

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La búsqueda por mejorar la caracterización geotécnica y determinación de la resistencia de los suelos de una manera más ágil, rápida y económica, ha llevado a muchos investigadores a realizar correlaciones entre diferentes ensayos.

Uno de los ensayos para el cual se han intentado realizar correlaciones ha sido el CBR, por su amplia utilización en el diseño de pavimentos.

Cabe recalcar que las investigaciones realizadas internacional, nacionales y locales no se enfocaron en la correlación del CBR y límites plásticos para suelos finos sino con otras propiedades del suelo por ello es que no se encuentra mucha información de investigaciones al respecto, pero si podemos mencionar algunas investigaciones como generales.

A continuación, se presenta una breve descripción de algunas de las investigaciones en las que se han realizado correlación con el C.B.R y propiedades índice de suelos.

1	Araujo (2014), realizó la correlación del CBR con propiedades índice de suelos para la ciudad de Piura , para correlacionar las propiedades a través de un análisis estadístico de variables determinado el valor del CBR, con los ensayos realizados de muestras inalteradas y alteradas se determinó las propiedades físicas y mecánicas, que se generó alternativas que se ajusten al modelo lineal y múltiple entre (%F, LL, LP, IP y %G, OMC, MDD) los resultados son válidos para suelos finos con un grado de correlación del 0.84, 0.81, 0.76, 0.74, 0.60%.
2	Rivera (2013), realizó la correlación del Valor de Soporte de California (CBR) con la resistencia a la compresión Inconfinada y la plasticidad del suelo para correlacionar las propiedades a través de un análisis estadístico de variables determino el valor del CBR, con los ensayos realizados de muestras en estado natural y saturado se determinó las propiedades físicas y mecánicas, que generó alternativas que se ajusten a un modelo logarítmico entre CBR y Com.Inconfinada los resultados son aplicables para suelos finos con plasticidad con un grado de correlación 0.911,0.820,0.811%.
3	Ruiz (2006), realizó la Correlación empírica de CBR vs Plasticidad aplicada a la ciudad de Tarija , para correlacionar las propiedades a través de un análisis estadístico de variables determino el valor del CBR, con los ensayos realizados de muestras inalteradas se determinó las propiedades físicas y mecánicas, que generó alternativas que se ajusten a un modelo exponencial entre CBR, Granulometría y Límites los resultados son aplicables para suelos finos con plasticidad para Tarija con un grado de correlación 0.911%.

1.2 Situación problemática

Uno de los problemas en el diseño de una carretera o camino es el mal uso de la información de las propiedades del estudio del suelo para su diseño haciendo mal uso de la información y generando su deterioro.

Entre las propiedades físicas del suelo la resistencia de la sub base es muy importante en una carretera debido que en la sub base soportara la estructura de la carretera.

El conocer las características físicas del suelo, es fundamental para el diseño de una carretera, en la determinación del CBR del suelo requiere tiempo, conocimiento y mayor costo.

Una de las propiedades como ser el de límites de Atterberg es un ensayo que no requiere mucho tiempo comparado con el ensayo de CBR mediante el desarrollo de investigación es posible predecir un valor aproximado del CBR solo para suelos finos con plasticidad que serán tomados para esta investigación.

La correlación de límites de Atterberg y valor soporte CBR es un método alternativo más económico y rápido que el método convencional.

1.2.1 Problema

¿Cuál es el nivel de relación entre los límites de Atterberg y los valores máximos del CBR?

1.2.2 Relevancia y factibilidad del problema

La importancia de determinar el valor de CBR en el diseño de una carretera es fundamental para la estructura del pavimento de la carretera o de un camino.

El disminuir el tiempo genera menor costo en un proyecto.

Es factible poder realizar en nuestro medio a través del laboratorio de suelos de la institución de SEDECA.

1.2.3 Delimitación temporal y espacial del problema

Delimitación temporal.

El tiempo que toma una muestra para el ensayo del CBR de un suelo es de 4 días tomando como referencia entre más muestras se requieran para el diseño de una carretera el tiempo será aún mayor a través de la investigación podremos tener un valor como referencia del CBR en un menor tiempo

Delimitación espacial.

La investigación se realizará en el departamento Tarija-Bolivia en la provincia cercado. Para suelos finos con plasticidad.

1.3 Justificación

A través de la investigación es posible predecir un valor aproximado del CBR para suelos plásticos mediante el ensayo de límites de Atterberg, que ayudara a determinar qué tipo de diseño sería conveniente para una carretera; el cual es un método alternativo más económico y más rápido que el método convencional, particularmente en las fases conceptuales de un proyecto (anteproyecto, perfil, pre factibilidad, etc.) en la que muchas veces no se cuenta con los recursos económicos necesarios.

Esta correlación serviría de orientación para obtener el CBR y armar un primer presupuesto, dejando claro que no reemplazarán al CBR experimental.

El ensayo de límites de Atterberg es una prueba fácil, económica y rápida de realizar que se usa para medir la resistencia al corte no drenado de suelos.

En el departamento de Tarija sus suelos son suelos plásticos que no son favorable para el diseño de una carretera debido a que genera mayor gasto.

Con la investigación realizada se podrá aportar un punto de partida para el diseño estructural de una carretera que este fundada en un suelo plástico.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Realizar la correlación entre los límites de Atterberg con el valor máximo del CBR, usando suelos limo arcillosos de media a baja compresibilidad, de tal manera, se puede establecer su nivel de relacionamiento expresado matemáticamente

1.4.2 Objetivos específicos

- Seleccionar los suelos plásticos con la condición de media a baja compresibilidad
- Realizar los ensayos de CBR y límites Atterberg.
- Analizar el comportamiento de los resultados mediante un tratamiento estadístico
- Establecer la mejor correlación entre los límites de Atterberg con los máximos valores de CBR
- Establecer recomendaciones técnicas del uso de la correlación

1.5 Hipótesis

Existe un elevado nivel de relación entre los límites de Atterberg y los valores máximos del CBR

1.6 Operacionalización de las variables

Variables	Dimensión	Indicador	Valor/Acción
Límites de Atterberg	Limite liquido	%	Ensayo LL
	Limite Plástico	%	Ensayo LP
CBR	Densidad máxima	gr/cm ³	Ensayo Compactación
	Humedad optima	%	Ensayo Compactación
	Resistencia	gr/cm ³	Ensayo CBR

1.6.1 Conceptualización

Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg es la plasticidad según su contenido de humedad en los puntos de transición de un estado al otro. Los estados de consistencia que se trabajara son: Límite líquido, límite plástico

Nota: No se trabaja con el límite de contracción por encontrarse fuera de los objetivos académicos del a investigación

Valor máximo de CBR

Es la resistencia máxima al esfuerzo cortante de un suelo a través de la densidad optima, efectuado bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

1.7 Identificación del tipo de Investigación: Alcance

Tipo de diseño no experimental en la categoría de correlación debido a que existen variables sin el efecto de causalidad ya que no se pueden manipularlas simplemente se mide su valor característico.

Correlacionar las propiedades de Los límites de Atterberg y el valor máximo de CBR a través de un análisis estadístico determinando el grado de nivel de relación entre los dos ensayos realizados para las muestras de suelos

CAPÍTULO II
ASPECTOS
GENERALES DE LOS
SUELOS

CAPÍTULO II

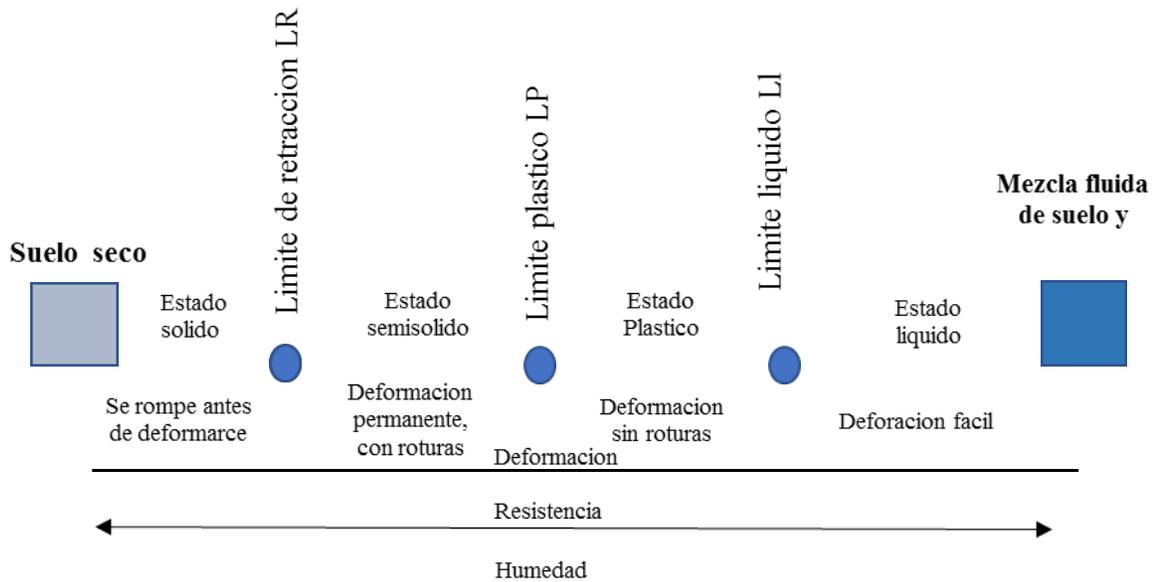
ASPECTOS GENERALES DE LOS SUELOS

2.1 Límites de Atterberg

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

La arcilla, por ejemplo, si está seca se encuentra muy suelta o en terrones, añadiendo agua adquiere una consistencia similar a una pasta, y añadiendo más agua adquiere una consistencia fluida

Figura 2 Esquema de Límites de Atterberg



Fuente: Matías Sánchez 2010

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

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

2.1.1 Utilización práctica de los límites de Atterberg

En la actualidad, los límites de Atterberg son las determinaciones que con más asiduidad se practican en los laboratorios de Mecánica del Suelo. Su utilidad deriva de que, gracias a la experiencia acumulada en miles de determinaciones, es suficiente conocer sus valores para poderse dar una idea bastante clara del tipo de suelo y sus propiedades. Por otra parte, se trata de determinaciones sencillas y rápidas, permiten una pronta identificación de los suelos y la selección adecuada de muestras típicas para ser sometidas a ensayos más complicados.

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

El índice de plasticidad, que indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica, y el índice de liquidez, que indica la proximidad del suelo natural al límite líquido, son características especialmente útiles del suelo.

$$\text{Índice de plasticidad } IP = w_l - w_p$$

$$\text{Índice de Liquidez } IL = \frac{w_n - w_p}{w_l - w_p}$$

Donde:

w_L = Límite líquido

w_P = Límite plástico

w_n = Humedad natural

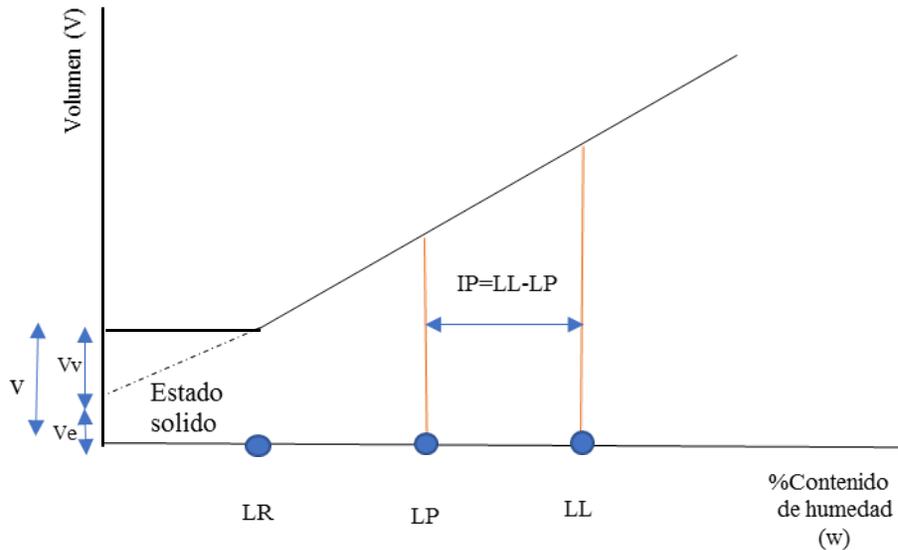
Se debe tomar en cuenta, no obstante, que todos los límites e índices, a excepción del límite de retracción, se determinan en suelos que han sido amasados para formar una mezcla uniforme suelo-agua. Este proceso de amasado conduce al ablandamiento de la masa como consecuencia de la destrucción del ordenamiento de las moléculas bipolares de agua, a la reorientación de las láminas de arcilla y a la ruptura de la estructura que el suelo adquiere durante su formación por sedimentación o consolidación. Al cesar el proceso de amasado, las láminas de arcilla vuelven a orientarse y las moléculas de agua adquieren ligazón, pero la estructura del suelo no vuelve a ser la misma. Por tanto, habrá que señalar que los límites no dan indicación alguna sobre la estructura del suelo o de los enlaces residuales entre partículas que pudieran haberse desarrollado en el terreno natural.

2.1.2 Plasticidad y límites de consistencia

Albert Atterberg definió como plasticidad la capacidad que tenía un suelo de ser deformado sin agrietarse, ni producir rebote elástico. A su vez se observó que los suelos arcillosos en condiciones húmedas son plásticos y se vuelven muy duros en condiciones secas, que los limos no son necesariamente plásticos y se vuelven menos duros con el secado, y que las arenas son desmenuzables en condiciones sueltas y secas. También observó que existían arcillas altamente plásticas y otras de baja plasticidad.

Los límites establecidos por Atterberg para diferenciar los distintos estados de consistencia se deben obtener a partir de la fracción que pasa por el tamiz N° 40, descartando la porción retenida.

Figura 2.1 Trayectoria humedad – volumen de un suelo amasado



La frontera entre el estado sólido y semisólido se llama límite de contracción o de retracción y se define como la humedad presente al haber añadido agua suficiente para llenar todos los huecos de una pastilla de suelo seca. Se trata de la humedad máxima de un suelo para la cual una pérdida de humedad no causa disminución de volumen de suelo. La frontera entre los estados semisólido y plástico se llama límite plástico, y se obtiene midiendo el contenido de humedad del suelo cuando comienzan a agrietarse pequeños cilindros de suelo de 3 mm de diámetro. A la frontera entre el límite plástico y líquido se le llama límite líquido y se determina midiendo la humedad que contiene el suelo cuando con 25 golpes se cierra una ranura de 13 mm de longitud mediante un aparato normalizado.

Atterberg encontró que la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico, denominado índice de plasticidad (IP), representaba una medida satisfactoria del grado de plasticidad de un suelo. Luego sugirió que estos dos límites sirvieran de base en la clasificación de los suelos plásticos. Acorde al valor del índice de plasticidad, distinguió los siguientes materiales.

- Suelos desmenuzables ($IP < 1$)

- Suelos débilmente plásticos ($1 < IP < 7$)
- Suelos medianamente plásticos ($7 < IP < 15$)
- Suelos altamente plásticos ($IP > 15$)
- Todos los límites se expresan en porcentaje de agua contenida sobre suelo seco

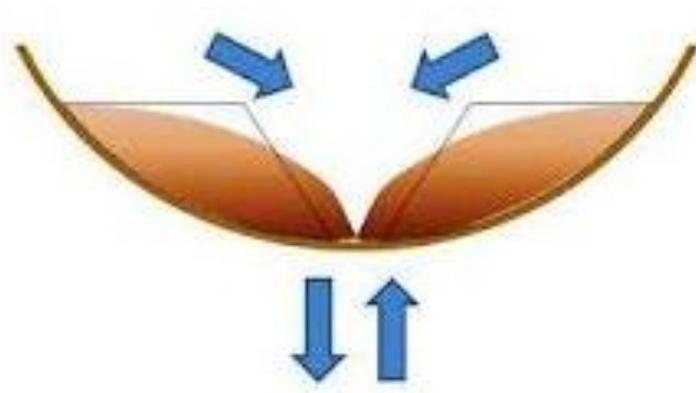
2.1.3 Límite líquido

El límite líquido como fue definido por Atterberg ha estado sujeto a distintas variaciones en su determinación. Fue Terzaghi, quien le sugirió a Casagrande en 1927, que diseñara un dispositivo mecánico que pudiera eliminar en la medida de lo posible los errores del operador en la determinación del mismo.

Casagrande desarrolló un dispositivo normalizado como se muestra en la norma UNE 103-103-94. El límite líquido, como ya se ha comentado anteriormente, se estableció como la humedad que tiene un suelo amasado con agua y colocado en una cuchara normalizada, cuando un surco, realizado mediante un acanalador normalizado, que divide dicho suelo en dos mitades, se cierra a lo largo del fondo en una distancia de 13 mm, tras haber dejado caer 25 veces la mencionada cuchara desde una altura de 10 mm sobre una base también normalizada, con una cadencia de 2 golpes por segundo. La altura de caída, como las dimensiones del cascador y las dimensiones de la ranura, como el material de la base, etc., son factores de influencia en los resultados obtenidos. Estos factores se comentarán en el siguiente apartado.

Para entender el significado del ensayo mediante el dispositivo desarrollado por Casagrande, se puede decir que, para golpes secos, la resistencia al corte dinámica de los taludes de la ranura se agota, generándose una estructura de flujo que produce el deslizamiento. La fuerza resistente a la deformación puede considerarse como la resistencia al corte de un suelo. La resistencia al corte de todos los suelos en el límite líquido es constante y tiene un valor aproximado de 2.2 kPa.

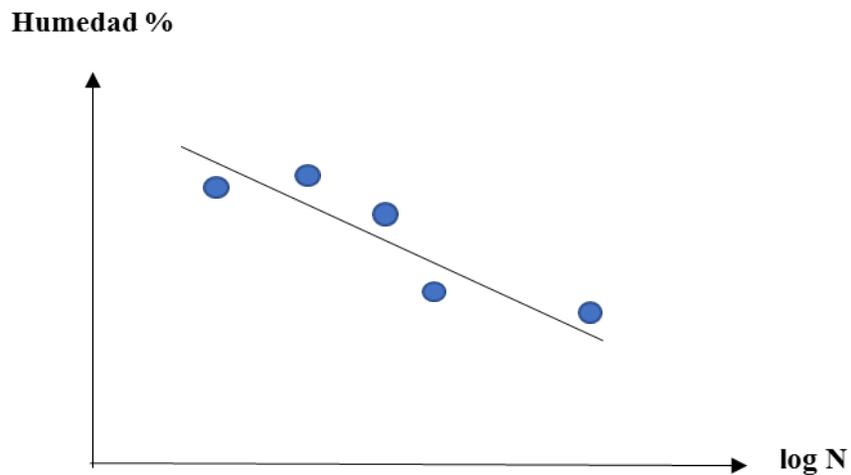
Figura 2.2 Deslizamiento de un suelo en el límite líquido



La Curva de flujo

Casagrande observó que el número de golpes necesarios para cerrar la ranura dependía del contenido de agua del suelo y que cuando una serie de resultados de un suelo se representaba en un gráfico donde el eje de la humedad era aritmético y el eje del número de golpes era logarítmico, esos resultados formaban una línea recta. Esa curva fue llamada curva de flujo.

Figura 2.3 Curva de flujo



Esta curva puede ser representada por la siguiente ecuación:

$$w = -F \cdot \log N + C$$

Donde:

w = Contenido de humedad en porcentaje de suelo seco

F = Constante, llamada “índice de flujo”

N = Número de golpes

C = Constante

El número de golpes N puede ser considerado como representada por la fuerza igual a N veces la fuerza ejercida en la aplicación de un solo golpe. La resistencia al corte de un suelo es obviamente proporcional a la fuerza requerida para producir una deformación dada (en el caso tratado, el cierre de la ranura). Entonces, el número de golpes N de la ecuación, puede ser tomado como proporcional a s , la resistencia al corte de un suelo, y puede ser escrita como:

$$w = -F * \text{Log} s + C_1$$

Donde:

(s). Es diferente a C debido a que está expresado en unas unidades físicas.

La necesidad de ejecutar muchos ensayos de límites líquidos llevó a desarrollar un método de determinación que tuviese conexión con la curva de flujo, ya que los estudios de Casagrande decían que muestras de un mismo suelo deberían tener curvas de flujo con pendiente constante.

La U.S. Waterways Experiment Station realizó un estudio sobre 767 ensayos de límite líquido correspondientes a suelos de depósitos aluviales y suelos costeros del Valle de Misipi. La fórmula general desarrollada como resultado del estudio fue:

$$w_l = w * (N/25)^{\tan \beta}$$

Donde:

($\tan \beta$). Es la pendiente de la curva de flujo en escala doble logarítmica y w es la humedad correspondiente al número de golpes N obtenido en la determinación de un punto mediante la cuchara de Casagrande. Esta curva de flujo se transforma en una recta.

El valor obtenido de $\tan \beta$ para 432 ensayos de suelos aluviales fue de 0.115. Para los 136 ensayos de los suelos del Oeste del Valle fue de 0.125 y para los 135 ensayos de los suelos

del Este del Valle fue de 0.130. Finalmente se obtuvo que, para los 767 ensayos realizados en todo el proyecto, el valor promedio obtenido fue de 0.121 con una desviación estándar de ± 0.032 . Lo que significa que todos los suelos no poseen exactamente la misma pendiente, pero están cerca de un valor medio.

Finalmente se concluyó, que este método podía usarse si el número de golpes N utilizado en la fórmula estaba comprendido entre 15 y 35 golpes.

Multiplicar la humedad obtenida ω para cierto número de golpes N por un factor de corrección Cn como se muestra en la Tabla 2.1, suponiendo que la pendiente de la curva de flujo es constante (0.100) para todos los suelos excepto para suelos con gran contenido de materia orgánica o cuando se requiera una exactitud especial en la determinación.

Tabla 2.1 Factor de corrección del límite líquido W.J.Eden

N	Cn	N	Cn	N	Cn	N	Cn
15	0.95	20	0.97	26	1	31	1.02
16	0.95	21	0.98	27	1	32	1.02
17	0.96	22	0.98	28	1.01	33	1.02
18	0.96	23	0.99	29	1.01	34	1.03
19	0.97	24	0.99	30	1.01	35	1.03

Finalmente, Eden obtuvo una recta de pendiente 0.117, obtenida tras numerosas determinaciones, de las que se dedujo que, para un mismo suelo, los puntos correspondientes a distintos grados de humedad formaban una recta en doble escala logarítmica cuya pendiente más probable era ésta.

Dicha pendiente es la que se especifica en la norma UNE 103-103-94 para la determinación del límite líquido de los suelos.

2.1.4 Determinación del límite líquido

Una vez establecido 0.117 como pendiente más probable de los distintos grados de humedad de un mismo suelo, independientemente de su origen geológico (Eden, 1959), la determinación del límite líquido se simplificó en gran parte.

Así pues, para obtener el límite líquido de un suelo primero se deberán representar los resultados en una doble escala logarítmica en la que figure en abscisas el número de golpes y en ordenadas la humedad. Una vez dibujados, bastará con trazar una recta de pendiente -0.117 que mejor se adapte a los puntos representados y la humedad del punto de corte con la ordenada correspondiente a los 25 golpes nos dará el límite líquido. No obstante, con la intención de llegar a un equilibrio en la economía, según la norma UNE 103-103-94, bastará con obtener una determinación entre 25 y 15 golpes y otra entre 35 y 25. La recta de pendiente -0.117 se trazará de la forma que mejor se adapte a estos dos puntos.

Aparte del método expuesto en la norma también existe otro método aproximado consistente en utilizar un solo punto y, por tanto, sólo requiere un solo ensayo de golpeo. Por dicho punto se traza una paralela a la recta de pendiente -0.117 hasta cortar a la ordenada correspondiente a los 25 golpes. Este método de un solo punto se demostró, durante la realización de una tesis en el Laboratorio del Transporte, que era más exacto al método de los tres puntos usado previamente al actual. La explicación es que el primer método se apoya en una recta obtenida mediante métodos estadísticos, y libre, por tanto, de errores accidentales, mientras que en el segundo los tres puntos están sujetos a estos errores, y además la recta se traza de forma aproximada. Naturalmente, lo más exacto sería trazar la paralela a la recta dada que mejor se adaptara al máximo número de puntos, pero hay que llegar a un equilibrio con la economía, por lo cual se utilizan ahora dos puntos.

Norman (1958) llegó a la conclusión que el método de un punto era tan exacto como el de los tres puntos descrito, excepto para suelos con límite líquido superior a 120%.

2.1.5 Valor Soporte California CBR

En este ensayo se compara la presión o esfuerzo necesario para introducir $\frac{1}{2}$ " (12.7mm) de un pistón con características estandarizadas en el área de suelo, con la presión requerida para penetrar el mismo pistón en un material estándar de California. El resultado se expresa como un porcentaje y permite evaluar la calidad relativa de los suelos usados en subrasantes y capas de subbases y bases. (INVIAS, 2007).

El Módulo Resiliente es un parámetro que representa la capacidad de soporte de un pavimento bajo la aplicación de cargas repetidas dinámicas como las aplicadas por las ruedas de los vehículos. El ensayo para obtener el Módulo Resiliente utiliza una máquina triaxial dinámica que ejerce presiones de confinamiento para producir deformaciones. Debido a que muchas veces no es posible acceder a este tipo de instrumentos, se acude a ensayos tradicionales como los de CBR para estimar el Módulo Resiliente y finalmente realizar el diseño de la estructura de pavimento. (Arenas, 2000)

2.2 Marco Normativo

La propiedad fundamental en la caracterización de los materiales para el estudio es que posea plasticidad el suelo.

Normas aplicadas para los agregados

Tabla 2.2 Normativa de ensayos

Agregados Fino	
Ensayos	Normativa
Granulometría	AASHTO T- 27
Limites de Atterberg	AASHTO T- 89
Compactación Proctor	AASHTO T- 180
Valor Soporte California C.B.R.	AASHTO T- 193

Fuente: Elaboración propia

Son fundamentales estos ensayos para la realización de la investigación.

A través del ensayo de la granulometría, límites de Atterberg podremos clasificar el suelo para verificar que los suelos extraídos son plásticos y a que grupo de pertenecen según la normativa.

La compactación Proctor no permite saber el contenido de humedad óptimo para el ensayo de CBR para el cual es fundamental dicha información.

Una vez realizados los ensayos de todas las muestras podremos realizar la correlación de dichas variables Límites Atterberg y CBR.

2.3 Marco Referencial

Resultados de las investigaciones tomados como referencia.

- Trabajo de grado William Segundo Araujo Navarro

Para la obtención del título de Grado de Ingeniera Civil Realizo la investigación de correlación de PDC y CBR dentro su estudio también realizó correlaciones con la plasticidad, obtuvo una correlación factible pero no a profundidad debido a que su objetivo no era la plasticidad con el CBR sus resultados son:

Tabla 2.3 Correlaciones PDC-CBR

Principales correlaciones PDC-CBR					
Investigador	Año	lugar	Correlación	Ensayo CBR	Material
kleyne	1975	Sur África	$\log(\text{CBR})=2.62-1.27\log(\text{DCP})$	laboratorio	
Smith et Pratt	1983	Australia	$\log(\text{CBR})=2.56-1.15\log(\text{DCP})$	lab/Terreno	
Harison	1986	Australia	$\log(\text{CBR})=2.81-1.32\log(\text{DCP})$	laboratorio	Todos
Harison	1986	Australia	$\log(\text{CBR})=2.56-1.16\log(\text{DCP})$	laboratorio	Cohesivo
Harison	1986	Australia	$\log(\text{CBR})=2.70-1.12\log(\text{DCP})$	laboratorio	Granular
livneh	1987	Israel	$\log(\text{CBR})=2.20-0.71\log(\text{DCP})^{1.5}$		Todos
Harison	1989	Australia	$\log(\text{CBR})=2.55-1.14\log(\text{DCP})$		Granular
weber et al	1992	Washington DC	$\log(\text{CBR})=2.465-1.12\log(\text{DCP})$	Terreno	Todos
weber et al	1994	Washington DC	$\log(\text{CBR})=2.542-1.00\log(\text{DCP})$	Terreno	Cohesivo
weber et al	1994	Washington DC	$\log(\text{CBR})=3.538-2.00\log(\text{DCP})$	Terreno	Cohesivo
Ese et al	1994	Minnesota	$\log(\text{CBR})=2.438-1.065\log(\text{DCP})$	lab/Terreno	
Trube et al.	1995		$\log(\text{CBR})=2.51-0.095\log(\text{DCP})$	Terreno	
livneh	1995	Washington DC	$\log(\text{CBR})=2.14-0.69\log(\text{DCP})^{1.5}$	laboratorio	Todos

Fuente: Trabajo de grado William Segundo Araujo Navarro

Tabla 2.4. Ecuaciones de correlación

Modelo	Ecuación de Correlación	R	R ²
Modelo1:G,OMGvsCBR	$CBR = 0.526G - 2.75OMC + 46.145$	0.862	74.300%
Modelo2:G,OMG,FvsCBR	$CBR = 0.452G - 1.972OMC - 0.222F + 48.583$	0.872	76.100%
Modelo3:G,OMG,F,MDDvsCBR	$CBR = 0.53G - 3.211OMC - 0.174F - 31.493MDD + 119.757$	0.876	76.800%
Modelo4:G,OMG,F,MDD,LLvsCBR	$CBR = 0.570G - 2.588OMC - 0.108F - 25.306MDD - 0.296LL + 105.940$	0.878	77.100%
Modelo5:G,OMG,F,MDD,LL,IPvsCBR	$CBR = 0.524G - 2.689OMC - 0.139F - 10.206MDD + 0.366LL - 0.746IP + 86.116$	0.881	77.600%
Modelo6:G,OMG,F,MDD,LL,IP,LPvsCBR	$CBR = 0.524G - 2.689OMC - 0.139F - 10.206MDD + 0.366LL - 0.746IP + 0LP + 86.116$	0.880	77.500%
Modelo7:G,OMG,F,MDD,LL,IP,LP,SvsCBR	$CBR = 0.681G - 2.917OMC - 0.032F - 17.991MDD + 0.519LL - 0.820IP + 0LP + 0.205S + 64.890$	0.881	77.60%

Fuente: Trabajo de Grado: William Segundo Araujo Navarro

- Trabajo de Grado: William Albeiro Rivera Mena

Realizo la investigación de Correlación del valor de Soporte de California (CBR) con la Resistencia a la Compresión Inconfinada y la Plasticidad del suelo, En su estudio no obtuvo una correlación factible entre la plasticidad y el C.B.R donde lo descarto debido a que no se realizó un estudio a profundidad ya que su objetivo principal fue P.D.C – C.B.R sus resultados fueron:

Tabla 2.5 Regresión: raíz CBR natural vs Com.Inconfinada

Análisis de regresión: Raíz C.B.R Natural vs Com.Inconfinada				
La ecuación de regresión es				
$RaízCBR Natrual = 1.23 + 0.609 Com.Inconfinada$				
Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	12.285	0.1012	12.14	0
Com.Inconfinada	0.60878	0.04608	13.21	0
Correlación de Pearson de Raíz CBR Natural y Com.Inconfinada = 0.911				
$S = 0.361601 \quad R^2 = 82.9\% \quad R^2 (ajustado) = 82,4\%$				

Fuente: William Albeiro Rivera Mena

Tabla 2.6 Regresión: long CBR saturado vs Com.Incofinada

Análisis de regresión: logCBR Saturado vs Com.Incofinada				
La ecuación de regresión es				
LogCBR Saturado = 0.0479 + 0.217 Com.Incofinada				
Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constante	0.04786	0.05543	0.86	0.394
Com.Incofinada	0.2167	0.02524	8.58	0
Correlación de Pearson de log CBR Saturado y Com.Incofinada = 0.820				
S = 0.198109 R ² = 67.2% R ² (ajustado) = 66.3%				

Fuente: William Albeiro Rivera Mena

- Trabajo de Grado: Marcelo Ruiz

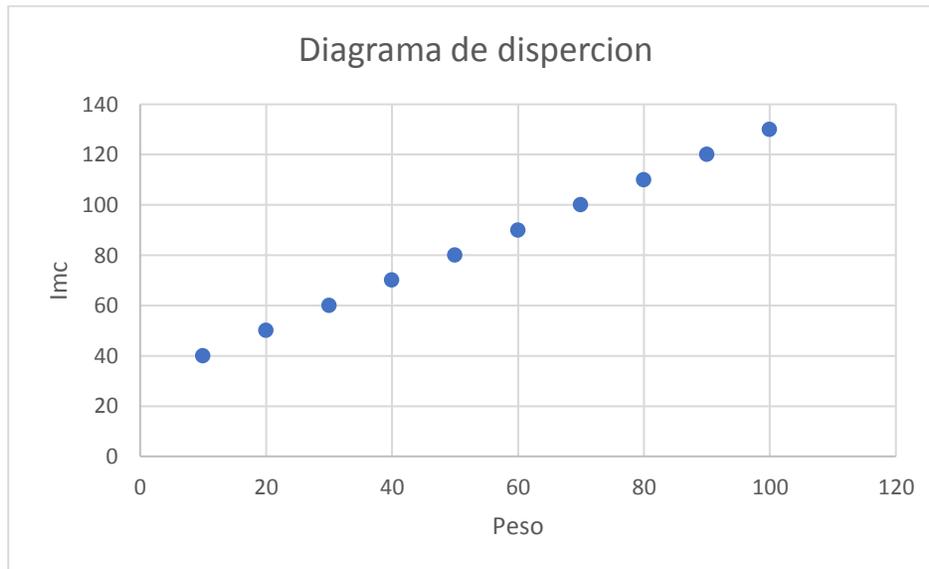
Realizo la investigación de Correlación Empírica de CBR VS Plasticidad Aplicada a la Ciudad de Tarija.

En el estudio concluyo con la correlación entre la Granulometría, límites y el CBR donde obtuvo una correlación exponencial con grado de precisión de 0.91% ecuación aplicable para suelos finos plásticos de Tarija.

2.4 Correlación

La finalidad de la correlación es examinar la dirección y la fuerza de la asociación entre dos variables cuantitativas. Así conoceremos la intensidad de la relación entre ellas y si, al aumentar el valor de una variable, aumenta o disminuye el valor de la otra variable. Para valorar la asociación entre dos variables, la primera aproximación suele hacerse mediante un diagrama de dispersión.

Figura 2.4 Diagrama de dispersión



Fuente: Elaboración propia

En el diagrama de dispersión de la figura 2.4 parece existir una relación lineal entre el peso y el índice de masa corporal de los pacientes. Además, si nos fijamos parece que existe un dato atípico que se aleja de la nube de puntos. Con la nube de puntos podemos apreciar si existe o no una tendencia entre las dos variables, pero si queremos cuantificar esta asociación debemos calcular un coeficiente de correlación.

Hay dos coeficientes de correlación que se usan frecuentemente: el de Pearson (paramétrico) y el de Spearman (no paramétrico, se utiliza en aquellos casos donde las variables examinadas no cumplen criterios de normalidad o cuando las variables son ordinales). El coeficiente de correlación de Pearson evalúa específicamente la adecuación a la recta lineal que defina la relación entre dos variables cuantitativas. El coeficiente no paramétrico de Spearman mide cualquier tipo de asociación, no necesariamente lineal.

Si se desea medir o cuantificar el grado de asociación entre dos variables cuantitativas se debe calcular un coeficiente de correlación.

2.4.1 Coeficiente de correlación lineal de Pearson

El estimador muestral más utilizado para evaluar la asociación lineal entre dos variables X e Y es el coeficiente de correlación de Pearson (r). Se trata de un índice que mide si los

puntos tienen tendencia a disponerse en una línea recta. Puede tomar valores entre -1 y +1. Es un método estadístico paramétrico, ya que utiliza la media, la varianza y, por tanto, requiere criterios de normalidad para las variables analizadas. Se define como la covarianza muestral entre X e Y dividida por el producto de las desviaciones típicas de cada variable:

$$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_Y}$$

La expresión matemática para el coeficiente de correlación de Pearson parece compleja, pero esconde un planteamiento que, en el fondo, es sencillo: “r” estará próximo a 1 (en valor absoluto) cuando las dos variables X e Y estén intensamente relacionadas, es decir, al aumentar una aumenta otra y viceversa. A este concepto de variación al unísono se le llama covarianza.

Covarianza

El numerador del coeficiente de correlación es la covarianza muestral S_{XY} entre X e Y, que nos indica si la posible relación entre dos variables es directa o inversa. Es una medida que nos habla de la variabilidad conjunta de dos variables cuantitativas.

$$S_{XY} = \frac{1}{n} \sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

Así, si valores altos (o bajos) de X tienden a asociarse con valores altos (o bajos) de Y, el producto de las desviaciones tenderá a ser positivo y la covarianza será positiva. Por el contrario, si valores altos de una variable se relacionan con valores bajos de la otra variable, el producto de las desviaciones tenderá a ser negativo y la covarianza será negativa.

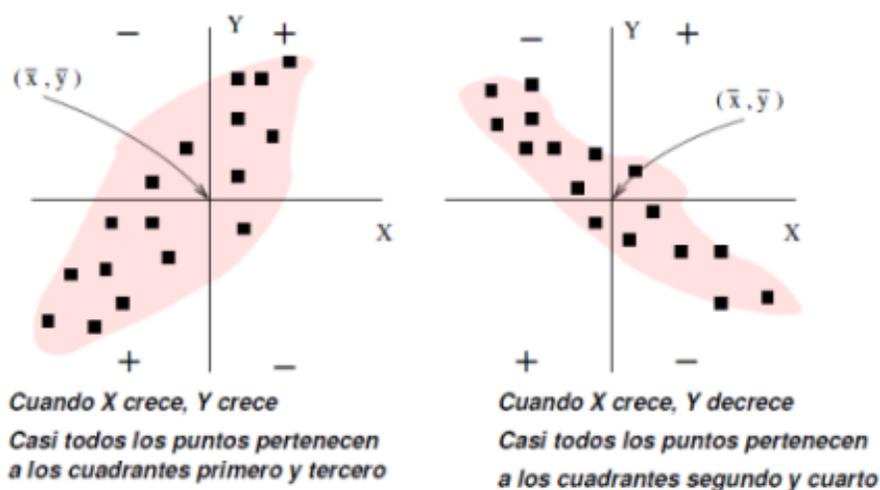
De tal modo que:

- Si $S_{xy} > 0$ las dos variables crecen o decrecen a la vez (nube de puntos creciente)
- Si $S_{xy} < 0$ cuando una variable crece, la otra tiene tendencia a decrecer (nube de puntos decreciente)
- Si los puntos se reparten con igual densidad alrededor del centro de gravedad (\bar{x}, \bar{y}) ,

$S_{xy} = 0$ (no hay relación lineal)

El signo de la covarianza nos dice si el aspecto de la nube de puntos es creciente o no, pero no nos dice nada sobre el grado de relación entre las variables.

Figura 2.5 Interpretación geométrica de S_{xy}



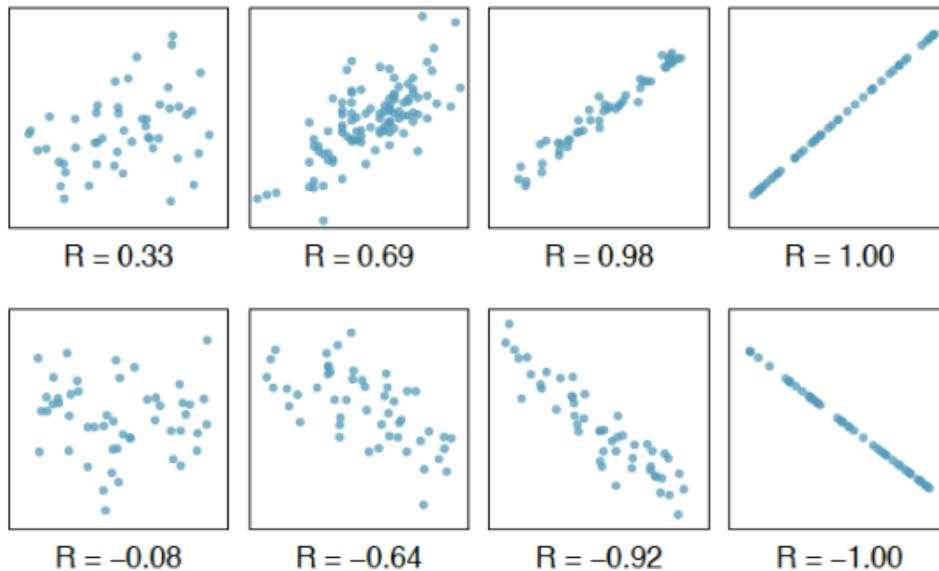
Resulta complicado determinar el grado de asociación lineal entre dos variables a partir de la magnitud de la covarianza, ya que ésta depende de las unidades de medida de las variables.

Volviendo al coeficiente de correlación lineal r , veamos qué propiedades tiene:

- Carece de unidades de medida (adimensional)
- Sólo toma valores comprendidos entre $[-1,1]$
- Cuando $|r|$ esté próximo a uno, $r = +1$ (recta lineal creciente de izquierda a derecha) o $r = -1$ (recta lineal decreciente), se tiene que existe una relación lineal muy fuerte entre las variables
- Cuando $r \approx 0$ puede afirmarse que no existe relación lineal entre ambas variables. Se dice en este caso que las variables son incorreladas

Para entenderlo mejor, veamos los siguientes diagramas de dispersión:

Figura 2.6 Diagramas de dispersiones



En la figura 2.6 vemos que $r = \pm 1$ es lo mismo que decir que las observaciones de ambas variables están perfectamente alineadas. El signo de r , es el mismo que el de S_{xy} , por tanto, nos indica el crecimiento o decrecimiento de la recta. La relación lineal es tanto más perfecta cuanto r está cercano a ± 1 .

En la correlación no se distingue la variable dependiente de la independiente, la correlación de X con respecto a Y es la misma que la correlación de Y con respecto a X .

Aunque la interpretación de la magnitud del coeficiente de correlación depende del contexto particular de aplicación, en términos generales se considera que una correlación es baja por debajo de 0.30 en valor absoluto, que existe una asociación moderada entre 0.30 y 0.70, y alta por encima de 0.70.

Condiciones de aplicación de la correlación:

- Variables cuantitativas: Ambas variables examinadas han de ser cuantitativas. Para variables ordinales se puede usar el coeficiente de Spearman
- Normalidad: La normalidad de ambas variables es un requisito en el caso del coeficiente de correlación de Pearson, pero no en el de Spearman

- Independencia: Las observaciones han de ser independientes, es decir, sólo hay una observación de cada variable para cada individuo. No tendría sentido, aplicar la correlación en un estudio que relacionase la ingesta diaria de sal y la tensión intraocular si se tomaran mediciones en ambos ojos de cada individuo. En este caso hay dos observaciones por paciente que están autocorrelacionadas, no son independientes; habría que considerar N como el número de pacientes y no el de ojos

2.5 Regresión lineal simple

La regresión está dirigida a describir cómo es la relación entre dos variables X e Y, de tal manera que incluso se pueden hacer predicciones sobre los valores de la variable Y, a partir de los de X. Cuando la asociación entre ambas variables es fuerte, la regresión nos ofrece un modelo estadístico que puede alcanzar finalidades predictivas.

2.5.1 Bondad de un ajuste

La recta de regresión por mínimos cuadrados minimiza la suma de los cuadrados de los residuos. Ahora nos preguntamos si este ajuste es lo bastante bueno. Mirando si en el diagrama de dispersión los puntos experimentales quedan muy cerca de la recta de regresión obtenida, podemos tener una idea de si la recta se ajusta o no a los datos, pero nos hace falta un valor numérico que nos ayude a precisarlo.

El coeficiente de determinación R^2

Queremos evaluar en qué grado el modelo de regresión lineal que hemos encontrado a partir de un conjunto de observaciones explica las variaciones que se producen en la variable dependiente de éstas.

La medida más importante de la bondad del ajuste es el coeficiente de determinación R^2 .

Este coeficiente nos indica el grado de ajuste de la recta de regresión a los valores de la muestra, y se define como el porcentaje de la variabilidad total de la variable dependiente Y que es explicada por la recta de regresión.

Cuanto menos dispersos sean los residuos (recordad que los residuos o errores son la diferencia entre los valores observados y los valores estimados por la recta de regresión), mejor será la bondad del ajuste.

$$R^2 = 1 - \frac{S_e^2}{S_y^2}$$

Las características de este coeficiente son:

- R^2 es una cantidad adimensional que sólo puede tomar valores en $[0, 1]$
- Cuando un ajuste es bueno, R^2 será cercano a uno (mayor será la fuerza de asociación entre ambas variables)
- Cuando un ajuste es malo, R^2 será cercano a cero (la recta no explica nada, no existe asociación entre X e Y)

Puesto que R^2 nos explica la proporción de variabilidad de los datos que queda explicada por el modelo de regresión, cuanto más cercano a la unidad esté, mejor es el ajuste.

Relación entre R^2 y r

Es muy importante tener clara la diferencia entre el coeficiente de correlación y el coeficiente de determinación:

- R^2 = Mide la proporción de variación de la variable dependiente explicada por la variable independiente
- r = Mide el grado de asociación entre las dos variables

No obstante, en la regresión lineal simple tenemos que $R^2 = r^2$.

Esta relación nos ayuda a comprender por qué antes considerábamos que un valor de $r = 0.5$ era débil. Este valor representará un $R^2 = 0.25$, es decir, el modelo de regresión sólo nos explica un 25% de la variabilidad total de las observaciones.

A diferencia de R^2 que siempre es positivo, r puede ser positivo o negativo (tendrá el mismo signo que la pendiente de la recta que hemos llamado b). Por tanto, es importante tener presente que r nos da más información que R^2 . El signo de r nos informa de si la

relación es positiva o negativa. Así pues, con el valor de r siempre podremos calcular el valor de R^2 , pero al revés siempre nos quedará indeterminado el valor del signo a menos que conozcamos la pendiente de la recta.

2.6 Statgraphics

Statgraphics es un software estadístico considerado como estándar, que presenta los resultados de una forma entendible para gente que no tenga grandes conocimientos de estadística, además de no utilizar programación y, por tanto, simplificar el trabajo.

Una de las aportaciones de este software es el intérprete de resultados o StatAdvisor. Esta utilidad permite interpretar estadísticamente los resultados de cualquier procedimiento, siendo de gran ayuda si no tenemos previos conocimientos de estadística y nos resulta difícil su interpretación.

Statgraphics permite realizar gran variedad de estudios estadísticos, como estadística descriptiva, modelos econométricos, análisis multivariante, diseño de experimentos, control estadístico de la calidad, etc., aunque la aportación utilizada para este estudio fue aplicar Statgraphics a la regresión no paramétrica y las predicciones.

2.6.1 Estudio de regresión

Statgraphics aporta procedimientos para realizar distintos tipos de regresión. Desde regresión simple, polinomial o múltiple.

Resumen del Procedimiento

Podremos ver las estimaciones de los parámetros y una serie de distintos coeficientes que pueden ser significativos en el estudio.

CAPÍTULO III
CARACTERIZACIÓN
DE LOS SUELOS

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

3.1 Unidades de estudio y decisión muestral

3.1.2 Unidad de estudio

Límites de Atterberg y valor de Soporte de California CBR

3.1.3 Población

Suelos plásticos extraídos de la sub rasante del departamento de Tarija – Provincia Cercado

3.1.4 Muestra

Suelos plásticos extraídos de diferentes lugares de la ciudad de Tarija

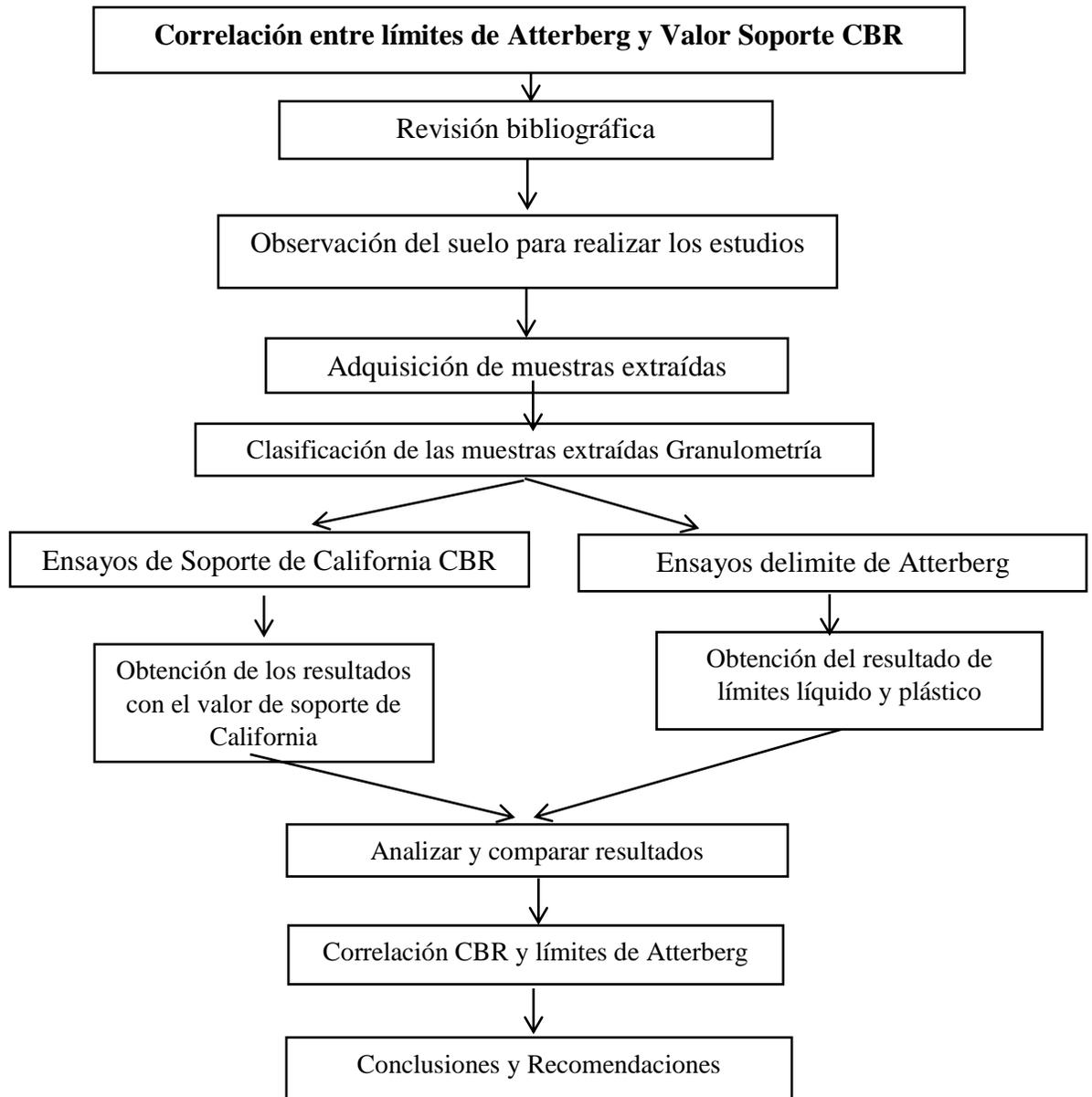
3.1.5 Selección de las técnicas de muestreo

Muestreo estratificado

3.2 Procesamiento de la información

Tipo de estudio	Tamaño mínimo de muestras
Correlacional	30 casos por grupo o segmento de la muestra

Diagrama de flujo de proceso



3.4 Métodos y técnicas empleadas

3.4.1 Métodos

Método inductivo

Se utiliza el método inductivo partiendo de casos particulares para llegar a una proposición general.

El uso del razonamiento inductivo fue y es de gran importancia en el trabajo científico en general, ya que consiste en la recolección de datos sobre casos específicos y su análisis para crear teorías o hipótesis.

Características del método inductivo

- Sigue la dirección de abajo hacia arriba, de lo particular a lo general
- Parte de observaciones empíricas y luego construye teorías sobre lo observado
- Aún es utilizado en las ciencias, pero dentro del método hipotético - deductivo
- Está limitado a la observación de los fenómenos
- Sus conclusiones son probables y pueden llegar a ser falsas

La observación en el método inductivo.

La observación es uno de los aspectos clave en el método inductivo. La experiencia de los fenómenos es importante en las áreas científicas donde se recolectan datos de hechos y fenómenos observados, para llegar a una hipótesis o teoría general.

Para que el conocimiento científico tenga peso, es importante que se hagan numerosas observaciones sobre un hecho para que, si se dan condiciones similares, se pueda hacer una generalización.

Además de la observación, el método inductivo utiliza la experimentación para conseguir los datos necesarios que llevan al planteamiento de una conclusión general.

Pasos del método inductivo

- Se observan y registran los hechos y fenómenos
- Se comparan y analizan los datos recolectados de varias observaciones y sus posibles relaciones
- Se establecen generalizaciones (o leyes)
- Estas generalizaciones se usan para predecir futuros fenómenos

3.4.2 Técnicas

Observación

Esta técnica será usada para obtener los datos cuantitativos, características, comportamiento y diversos factores que presente el objeto de estudio de la muestra de investigación.

Análisis de documentos:

Con esta técnica, se obtendrá información mediante el estudio de los documentos que contengan datos, símbolos, procedimientos (diagramas de flujo), etc.

Ensayos en Laboratorio:

A través de ensayos de laboratorio la caracterización de los suelos de enfocado en los Límites de Atterberg y CBR.

Podremos recolectar información necesaria para realizar el objetivo de la investigación.

Estadística:

El método estadístico consiste en una serie de procedimientos para el manejo de los datos cualitativos y cuantitativos de la investigación.

Dicho manejo de datos tiene por propósito la comprobación, en una parte de la realidad de una o varias consecuencias verticales deducidas de la hipótesis general de la investigación.

Las características que adoptan los procedimientos propios del método estadístico dependen del diseño de investigación seleccionado para la comprobación de la consecuencia verificable en cuestión.

3.5 Ubicación del suelo de estudio

$$N = 0.1X + 40$$

Donde:

N= Número mínimo de puntos de muestreo

X = Superficie en Hectáreas

A= 9.6 Ha

N = 30

Tabla 3.1 Puntos de extracción de las muestras

Procedencia	Coordenada Geográficas			Coordenada UTM		
	Latitud (S)	Longitud (W)	Altura (msnm)	Este	Norte	Zona (S)
B. Florida	21°31'01"	64°43'28"	2232	321385	7619652.9	20
B. Lourdes	21°30'56"	64°43'26"	1881	321440.9	7619807.3	20
B. 1 de Mayo	21°30'58"	64°43'04"	1885	322074.7	7619752.8	20
B. 3 de Mayo	21°30'57"	64°43'54"	1895	320635.4	7619767.6	20
B. Villa Avaroa	21°31'01"	64°43'51"	1902	320723.1	7619645.6	20
B. San Pedro	21°31'28"	64°43'11"	1884	321883.4	7618827.9	20
B. San Marcos	21°31'15"	64°43'38"	1880	321102	7619219.1	20
B. San Bernardo	21°31'16"	64°43'12"	1885	321850.6	7619196.6	20
B. Laureles	21°30'12"	64°42'54"	1918	322346.9	7621170.6	20
B. Trigal	21°30'28"	64°42'53"	1903	322381.1	7620678.9	20
B.Constructor	21°31'16"	64°42'50"	1901	322483.7	7619203.6	20
B.Tarija La Nueva	21°31'14"	64°42'51"	1901	322434	7621110.1	20
B.La Pascua	21°30'54"	64°44'22"	1894	319828.6	7619850.9	20
B. 2 de Enero	21°33'17"	64°43'30"	1847	321373.7	7615469.6	20
B. Santeresa	21°31'50"	64°45'21"	1926	318150	7618109.7	20
B. Pampa Galanda	21°31'43"	64°45'27"	1891	317975	7618323	20
B. 7 Septiembre	21°31'46"	64°42'23"	1883	323270.7	7618289.5	20
B. 6 de Abril	21°32'41"	64°43'57"	1858	320584.6	7616568.2	20
B. Israel	21°34'56"	64°42'39"	1847	322874.4	7612441.1	20
B. Universo	21°30'39"	64°43'47"	1911	320830.8	7620323.4	20
B. Senac	21°32'38"	64°44'46"	1907	319173.7	7616644.7	20
B. Aeropuerto	21°32'39"	64°42'43"	1857	322713.1	7616653.2	20
B. 24 de Junio	21°30'31"	64°43'33"	1903	321230.9	7620573.9	20
B. San Jorge I	21°33'08"	64°42'03"	1850	323873.7	7615773.9	20
B. Morros Blancos	21°32'46"	64°42'03"	1877	323866.4	7616450.5	20
B. Simon Bolivar	21°32'41"	64°43'58"	1858	320555.8	7616567.9	20
B. Pedro A.Flores	21°31'34"	64°42'58"	1873	322259.5	7618647.5	20
B. Juan XXIII	21°32'29"	64°43'00"	1854	322220.6	7616955.4	20
B. 6 de Agosto	21°31'34"	64°43'35"	1864	321194.8	7618635.8	20
B. San Jose	21°31'42"	64°43'36"	1865	321168.7	7618389.4	20

Fuente: Elaboración propia

3.6 Muestreo y caracterización

3.6.1 Selección de la muestra

La muestra que se tomó es representativa, se extrajo de cada punto (barrios) una bolsa de 60 kilos de cada lugar (30 bolsas) para los ensayos a realizar.

En primer lugar, se realizó una inspección visual de los alrededores de la zona, se seleccionó un lugar en base a las características físicas que presentan los suelos finos arcillosos. Tomando en cuenta que el sitio no presentaba características de relleno, se trata de un corte que permitió realizar el muestreo con mayor facilidad ya que se puede observar en él el color, distribución y consistencia del mismo, además de agrietamientos producto de la pérdida de humedad.

3.6.2 Toma de muestras

Una vez identificado el punto de muestreo, se procedió a retirar todo el material de la parte expuesta a la atmósfera y como también se procedió a cavar de otros lugares que se extrajeron las muestras, hasta aproximadamente unos 120 cm de profundidad, garantizando así no tomar material contaminado.

Material utilizado en toma de muestra:

- Pico
- Pala
- Bolsas plásticas

Figura 3.1 Extracción de la muestra B. La Panosas

Se procedió a la extracción el suelo plástico en el barrio con una pala, así como un azadón y una bolsa para llevarlo posteriormente al laboratorio



Fuente:Elaboración propia

Figura 3.2 Extracción de la muestra B. 1 de Mayo

Se procedió a la extracción el suelo plástico en el barrio 1 de Mayo aprovechado ya una excavación de un alcantarillado



Fuente:Elaboración propio

Figura 3.3 Extracción de la muestra B. Salamanca

Identificación del suelo que cumpla con las condiciones para poder ser usado como muestra representativa del barrio Salamanca



Fuente:Elaboración propia

Figura 3.4 Extracción de la muestra B. 12 de Octubre

Excavación de la muestra del barrio de 12 Octubre para realizar los ensayos en laboratorio



Fuente: Elaboración propia

Se procedió a la extracción el suelo plástico en el barrio Lourdes con una pala, así como un azadón y una bolsa para llevarlo posterior mente al laboratorio

Figura 3.5 Extracción de la muestra B. Lourdes



Fuente:Elaboración propia

Identificación para la extracción del suelo del barrio Senac

Figura 3.6 Extracción de la muestra B. Senac



Fuente:Elaboracion propia

Figura 3.7 Extracción de la muestra B. la Florida

Se procedió a la extracción el suelo plástico en el barrio Florida con una pala, así como un azadón y una bolsa para llevarlo posterior mente al laboratorio



Fuente:Elaboracion propia

Figura 3.8 Muestras llevadas al laboratorio de SEDECA

Una vez extraídas las muestras de cada suelo 60 a 70 kg se procedió a llevar al laboratorio del SEDECA



Fuente: Elaboración propia

3.7 Ensayos de caracterización de materiales

Se procedió con la caracterización de los materiales extraídos para los ensayos en el laboratorio de la institución de SEDECA- Tarija laboratorio de Suelos.

3.7.1 Características del suelo

Una vez extraído el material y trasladado al laboratorio de la institución, se procedió a realizar a preparar las muestras para los ensayos de caracterización de la muestra.

Figura 3.9 Preparación de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.10 Preparación de la muestra



Fuente: Elaboración propia

Cada muestra fue identificada, marcada y preparada para poder realizar los ensayos previos.

Para ello una vez llevadas al laboratorio se procedió a triturar los terrones de tierras para su posterior tamizado según la norma así como se las indentico con número para mantener un orden manteniendo las características de su estado natural se los trajo y coloco en bolsas impermeables.

Los ensayos previos a realizar fueron según las normativas específicas previamente nombradas.

Tabla 3.2 Ensayos de laboratorio

Agregados Fino	
Ensayos	Normativa
Granulometría	AASHTO T- 27
Limites de Atterberg	AASHTO T- 89
Compactación Proctor	AASHTO T- 180
Valor Soporte California C.B.R.	AASHTO T- 193

Fuente: Elaboración propia

3.8 Ejecución de los ensayos

3.8.1 Contenido de humedad

Contenido de humedad se define como la cantidad de agua que se encuentra dentro de una muestra de suelo y se expresa en porcentaje.

$$W (\%) = (P_a/P_{ss}) * 100$$

Donde:

W = Contenido de humedad, en por ciento

P_a = Peso del agua presente en el suelo

P_{ss} = Peso del suelo después de secado al horno

Una vez tamizado (tamiz N°4) se procedió pesar en la balanza de 0.01 gramos.

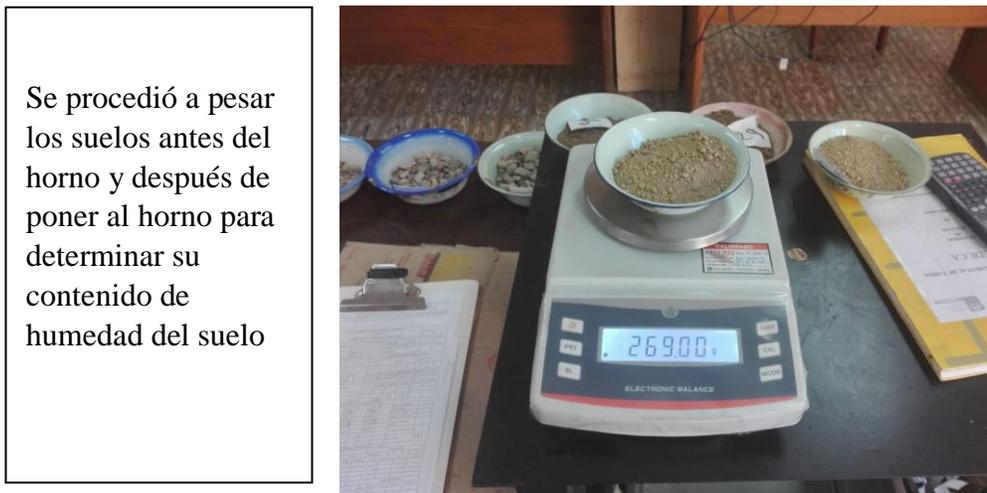
Figura 3.11 Preparación del suelo para el ensayo

Se procedió a separar el suelo en bandejas, así como en platillos para todos los ensayos que se realizaran



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.12 Pesando de la muestra en la balanza



Fuente: Elaboración propia

Una vez pesado cada muestra se idéntico con numero para su identificación adecuada y fue colocada al horno para proceder a pesar después de 24 hrs. Así se realizó para los 30 suelos.

3.8.2 Granulometría

Dentro el análisis de los suelos, se encuentra el del a granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforman un suelo. Esto se realiza con ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por normas ASTM y AASTHO, en donde se obtienen los pesos retenidos para luego realizar posteriores cálculos y la curva granulométrica.

Si bien se realiza una distribución de tamaños, esto no incide en la forma que puedan tener los granos de suelo, ya que al retener material en una malla se observa diferentes tamaños y el porcentaje que se calcula está basado estrictamente en los pesos que se retiene en la malla, refiriendo al peso total que se utiliza en el ensayo.

El factor fundamental del ensayo es la curva granulométrica, que se dibuja en una escala logarítmica, ya que, de no ser así, la representación gráfica tendría que usar una escala demasiado grande.

Tabla 3.3 Sistema de clasificación de suelos AASHTO

Clasificación	Materiales granulares (35% o menos pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limoso arcilloso (más del 35% pasa el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2-4				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Grupo:	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Porcentaje que pasa: N° 10 (2mm)	50 máx	-	-	-				-			
N° 40 (0.425mm)	30 máx	50 máx	51 mín	-				-			
N° 200 (0.075mm)	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx				36 min			
Características de la fracción que pasa por el tamiz N° 40											
Límite líquido	-	-	-	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín (2)
Índice de plasticidad	6 máx		NP (1)	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
Constituyentes principales	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Grava y arena arcillosa o limosa				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Características como subgrado	Excelente a bueno							Pobre a malo			

Fuente: Guía de laboratorio de la U.A.J.M.S

Para suelos finos plásticos se empleó el método de lavado.

Este método, se usa para el material que pasa el tamiz N° 10, donde también se puede realizar con una representación menor del peso total. Esto quiere decir que se puede usar un peso de 300 gramos aproximadamente.

- Se peso de 400 a 600gr de cada suelo

Figura 3.13 Lavado del suelo fino

Para la clasificación de los suelos finos se realizó por el método de lavado debido a que son suelos finos



Fuente: Elaboración propia

- Se procedió a lavar con el tamiz N° 200 y lo que se retenido en el tamiz se lo puso en una bandeja identificando y se puso al horno para ser pesado después de 24 hrs
- Una vez seco la muestra se procedió a tamizar con los tamices N°10, N°40, N°200
- Cada peso retenido en cada tamiz fue pesado
-

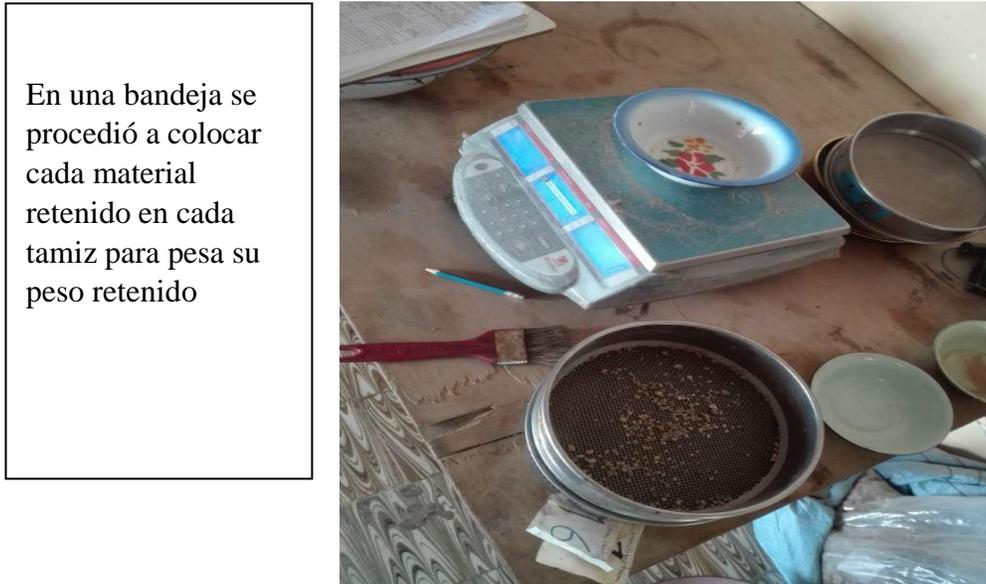
Figura 3.14 Tamizado del suelo

Una vez secado la muestra en el horno se procedió a tamizar pesando cada peso retenido en cada tamiz



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.15 Pesando la muestra q se retiene en los tamices



Fuente: Elaboración propia

3.8.3 Límites de Atterberg

Son contenidos de humedad específicos en los cuales el suelo se encuentra en etapa de transición, de un estado de consistencia a otro.

Definidos así por Alberto Atterberg. Originalmente delimitó seis límites en los suelos de grano fino, siendo éstos: límite superior de flujo viscoso, límite líquido, límite de pegajosidad, límite de cohesión, límite plástico y límite de contracción. Generalmente en aplicaciones recientes de ingeniería, el término “Límites de Atterberg” se refiere normalmente sólo al límite líquido y al límite plástico, en algunas referencias, el límite de contracción.

El Límite Líquido es un contenido de humedad (%) específico que divide la consistencia plástica de la líquida del suelo.

Casagrande (1932) desarrollo un método en laboratorio para determinar el límite líquido del suelo, con un aparato conocido como cuchara de Casagrande.

Figura 3.16 Preparación para el ensayo de Casa Grande



Fuente: Elaboración propia

Determinación del límite líquido

- La muestra de cada suelo fue humedecida y colocada en un recipiente de aparato de Casagrande, se separa con una herramienta (ranurador), se deja caer desde una altura de un 1 cm. El cierre de esa ranura esta entre los 35 y 25 golpes de la cuchara contra la base de caucho dura como mínimo se debe realizar tres veces por cada suelo para obtener tres puntos diferentes

Figura 3.17 Preparación para el ensayo de limite liquido



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.18 Ensayo límite líquido



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.19 Ensayo del límite líquido



Fuente: Elaboración propia

Limite Plástico (LP)

Se llama límite plástico, la frontera convencional entre los estados semisólido y plástico; es un contenido de humedad (%), que tiene el suelo cuando el mismo empieza a producir grietas y desmoronamientos, al construir con la mano pequeños cilindros de 3mm, de diámetro

Una vez de haber pesado las muestras de limite líquido y de limite plástico se procedió poner en el horno para después de 24 hrs pesarlo.

Figura 3.20 Pesando las piezas de rodillo del ensayo limite plástico

Una vez secada las el suelo en los moldes o taras se procedió pesar el suelo seco de cada suelo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.21 Taras para limites

Imagen de las aras para su posteriormente pesarlas para determinar su humedad



Fuente: Elaboración propia

3.8.4 Compactación Proctor

Proctor compactó muestras de suelo en un recipiente cilíndrico, utilizando diferentes contenidos de humedad. Después de Compactar la muestra en el cilindro y determinar su

Densidad, la retiraba del cilindro, la desmenuzaba y aumentaba el agua repitiendo la operación de Compactación.

Con los valores de Densidad y Humedad, obtenidos de la Compactación de cada muestra, Proctor pudo trazar la Curva de Compactación (típica para todos los suelos), que a su vez le permitió encontrar la Densidad Máxima y la Humedad Óptima del suelo.

Y es precisamente este método desarrollado por Proctor, el utilizado actualmente para realizar la compactación de suelos.

La Compactación es la operación o procedimiento de Estabilización Mecánica, cuyo objetivo fundamental es aumentar la Densidad del suelo, por medio de una mayor aproximación de sus partículas, lo que se consigue con una disminución del Índice de Vacíos.

Mediante el proceso de Compactación del suelo se persiguen los siguientes objetivos prácticos:

- Aumentar la Resistencia a la Compresibilidad y al Corte
- Obtener de mayor uniformidad y homogeneidad
- Conseguir que el suelo sea menos susceptible a las variaciones de humedad

Este método se utiliza en la más diversas ramas de la Ingeniería Civil:

- Construcción de caminos y aeropuertos
- Construcción de represas de tierra
- Fundación de presas de tierra
- Fundación de estructuras

EQUIPO

- Molde Metálico
- Martillo con un peso adecuado de acuerdo al método de Compactación
- Balanza
- Horno
- Taras

Figura 3.22 Balanza, molde, martillo para el ensayo



Fuente: Elaboración propia

- Preparación de la muestra

Se pesan 6 kilos por separado en total 24 kilos para realizar la compactación de cuatro puntos como mínimo para la curva.

Así como también la muestra previamente fue preparada secada y mantenida en bolsas para que mantenga su humedad.

Figura 3.23 Bolsas pesadas y preparadas

En separo 4 bolsas
cada bolsa pesando 6
klg para el ensayo de
compactación



Fuente: Elaboración propia

- Procedimiento

Se prepara cada muestra mezclando en una fuente la tierra con agua cabe recalcar que se debe echar agua por porcentaje hasta llegar a la densidad óptima para suelos finos hay recomendaciones de (2% - 14%) de agua según el peso de la muestra.

Figura 3.24 Preparación para el % de humedad



Fuente: Elaboración propia

Se toman las dimensiones del molde y se compacta el suelo por capas 5 capas en total cada capa recibirá 56 golpes con el martillo.

Las capas deben ser iguales para tener una compactación correcta y más precisa.

Figura 3.25 Compactando el suelo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.26 Visita de la compactación

Se compacto las 5 capas a 56 golpes con varios porcentajes de humedad



Fuente: Elaboración propia

Una vez se termine la compactación, la camisa superior es retirada y con ayuda de la espátula cuyas características cumplan las condiciones para el procedimiento, se lleva a cabo el enrasado. En el momento de enrasar es usual que guijarros dispuestos en la superficie sean desprendidos y dejen pequeños vacíos en la misma, para tal caso se recomienda llenar dichos vacíos con suelo sobrante del tamizado.

Figura 3.27 Enrasando el suelo

Una vez compactado las 5 capas se realizo el enrasado para posteriormente pesarlo



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.28 Pesando el molde con la muestra compactada

Registrando el peso
se cada muestra
compactada



Fuente: Elaboración propia

Se desmolda la muestra y realizamos un corte vertical por la mitad, tomándose una muestra representativa, mínimamente de 100 gramos e inmediatamente debe ser pesada.

De la misma manera se procede a compactar las otras porciones, incrementando sucesivamente en un determinado porcentaje, la cantidad de agua a cada una de las muestras que se vayan compactando.

Figura 3.29 Humedad óptima

Mescla del suelo y
el contenido
óptimo de agua
una vez
determinado su
densidad máxima
del suelo



Fuente: Elaboración propia

3.8.5 Ensayo CBR. (Capacidad Soporte del Suelo)

Ensayo de relación de soporte, es el procedimiento por medio del cual mediante pruebas de laboratorio y bajo condiciones de humedad y densidad controlada se puede medir la resistencia al corte de un suelo en el estado en que este se encuentre en ese momento. El método de CBR es normalmente utilizado para analizar materiales cuyo diámetro máximo de partículas es de $\frac{3}{4}$ ".

En el diseño de pavimentos flexibles utilizados en las diferentes obras de infraestructura vial, el método del CBR se convierte en pieza clave en la búsqueda de evaluar la resistencia potencial de los materiales utilizados en la base y subbase de las estructuras y además de esto, brindando información sobre la expansión esperada en el suelo bajo la estructura de pavimento cuando el suelo se satura e indicando la pérdida de resistencia debida a la saturación en el campo. A continuación, se presenta una tabla donde con base a los valores de CBR se establece una clasificación general para el suelo.

Tabla 3.4 Clasificación de suelos según el CBR

Valor CBR	Clasificación general	Usos
0-3	Muy pobre	Subrasante
3-7	Pobre a regular	Subrasante
7-20	Regular	Subbase
20-50	Bueno	Base, Subbase
>50	Excelente	Base

Fuente: Guía de laboratorio de la U.A.J.M.S

Procedimiento

- Tomar el peso del molde, el cual debe ser un dato para corroborar, pues cada molde debe tener en sus paredes exteriores los datos de su peso, altura y volumen
- Se arma el equipo de compactación, es decir base, molde, camisa superior y ajuste de tornillos. Se debe asegurar que el terreno o superficie donde la base del molde quede apoyada, sea firme y no presente deformaciones ni pendientes
- Se introduce el disco espaciador sobre la base perforada y sobre este un papel de filtro

y de esta manera asegurando que el suelo no presente adherencia con el disco durante la compactación

Figura 3.30 Preparación de los moldes para el ensayo

Marcando y preparando cada molde para el ensayo según la normativa



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.31 Compactación CBR

Compactación a los 12, 25 y 56 golpes con la humedad óptima cada molde



Fuente: Elaboración propia

La humedad de las muestras así compactadas no debe ser ni mayor ni menor que 0.5% de la humedad óptima; de otra forma se debe repetir el ensayo.

- Se compactan 3 muestras en los moldes preparados, usando para el primero 56 golpe, para el segundo 25 golpes y para el tercero 10 golpes. Se deben tomar muestras de humedad para cada molde con anticipación. Cada capa debe ser de 1" de espesor después de compactada y la última capa debe estar 1/2" más arriba de la unión del molde con su collarín
- A continuación, se retira la camisa superior del molde y se enrasa la muestra, asegurando que los espacios que hayan quedado sean llenados con material más fino que los orificios producidos en el enrase. Del material sobrante se debe apartar una muestra representativa con el fin de determinar el porcentaje de humedad
- Con el fin de determinar el peso unitario del suelo, se retira el disco espaciador y se pesa el conjunto molde más suelo compactado

Figura 3.32 Moldes y muestras

Preparación de los moldes, así como los suelos para el ensayo a realizar



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.33 Muestras ya compactadas

Una vez ya compactadas cada molde mas suelo se procedió a pesar



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.34 Vista antes de colocar su ranura al molde

Muestra ya compactada y preparada para el pesaje y posteriormente el sumergimiento en el agua



Fuente: Elaboración propia

- Luego sobre la base se coloca un papel de filtro y el molde se coloca sobre este, pero esta vez invertido, de manera que el papel de filtro quede en contacto con la superficie enrasada
- A partir de este paso, el ensayo se puede llevar a cabo de dos maneras diferentes y a saber: la primera con muestras saturadas y la segunda con muestras en condición natural
- A partir de este paso, el ensayo se puede llevar a cabo de dos maneras diferentes y a saber: la primera con muestras saturadas y la segunda con muestras en condición natural

Figura 3.35 Preparación para la medición

Preparación para el de los moldes antes del sumergimiento en el agua durante 4 días para medir la expansión así como pesar después del sumergimiento



Fuente: Elaboración propia

- Método de sumergir la muestra y medir los cambios volumétricos. Con el fin de duplicar en el laboratorio las condiciones de saturación que se presentan en el terreno, la muestra preparada como se indica anteriormente, se sumerge en un recipiente. Se

coloca sobre la muestra sobrepeso de 5 libras (esto representa aproximadamente 3" de material). Por lo tanto, si se desea calcular el número de sobrepesos necesarios, se estima el espesor en pulgadas del material que la muestra a soportar y se divide por 3.

Se coloca un filtro de papel sobre la superficie de la muestra compactada, luego la placa perforada con su vástago y sobre esta los pesos y sobre-pesos requeridos.

Se coloca un extensómetro junto con un trípode que sirva para sostenerlo.

Se sumerge la muestra en el recipiente y se deja allí durante cuatro días hasta que esté completamente saturada y no tenga más cambios volumétricos; se debe tomar la lectura de los extensómetros todos los días.

Figura 3.36 Marcación y medición



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.37 Sumergimiento de las muestras

Lectura de la expansión después de los 4 días bajo el agua las muestras de suelos



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.38 Colocado de los moldes de CBR



Fuente: Elaboración propia

Al cabo de 4 días se saca el molde del agua, se seca y se deja escurrir por espacio de 15 minutos.

Se quitan los sobrepesos y se pesa la muestra saturada con el fin de apreciar la cantidad de agua absorbida por el espécimen. La muestra se encuentra lista para la penetración del pistón.

Figura 3.39 Escurrido del agua antes de la ruptura

Preparación para el
pesar las muestras
después del
sumergimiento en el
agua por ello se
escurrió el agua
durante 15 min
recomendables



Fuente: Elaboración propia

Procedimiento (Penetración del Pistón)

Se colocan de nuevo los sobrepesos sobre la muestra saturada.

Se coloca la muestra sobre la plataforma de prensa del CBR. La muestra debe estar alineada con el pistón; se levanta la plataforma por medio del gato hidráulico hasta que el pistón esté en contacto con la muestra y se le esté aplicando una carga de 10 libras. Después se vuelve a colocar en cero el indicador de carga. Se coloca también el extensómetro en cero.

Se aplica la carga por medio del gato hidráulico de la prensa del CBR a una velocidad de 0.05” por

minuto. Se toma la lectura de las cargas, aplicadas a 0.025, 0.050, 0.075, 0.1, 0.3, 0.4 y 0.5” de penetración del pistón.

Se saca la muestra de la prensa del CBR y se toma la muestra de humedad alrededor del orificio dejado por el pistón.

Para sacar la muestra del molde se usa el extractor de muestras con la placa de 6” de diámetro.

Figura 3.40 Prensa de CBR

Cada molde se coloca en la prensa para lectura de sus resistencias en intervalos de tiempos



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.41 Lectura de la resistencia del suelo



Fuente: Elaboración propia

Se debe lecturas para los tres moldes de 56 ,25, 12 golpes.

A continuación, se muestra los resultados de los estudios realizados para los suelos, así como un resumen e información de cada suelo extraído.

Tabla 3.5 Resumen de los estudios

N.º	Procedencia B.	Granulometría				Límites			Clasif.		Proctor		CBR		Exp.
		Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	LP	IP	AASHTO	IG	D.max.	H.op.	100%	95%	
1	Florida	100	92.56	73.64	30.27	20.30	14	6.30	A - 2 - 4	0	2053	10.10	16.50	12.10	1.30
2	Lourdes	100	95.77	89.96	69.14	26.10	18.10	8	A - 4	7	2018	9.40	5.60	4.90	1.80
3	1 de Mayo	100	93.69	79.38	61.33	28.60	19.50	9	A - 4	5	1928	14.10	2.80	2.40	6.10
4	12 de Octubre	100	92.80	74.49	32.53	20.10	15	5.10	A - 2 - 4	0	2107	9.30	4.80	2.80	1.30
5	Villa Avaroa	100	83.01	64.61	30.88	38	33.10	4.90	A - 2 - 4	0	1476	25.90	4.60	3.30	1.30
6	San Pedro	100	99.16	92.69	69.92	16.70	11.40	5.30	A - 4	7	1932	12	4.70	3.20	1.40
7	San Marcos	100	85.00	68.76	38.98	21.70	7.80	13.90	A - 6	2	1945	11.50	17.60	8.70	2.40
8	San Bernardo	100	98.17	91.36	78.70	23.70	5.60	18.10	A - 6	11	1834	14.50	2.40	1.70	7.60
9	Laureles	100	98.63	92.93	77.05	24.10	18.30	5.90	A - 4	8	1905	12.70	2.40	1.60	6.60
10	Trigal	100	99.01	92.26	66.56	20.30	16.10	4.20	A - 4	6	1950	12.30	3.70	2.40	4.50
11	Constructor	100	98.31	90.26	76.72	27.80	17.50	10.20	A - 4	8	1834	14.10	2.10	1.60	7.30
12	Tarija La Nueva	100	96.55	92.15	84.30	29.40	19.60	9.70	A - 4	8	1876	14.60	2	1.30	7.50
13	La Pascua	100	99.07	97.59	90.91	27.70	19.30	8.40	A - 4	8	1859	13	1.30	1.00	6.90
14	2 de Enero	100	98.77	93.24	85.86	13.40	10.30	3.10	A - 4	8	1844	16.50	2.30	1.70	7.10
15	Santeresa	100	99.81	97.30	75.73	23.80	19.20	4.70	A - 4	8	1924	12.20	9.50	6.30	2.80

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.6 Resumen de los estudios

N.º	Procedencia B.	Granulometría				Límites			Clasif.		Proctor		CBR		Exp.
		Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	LL	LP	IP	AASHTO	IG	D.max.	H.op.	100%	95%	
16	Pampa Galanda	100	98.24	93.35	83.57	32.58	17	15.57	A - 6	10	1893.81	13.09	2.28	1.58	7.68
17	7 Septiembre	100	99.29	96.46	89.15	36.15	25.62	10.53	A - 6	8	1753.53	12.23	1.49	1.02	9.95
18	6 de Abril	100	98.54	93.93	85.56	29.74	16.36	13.38	A - 6	9	1891.76	13.28	2.23	1.51	6.52
19	Israel	100	98.17	91.45	77.21	25.54	18.35	7.20	A - 4	8	1875.72	12.56	2.37	1.66	6.90
20	Universo	100	97.16	87.43	73.85	29.31	20.57	8.75	A - 4	8	1872.51	13.51	2.96	1.88	6.52
21	Lourdes	100	98.61	93.03	87.45	35.50	19.80	15.8	A - 6	10	1745	12.30	1.30	0.90	10.10
22	B. Aeropuerto	100	98.61	95.84	59.96	19	16	3	A - 4	5	2030	10.50	18.80	10.80	2.10
23	B. 24 de Junio	100	99.78	99.42	86.84	28.70	22	6.70	A - 4	8	2234	11.30	2.80	2	6.10
24	B. San Jorgue I	100	100	100	94.30	31.10	23.90	7.20	A - 4	8	1873	13.80	1.90	1.80	5.70
25	Morros Blancos	100	100	100	97.14	43.80	27	16.70	A - 7 - 6	11	1813	14.20	2.70	1.60	6.90
26	Simon Bolivar	100	93.69	79.38	61.33	27.70	19.50	8.20	A - 4	5	1433	14.20	2.40	2	5.20
27	Pedro A. Flores	100	98.63	92.93	77.05	23.90	18.30	5.60	A - 4	8	1905	12.70	2.30	1.50	6.60
28	Juan XXIII	100	99.19	92.43	66.68	20.20	16.10	4.10	A - 4	6	2297	4.70	2.20	1.50	6.30
29	6 de Agosto	100	98.52	90.46	76.88	27.70	17.50	10.20	A - 4	8	1834	14.10	2	1.60	7.20
30	B. San Jose	100	99.90	97.40	75.80	23.80	19.20	4.70	A - 4	8	2291	4.30	9.40	6.10	2.60

Fuente: elaboración propia

Tabla 3.7 Resumen general

Procedencia	Límites			CBR
	LL	LP	IP	100%
B. Florida	20.30	13.98	6.31	16.51
B.Lourdes	26.13	18.14	7.99	5.64
B.1 de Mayo	28.56	19.55	9.02	2.83
B.12 de Octubre	20.12	14.98	5.14	4.80
B.Villa Avaroa	37.99	33.11	4.89	4.57
B.San Pedro	14	11.40	5.32	4.66
B.San Marcos	21.70	7.78	13.92	17.62
B.San Bernardo	23.73	5.63	18.09	2.43
B.Laureles	24.13	18.27	5.86	2.39
B.Trigal	20.29	16.08	4.21	3.67
B.Constructor	27.76	17.52	10.24	2.07
B.Tarija La Nueva	29.38	19.63	9.75	1.97
B.La Pascua	27.66	19.29	8.37	1.34
B. 2 de Enero	13.45	10.34	3.11	2.33
B. Santeresa	23.84	19.15	4.68	9.49
Pampa Galanda	28	17	15.57	2.28
B. 7 Septiembre	36.15	25.62	10.53	1.49
B. 6 de Abril	29.74	16.36	13.38	2.23
B. Israel	25.54	18.35	7.20	2.37
B.Universo	29.31	20.57	8.75	2.96
B.Lourdes	35.53	19.76	15.77	1.33
B. Aeropuerto	19	16.04	2.96	18.84
B. 24 de Junio	28.71	21.98	6.73	2.84
B. San Jorgue I	31.14	23.94	7.20	1.91
Morros Blancos	43.76	27.04	16.71	2.71
Simon Bolivar	27.72	19.55	8.18	2.38
Pedro A. Flores	23.86	18.27	5.59	2.31
Juan XXIII	20.17	16.08	4.10	2.20
6 de Agosto	27.68	17.52	10.16	2
B. San Jose	23.84	19.15	4.69	9.40

Fuente: elaboración propia

Los cálculos realizados todos cumpliendo las normativas de los ensayos mencionadas previamente, así como los valores obtenidos son coherentes y reariales.

A través de esta información se realizará la correlación entre los límites Atterberg de y CBR

CAPÍTULO IV
PROCESAMIENTO Y
VALIDACIÓN DE
RESULTADOS

CAPÍTULO IV

PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Dispersión de puntos

A través del gráfico de dispersión se podrá apreciar visualmente si se puede asumir un modelo lineal entre ambas variables.

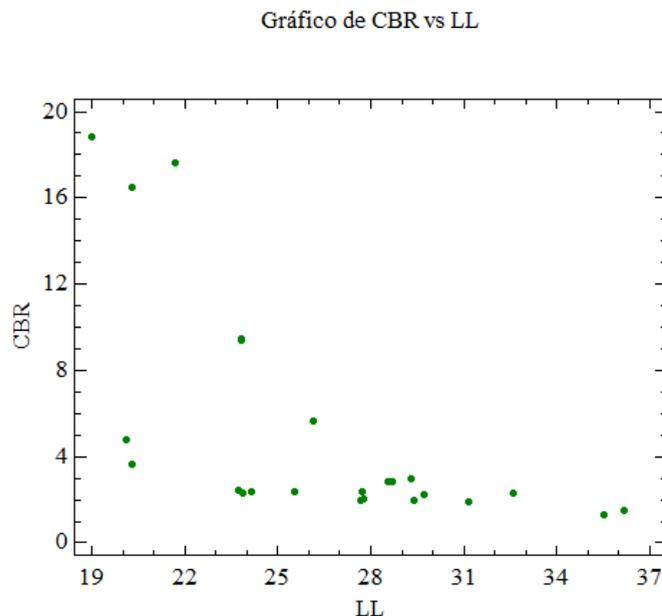
El diagrama de dispersión o nube de puntos permite obtener información sobre el tipo de relación existente entre dos variables y sirve para detectar posibles datos atípicos o valores extremos.

Tabla 4 Datos para procesar

LL	LP	IP	CBR
20.30	13.98	6.31	16.51
26.13	18.14	7.99	5.64
28.56	19.55	9.02	2.83
11.4	14	5.14	4.66
23.73	5.63	18.09	2.43
24.13	18.27	5.86	2.39
20.29	16.08	4.21	3.67
27.76	17.52	10.24	2.07
29.38	19.63	9.75	1.97
23.84	19.15	4.68	9.49
28	17	15.57	2.28
36.15	25.62	10.53	1.49
29.74	16.36	13.38	2.23
25.54	18.35	7.20	2.37
29.31	20.57	8.75	2.96
35.53	19.76	15.77	1.33
19.00	16.04	2.96	18.84
28.71	21.98	6.73	2.84
31.14	23.94	7.20	1.91
27.72	19.55	8.18	2.38
23.86	18.27	5.59	231
20.17	16.08	4.10	2.20
27.68	17.52	10.16	2
23.84	19.15	4.69	9.4

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2 Diagrama de dispersión CBR vs LL



Fuente: Elaboración propia

Interpretación: Podemos observar en los gráficos de dispersión que no hay una línea de tendencia clara a la vez podemos apreciar que hay unos valores que están muy dispersos

Ciertos valores del CBR son altos y están más dispersos comparado con la mayoría de esto es debido a que tenemos unos suelos grueso A-2-4 y nuestro objetivo es trabajar con suelos finos plásticos con la condición de baja a media compresibilidad por ello para la regresión se descartara dicho suelo.

4.2 Regresión múltiple

A través del análisis del diagrama de dispersión se optará por una regresión múltiple con la ayuda de Statgraphics para obtener la regresión más adecuada de acuerdo a la información procesada

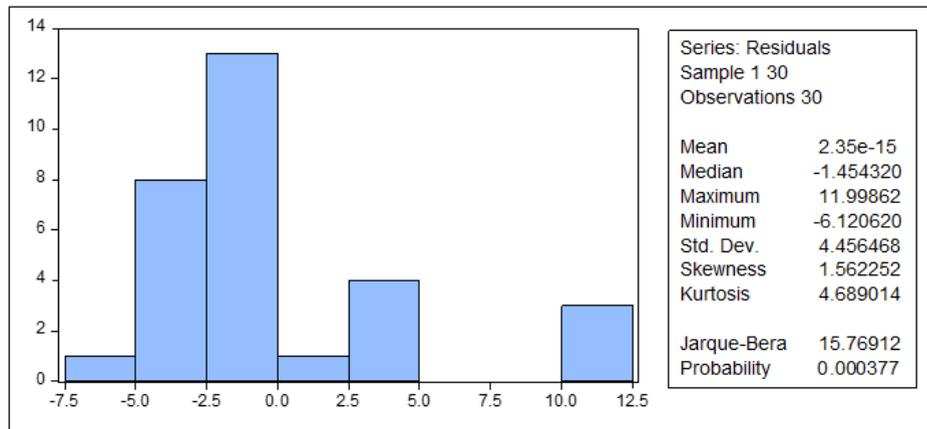
Tabla 4.1 Datos para la regresión múltiple

LL	LP	CBR
28.56	19.55	2.83
14	11.4	4.66
23.73	5.63	2.43
24.13	18.27	2.39
20.29	16.08	3.67
27.76	17.52	2.07
29.38	19.63	1.97
28.02	17.02	2.28
36.15	25.62	1.49
29.74	16.36	2.23
25.54	18.35	2.37
35.53	19.76	1.33
28.71	21.98	2.84
31.14	23.94	1.91
27.72	19.55	2.38
23.86	18.27	2.31
27.68	17.52	2
23.84	19.15	2.21

Fuente: Elaboración propia

4.3 Histograma LL y CBR

Figura 4.3 Histograma



Fuente: Elaboración propia

Media = el valor promedio de los residuos es de 2.35 %

Mediana = -1.45 es el valor por el cual se encuentra el 50% por encima y el otro 50% por debajo

Desvió estándar = 4.46 el desvió estándar respecto a la media de los residuos es de 4.45 %

4.4 Regresión Múltiple CBR

Regresión Múltiple - CBR

CBR = Relación Soporte California

LL = Limite liquido

LP = Limite plástico

Tabla 4.2 Regresión Múltiple

Parámetro	Estimación	Error	Estadístico	Valor-P
		Estándar	T	
CONSTANTE	5.92069	0.495064	11.9594	0.0000
LP	0.0365066	0.0279584	1.30575	0.2127
LL	-0.15301	0.0240302	-6.36742	0.0000

Fuente: Elaboración propia en Statgraphics

Tabla 4.3 Análisis de Varianza

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	7.87306	2	3.93653	28.42	0.0000
Residuo	1.93892	14	0.138494		
Total (Corr.)	9.81198	16			

Fuente: Elaboración propia en Statgraphics

R-cuadrada = 80.2393 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 77.42%

$r = 0.88$

Error estándar del est. = 0.372148

Error absoluto medio = 0.280331

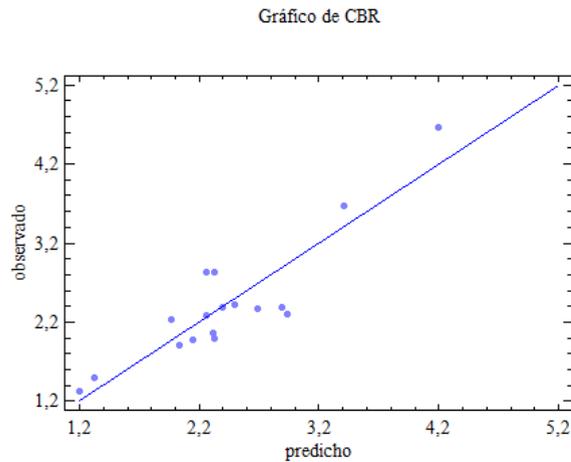
$$\text{CBR} = 5.92069 + 0.0365066 * \text{LP} - 0.15301 * \text{LL}$$

4.4.1 Diagnóstico de la regresión

Análisis residual

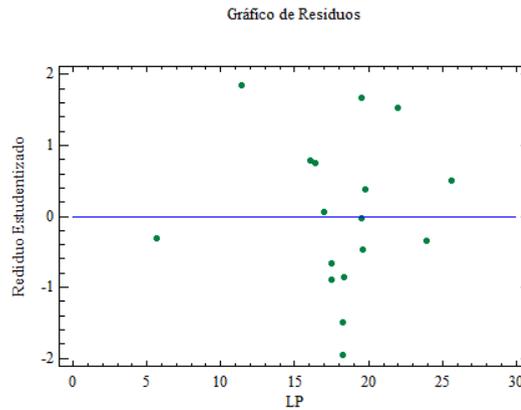
El análisis residual permite evaluar lo adecuado del modelo de regresión que ha sido ajustado a los datos. También para detectar si los supuestos se cumplen.

Figura 4.4 Observados vs predichos



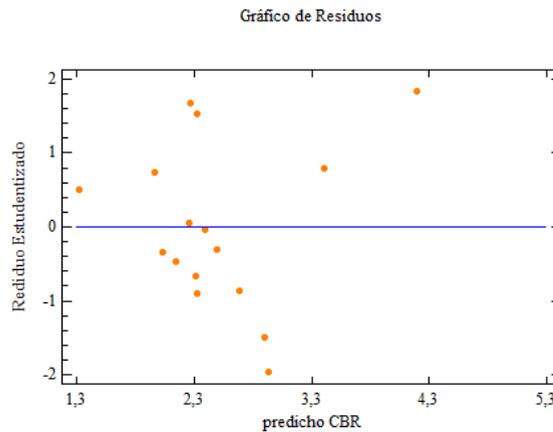
Fuente: Elaboración propia en Statgraphics

Figura 4.5 Grafico de residuos LP



Fuente: Elaboración propia en Statgraphics

Figura 4.6 Grafico de residuos CBR



Fuente: Elaboración propia en Statgraphics

El valor-P en la tabla es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre CBR y LL con un nivel de confianza del 95.0%.

El error absoluto medio (MAE) de 0.0954148 es el valor promedio de los residuos.

El estadístico de Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si

hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se presentan en el archivo de datos.

4.4.2 Hipótesis de la investigación

Valor de r (+/-)	Interpretación
0.00	Ausencia de correlación lineal
0.10 a 0.19	Correlación lineal significativa
0.20 a 0.39	Correlación lineal baja-leve
0.40 a 0.69	Correlación lineal moderada
0.70 a 0.99	Correlación lineal alta a muy alta
1	Función lineal perfecta

$$r = 0.88$$

Existe un elevado nivel de relación entre los límites de Atterberg y los valores máximos del CBR

Conclusiones de la hipótesis

Podemos verificar que se cumple con la hipótesis de la investigación la regresión es 0.88 nos indica una correlación alta, así como el uso de esta ecuación solo es aplicable para suelos plásticos con la condición de media a baja comprensibilidad (A-4 y A-6) con suelo que pase más del 60% el tamiz N°200

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- A través del diagrama de dispersión se descartó el suelo grueso debido a que el comportamiento de los suelos de alta plasticidad distorsiona los resultados
- Se trabajo con suelos plásticos de baja a media compresibilidad
- La regresión múltiple es aceptable por los resultados expuestos
- La regresión $r = 0.88$ que esta sobre el rango mínimo aceptable
- El nivel de regresión es alto entre los límites de Atterberg y el valor máximo de CBR según los rangos de regresión
- Los suelos estudiados tienen plasticidad muy pobre a regular ya que pertenecen a suelos de baja plasticidad
- Los CBR de estudio pertenecen a subrasantes con CBR no mayores a 20%
- A través de la correlación entre los límites de Atterberg y el CBR obtenidos una ecuación significativa con elevado nivel de relación

5.2 Recomendaciones

- La ecuación es aplicable para suelos plásticos de baja a media compresibilidad (A-4 y A-6)
- La ecuación solo predice un valor teórico del CBR en un rango de confianza verificado durante los cálculos
- Se recomienda continuar de forma independiente con el estudio con suelos plásticos de alta compresibilidad
- Si el intervalo de confianza están dentro los rangos de $+2,-2$ la ecuación es recomendable

Bibliografía

- Araujo, W. (2014). Ecuaciones de correlación de CBR con propiedades índice de suelos para la ciudad de Piura. Tesis de pregrado no publicado en Ingeniería Civil, Universidad de Piura. Facultad Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.
- Albeiro, W. (2013). Correlación del Valor de Soporte de California (CBR) con la Resistencia a la Compresión Inconfinada y la Plasticidad del suelo. Tesis de pregrado no publicado en Ingeniería Civil, Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil y Geomática. Santiago de Cali.
- Araujo, A. y Gandur, M. (2008) Statgraphics. Universidad Nacional Colombia Facultad de ciencias Económicas Unidad de Informática y comunicación Bogotá D.C.
- Blaitta, J y Delieutraz, P. (2004) Teorema Central del Límite. Universidad de Buenos Aires Facultad de ciencias Exactas y Naturales.
- Gujarati, D. y Porter, D. (2006) Econometría. Quinta edición. Editor ISBN: 978-607-15-0294-0.
- Huanca, C. (2018) Guía de ensayos de laboratorio de mecánica de suelo. Trabajo de aplicación para obtener el título de licenciatura. Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Tecnología Construcciones Civiles.
- Laguna, C. (2015). Correlación y Regresión Lineal. Diplomado en Salud Pública. Instituto de Aragonés de Ciencias de la Salud.
- Laboratorio de suelos Civ-341 y Civ-342. (2008) Guías de laboratorio de Suelos. Univocidad autónoma Juan Misael Saracho.
- Ministerio del Ambiente. (2013) Guía para muestreo de suelos. En el marco del Decreto Supremo N°002-2013-MINAM.
- Ruiz, M. (2006) Correlación empírica de C.B.R vs Plasticidad aplicada a la ciudad de Tarija. Tesis de pregrado en Ingeniería Civil. Universidad de Tarija Bolivia. Programa Académico de Ingeniería Civil UAJMS.
- Teorema central del límite (TCL).
<https://economipedia.com/definiciones/teorema-central-del-limite.html>