19	1.439	0.233	0.386	-0.153
20	1.344	0.219	0.396	-0.177
21	0.890	0.150	0.397	-0.247
22	1.191	0.196	0.393	-0.197
23	1.068	0.177	0.401	-0.224
24	1.044	0.174	0.414	-0.240
25	1.051	0.175	0.413	-0.238
26	0.883	0.149	0.394	-0.245
27	0.949	0.159	0.404	-0.245
28	1.054	0.175	0.423	-0.248
29	0.970	0.162	0.434	-0.272
30	1.049	0.174	0.423	-0.249
31	2.616	0.409	0.780	-0.371
32	1.230	0.202	0.401	-0.199
33	1.439	0.233	0.386	-0.153
34	1.344	0.219	0.396	-0.177
35	0.887	0.150	0.397	-0.247

Fuente: Elaboración propia

- Como se puede ver en la tabla 4.6. los valores que se obtienen empíricamente por la fórmula de Bowles están alejados de los valores obtenidos en laboratorio de forma experimental.
- No existe ningún valor parecido por lo tanto no se recomienda utilizar esta fórmula para alguna estimación preliminar de este coeficiente para consolidación.
- Las arcillas tienen características muy similares, pero no son iguales es por eso que estos valores son muy diferentes, por ejemplo, el estado natural de suelo, grado de absorción de humedad de suelo, etc.

Comparación de valores con el autor COZZOLIO

Tabla N° 4.9. Comparación con COZZOLIO

NUMERO DE DATOS	RELACION DE VACIOS	COZZOLIO CC=0.246+0.43(E-0.25)	CC. OBTENIDO EN LAB.	VARIACIÓN DE COMPARACIÓN
1	0.765	0.468	0.417	0.051
2	1.186	0.648	0.418	0.230
3	0.935	0.541	0.383	0.158
4	0.882	0.518	0.399	0.119
5	1.026	0.580	0.426	0.154
6	0.748	0.460	0.388	0.072
7	1.086	0.605	0.436	0.169
8	1.055	0.592	0.390	0.202
9	0.989	0.564	0.404	0.160
10	0.937	0.542	0.395	0.147
11	0.930	0.539	0.369	0.170
12	1.245	0.674	0.379	0.295
13	1.457	0.765	0.373	0.392
14	1.401	0.741	0.378	0.363
15	1.415	0.747	0.396	0.351
16	1.201	0.655	0.405	0.250
17	1.221	0.664	0.403	0.261
18	1.246	0.674	0.401	0.273
19	1.439	0.757	0.386	0.371
20	1.344	0.716	0.396	0.320
21	0.890	0.521	0.397	0.124
22	1.191	0.651	0.393	0.258
23	1.068	0.598	0.401	0.197
24	1.044	0.588	0.414	0.174
25	1.051	0.590	0.413	0.177
26	0.883	0.518	0.394	0.124
27	0.949	0.547	0.404	0.143
28	1.054	0.592	0.423	0.169
29	0.970	0.556	0.434	0.122
30	1.049	0.590	0.423	0.167
31	2.616	1.263	0.780	0.483
32	1.230	0.667	0.401	0.266
33	1.439	0.757	0.386	0.371
34	1.344	0.716	0.396	0.320
35	0.887	0.520	0.397	0.123

Fuente: Elaboración propia

- Como se puede apreciar en la tabla 4.7. los valores que se obtienen empíricamente por la fórmula del autor Cozzolio no son parecidos a los valores obtenidos en laboratorio.
- Los valores obtenidos en forma empírica muestran valores más altos contrario a los valores obtenidos en la tabla 4.5. que están por debajo de los valores obtenidos para este proyecto lo que nos quiere decir una vez más, la particularidad que tienen cada una de estas fórmulas obtenidas a base de correlaciones, es por eso la importancia de este trabajo.

- La correlación débil con el coeficiente de correlación se debe a algunos parámetros como una mala calibración de quipo, errores de paralaje en las lecturas esto en la etapa de laboratorio en ensayos por ejemplo como la obtención de peso específico.
- Los resultados obtenidos del estudio estadístico no permitieron encontrar una relación entre las correlaciones obtenidas específicamente para suelos de la zona del Valle central de Tarija con las ya propuestas por otros autores para cualquier arcilla.

“Cualquier intento de detener el asentamiento sin hacer la investigación preliminar propuesta sería una decisión irresponsable. Desde que he sido testigo de muchas decisiones de este tipo puedo afirmar por experiencia personal que los ahorros asociados con la inadecuada investigación preliminar son totalmente fuera de proporción con el riesgo financiero que esto implica”.

Karl Terzaghi, sobre el hundimiento del Palacio de Bellas Artes

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se llegó a cumplir el objetivo principal proponiendo una correlación para la obtención del índice de compresión de las arcillas presentando ecuaciones en función de las características plásticas de los suelos.
- El estudio de la compresibilidad, en el caso de la ciudad de Tarija provincia cercado, adquiere especial importancia, tomando en cuenta que existen lugares de alta compresibilidad de las arcillas que forman gran parte del subsuelo, lo cual afecta de manera muy marcada las edificaciones en una parte de la ciudad.
- El uso de correlaciones empíricas entre los parámetros de compresibilidad y las propiedades índice permiten predecir el valor del asentamiento que se producirá en un sitio, siendo esto de gran utilidad en la práctica de la ingeniería.
- Las pruebas de consolidación se deben diseñar para cada caso en particular, en lo que se refiere a presiones, de tal forma que las condiciones de prueba se apeguen en la medida que sea posible, a las condiciones reales a las que se someterá el suelo bajo la influencia de una estructura, a fin de tener una mejor estimación de los asentamientos posibles de la cimentación.
- El uso de correlaciones empíricas entre los parámetros de compresibilidad y las propiedades índice permiten predecir el valor del asentamiento que se producirá en un sitio; por consiguiente, este tipo de correlaciones ha asumido un gran significado en el ámbito geotécnico, principalmente en el desarrollo práctico.
- En este caso se realizaron 35 puntos para poder determinar las correlaciones con un nivel de confianza de 95% obteniendo coeficientes de correlación relativamente altos esto debido a las características similares que tiene las propiedades índices de este tipo de suelo.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Las correlaciones establecidas en la literatura toman en cuenta la región donde está ubicado el sitio de estudio, así como el tipo de suelo, por lo que su uso en la práctica debería ser limitado.
- En este trabajo se establecieron correlaciones que no deberán sustituir el trabajo de laboratorio, el cual se realizará para obtener un análisis definitivo de las propiedades de compresibilidad que serán utilizadas en el diseño de la cimentación de cualquier obra civil.
- Debido a que las propiedades del suelo no se mantienen constantes a lo largo del tiempo la extracción de muestras in situ se la debe realizar en la misma época del año y los ensayos de laboratorio se deben realizar inmediatamente ya que al conservarlos guardados el suelo puede perder sus condiciones iniciales y consecuentemente no se obtendría resultados reales
- Utilizar los instrumentos adecuados para la manipulación y preparación de la muestra, previos a la realización del ensayo, ya que una muestra bien preparada refleja la exactitud y confiabilidad de los resultados.
- Es primordial que la muestra éste bajo condiciones adecuadas, en su extracción, manejo y transporte. Debido que la muestra al perder humedad no reflejará las propiedades reales del suelo in situ; y como consecuencia, los ensayos no serán los esperados.
- Procurar la calibración, mantenimiento y cuidado del equipo de laboratorio para la elaboración de los ensayos; de este modo se asegura una adecuada obtención de datos.
- Revisar el consolidómetro antes de su uso para asegurarse que cuente con todos sus accesorios y cargas necesarias y así proceder a su uso.
- El índice de compresión es uno de los parámetros mejor conocidos en la mecánica de suelos, el cual es útil en el desarrollo de conceptos teóricos y la realización de trabajos prácticos.