

CAPÍTULO I



INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Al correlacionar los parámetros granulométricos y los valores de C.B.R., es necesario conocer el tipo de suelo que va a influir, para ello tomamos en cuenta el tipo de suelo según la norma AASHTO.

Existen diferentes tipos de suelos en todo el departamento de Tarija, de los cuales la subcuenca San Lorenzo-Victoria es considerada por sus cuatro ríos para la extracción del suelo granular. La curva semilogarítmica de la granulometría es afectada por el tipo de suelo, considerando que solo los suelos granulares serán utilizados, para esta investigación se tomará en cuenta su composición que según eso tendremos diferentes valores de C.B.R.

El C.B.R. es un proceso que requiere que el suelo esté compactado a su densidad máxima, lo que implica que es necesario conocer datos de la compactación T-180 en los parámetros de la densidad máxima y su humedad óptima. Los valores de C.B.R. cercanos a 0% representan, los suelos de pobre calidad (es decir que no poseen una buena resistencia a esfuerzos cortantes), mientras que los más cercanos a 100% son indicativos de la mejor calidad.

Es importante saber que el resultado del coeficiente de correlación oscila entre -1 y +1. Cuanto más cerca de 1 se sitúe su valor, mayor será el ajuste del modelo a la variable que estamos intentando explicar. De forma inversa, cuanto más cerca de cero, menos ajustado estará el modelo y, por tanto, menos fiable será.

Las prácticas serán realizadas en laboratorios de la misma universidad, estos resultados serán útiles para encontrar un posible valor a corto tiempo con solo sacar la granulometría, por lo que al correlacionar los parámetros granulométricos y C.B.R. servirán para conocer los rangos de aplicabilidad que habrá entre los laboratorios.

1.2. Justificación

El presente proyecto es correlacionar los parámetros granulométricos con valores de C.B.R. en suelos granulares, para determinar el coeficiente de correlación que puede variar entre -1 y +1.

Mientras más influya la curva de la granulometría, obtendrá un valor de C.B.R., según estos datos podremos encontrar una expresión matemática gracias a la estadística correlacional. Existe otro método para encontrar el nivel de vinculación como la modificación del tamaño máximo de agregado, pero en este caso no se obtendrá esos resultados.

En la actualidad estimar el valor de C.B.R. en laboratorio puede resultar que el tiempo es largo para la obtención de resultados.

1.3.Situación problémica

La ciudad de Tarija cuenta con diferentes tipos de suelos por la cual debemos conocer con qué tipo de suelo según su clasificación, tomando en cuenta el lugar, el clima y las características que presenta los materiales.

Los rangos de granulometría son necesarios para tener una aproximación del resultado que se quiere llegar, actualmente no se cuenta con un estudio o investigación que respalde los valores de granulometría y valores de C.B.R. para los diferentes suelos usados en construcción de obras viales, de esta manera se realizan los ensayos en laboratorio, considerando el tiempo que es importante.

El problema está basado en tiempo presente, el cual los suelos aluviales serán extraídos de distintos ríos, realizando los ensayos granulométricos conoceremos su composición de la muestra de suelo, aparte de ello se realiza su respectivo ensayo de C.B.R.

1.3.1. Problema

Después de exponer la situación problemática podemos definir el siguiente problema, ¿Como correlacionar los parámetros granulométricos y valores del C.B.R. de suelos granulares en la provincia Méndez, para establecer la confiabilidad entre los mismos?

1.3.2. Relevancia y factibilidad del problema

Es necesario realizar la correlación entre los parámetros granulométricos y valores de C.B.R., porque a futuro la granulometría con suelos granulares servirá de aproximación establecer el valor de C.B.R.

1.3.3. Delimitación temporal y espacial del problema

Delimitación temporal:

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

Delimitación espacial:

Suelos aluviales de la subcuenca de San Lorenzo - La Victoria de la provincia Méndez.

1.4. Objetivos

Los objetivos planteados para la siguiente investigación se dividen en dos partes, como primero el objetivo general, formulado de la siguiente manera:

1.4.1. Objetivo general

Correlacionar los parámetros granulométricos y C.B.R. de suelos granulares en la provincia Méndez; mediante un análisis estadístico correlacional; para establecer la confiabilidad en los diseños ingenieriles.

Y por objetivos específicos tenemos los siguientes:

1.4.2. Objetivos específicos

- ✓ Extraer y caracterizar las muestras de suelo.
- ✓ Determinar el contenido de humedad óptimo y densidad máxima de cada muestra.
- ✓ Realizar el ensayo de C.B.R. de las muestras.
- ✓ Correlacionar los parámetros granulométricos con los valores de C.B.R.
- ✓ Validar los resultados.
- ✓ Elaborar conclusiones y recomendaciones.

1.5. Hipótesis

Si, al correlacionar los parámetros granulométricos y C.B.R. de suelos granulares en la provincia Méndez, mediante un análisis estadístico correlacional, se podrán establecer expresiones matemáticas que servirán en los diseños ingenieriles.

1.6. Operacionalización de las variables

La operacionalización de las variables se conforma por independientes y dependientes, que se presentarán a continuación.

1.6.1. Variable independiente

La variable independiente de la investigación está basada por los parámetros granulométricos que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1.1. Variable independiente

Variable independiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Parámetros granulométricos	Se refiere a la alteración de la gráfica según el tamaño máximo.	Diámetro de tamiz.	Porcentaje (%)	Abertura de cada tamiz porque que pasa o es retenida los suelos.
		Suelo retenido.	Porcentaje (%)	Distribución del suelo en los tamices.
		Resultado y curvas.	Informe	Proceso de cálculos.
		Cu	Porcentaje (%/%)	Evalúa la uniformidad del tamaño de las partículas de un suelo.
		Cc	Porcentaje (%/%)	Mide el grado de curvatura de la granulometría.

Fuente: Elaboración propia.

1.6.2. Variable dependiente

La variable dependiente se conforma por el ensayo de C.B.R. que se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 1.2. Elaboración dependiente

Variable dependiente	Concepto	Dimensión	Indicador	Valor/acción
C.B.R.	Es un indicador del esfuerzo cortante o de punzonamiento en subrasantes, subbases y bases.	Humedad óptima.	Porcentaje (%)	Valor extraído de la curva de compactación de las mezclas.
		Densidad máxima.	(g/cm ³)	Valor extraído de la curva de compactación de las mezclas.
		Procedimiento o del C.B.R.	Datos durante el proceso	Acciones coordinadas según la normativa.
		Prueba del C.B.R.	(kg/cm ²)	Correr el C.B.R. en la prensa hidráulica con anilla dinamométrico calibrado.
		Resultado y curvas.	Informe final	Proceso de cálculos.

Fuente: Elaboración propia.

1.7. Identificación del tipo de Investigación

Este presente proyecto es una investigación de tipo correlacional, las variables dependerán una de la otra, para conocer la composición de la muestra de suelo realiza el ensayo de la granulometría y a partir de eso también conoceremos el valor de C.B.R., como resultado obtendrán expresiones matemáticas.

1.8. Unidades de estudio y decisión muestral

Las unidades de estudio que se presentara a continuación de la presente investigación son los siguientes:

1.8.1. Unidad de estudio

La unidad de estudio del presente trabajo de investigación es única, el suelo puede ser utilizado para la construcción de una carretera. La unidad o el área de estudio es la

composición que lo conforma por ello se realiza la granulometría de las muestras, en este caso para diferentes suelos granulares.

1.8.2. Población

La población escogida para este estudio corresponde a suelos granulares de la subcuenca San Lorenzo – La Victoria ubicada en el municipio de San Lorenzo de la provincia Méndez que comprende la Alta Cuenca del Guadalquivir por su margen derecha (oeste).

1.8.3. Muestra

La muestra seleccionada para esta investigación consta de los ríos Calama, Erquis, La Victoria y Pajchani. Para el muestreo se extraerá el suelo para realizar los ensayos respectivos en laboratorio.

1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo

La selección de muestreo es estadística y una técnica para la selección de una muestra a partir de una población. El muestreo que se pretende obtener es suelo granular, la cantidad del suelo necesario para poder realizar el estudio en laboratorio será extraída de los bancos de suelo.

1.9. Métodos y técnicas empleadas

Los métodos se definen en dos partes, métodos empíricos y métodos teóricos; y por técnicas se dividen en investigación bibliográfica y de campo, lo cual se presenta en los siguientes puntos:

1.9.1. Métodos

Los métodos empleados en la investigación son empíricos porque se realizarán ensayos en el laboratorio para observar las variables, por otro lado, también se realizan métodos teóricos a base de la bibliografía se deducirá el análisis de los resultados.

1.9.2. Técnicas

Las dos técnicas empleadas tanto como la investigación bibliográfica que se va a estudiar los conceptos, definiciones y normas a base del tema; y la investigación de campo se va a recopilar información en el laboratorio según la elaboración de los ensayos.

1.10. Procesamiento de la información

La determinación del modelo matemático a base de un análisis de estadístico, correlacional.

1.11. Alcance de la investigación

El proyecto consiste en correlacionar los parámetros granulométricos y valor de C.B.R., considerando los siguientes ríos (Calama, Erquis, La Victoria y Pajchani) de la subcuenca San Lorenzo-Victoria en la provincia Méndez.

Para hacer la correlación, las propiedades de los materiales se conocen mediante la extracción de las muestras, llevando a laboratorio realizamos el ensayo de la granulometría para determinar la curva granulométrica y sus parámetros, determinando su caracterización según el método AASHTO, tendremos suelos de tipo A-1-a, cada muestra tendrá su respectivo laboratorio, obteniendo una correlación, como fin se determinará modelos matemáticos respecto de todas las muestras extraídas.

CAPÍTULO II



PARÁMETROS

GRANULOMÉTRICOS Y C.B.R. EN SUELOS GRANULARES

CAPÍTULO II

PARÁMETROS GRANULOMÉTRICOS Y C.B.R. EN SUELOS GRANULARES

Se define suelo como un sustrato físico sobre el cual se realizan las obras, del que importan las propiedades físico-químicas, especialmente las propiedades mecánicas. Lo considera como un sistema multifase por estar compuesto de sólidos, líquidos y gases. Entre los parámetros de identificación son los más significativos la granulometría (distribución de los tamaños de grano que constituyen el agregado) y la plasticidad (la variación de consistencia del agregado en función del contenido en agua). El tamaño de las partículas va desde los tamaños granulares conocidos como gravas y arenas, hasta los finos como la arcilla y el limo. Las variaciones en la consistencia del suelo en función del contenido en agua diferencian también las mencionadas clases granulométricas principales. Los parámetros de estado fundamentales son la humedad (contenido en agua del agregado), y la densidad, referida al grado de compacidad que muestren las partículas constituyentes. (Pérez Alamá, 2004)

2.1. Suelos granulares

Los suelos granulares se definen como aquellos en los cuales las fuerzas intergranulares o atractivas tienen un efecto despreciable en el comportamiento mecánico observado. Esta categoría engloba a rocas, gravas y arenas. Basados en el estado de tensiones y en la estructura del suelo, normalmente definidos en función de la densidad relativa “Dr”, del índice de huecos “e” o de la porosidad “n”, los suelos granulares además se clasifican en materiales densos o sueltos. Además, son suelos que no poseen ninguna cohesión, y consisten en rocas, gravas y limos. (Ocas de la Cruz, 2013)

En cambio, en los suelos cohesivos las fuerzas intergranulares o atractivas tienen un efecto significativo en el comportamiento mecánico observado. Esta categoría incluye a suelos de tipo arcilloso y limos. Son suelos no cohesivos, por lo cual las partículas no tienden a juntarse ni adherirse, sus partículas son relativamente grandes.

2.1.1. Comportamiento de suelos granulares

Los suelos son materiales complejos que exhiben un rango amplio de comportamientos mecánicos que dependen de la composición y estructura del suelo, del historial de

tensiones, de la densidad y de las características de la fuerza aplicada. Así como también debe considerarse otros factores como porosidad y peso específico. Esta variedad de factores permite conocer los comportamientos del suelo. Además, la rigidez de un material granular está en la relación esfuerzo deformación, es decir el comportamiento mecánico del material depende de las propiedades granulométricas del material, también tiene un efecto ante el fluido ya que se introduce dentro de sus poros al que conocemos como un suelo saturado. (Lizcano, 2007)

Normalmente, son buenos como terreno de cimentación, sobre todo si su compacidad es media o alta, y el espesor suficiente. No resisten tracciones, y su resistencia al corte, sólo es apreciable a partir de una cierta profundidad, ya que el propio peso hace aumentar el rozamiento entre los granos.

Las propiedades relevantes de los suelos granulares para los estudios geotécnicos son:

- ✓ Estado natural del suelo (humedad, densidad).
- ✓ Resistencia mecánica.
- ✓ Deformabilidad.

Por otra parte, para la toma de muestras deben considerarse otros factores, a saber:

- ✓ Porosidad.
- ✓ Índice de huecos.
- ✓ Peso específico relativo.

2.2. Parámetros granulométricos

Los parámetros granulométricos se obtienen a partir de la distribución granulométrica de la muestra mediante la aplicación de métodos de cálculo.

2.2.1. Granulometría

Según este sistema, los suelos se dividen en tres grupos principales: de grano grueso, de grano fino y altamente orgánico (suelos-turbas).

Los suelos de grano grueso se dividen en gravas (G) y arenas (S) según tengan más o menos del 50% de granos visibles retenidos en el tamiz N°4 (mayores a 1mm). (Terzaghi & Ralph B. Peck, 1973)

En la siguiente tabla se muestra la denominación que reciben las partículas según la fracción dominante.

Denominación		Tamaño	Tamiz	Clasificación	
Suelos granulares	Bloque	> 200		Grava > 2 mm. Arena 2 – 0.06 mm. Limo 0.06 – 0.002 mm. Arcilla < 0.002 mm.	
	Bolo	200 – 76.2			
	Grava	Gruesa	50.8 -19.05		2" - 3/4"
		Media	19.05 – 4.8		3/4" - N°4
		Fina	4.8 - 2		N°4 - N°10
	Arena	Gruesa	2 – 0.43		N°10 - N°40
Fina		0.43 – 0.075	N°40 - N°200		
Suelos finos	Limos	0.075 – 0.002	Límites de Atterberg		
	Arcillas	< 0.002			

La separación de las partículas de los distintos tamaños de los suelos en el campo y laboratorio, y la determinación relativa de su proporción relativa en el total de la muestra, se realiza siguiendo los siguientes aspectos, basados en el tamaño de los granos y en las claves de la experiencia:

Gravas	Granos de roca firme de tamaño mayor al milimétrico
Arena	Se ven los granos individuales No tiene plasticidad Es fácil de romper cuando está seco
Limo	Se ven sólo algunas partículas Presenta asperidad Es fácil de romper o desmenuzar Poca o alguna plasticidad
Arcilla	Las partículas individuales no se ven Aspecto suave Difícil de romper cuando está seco Presenta plasticidad

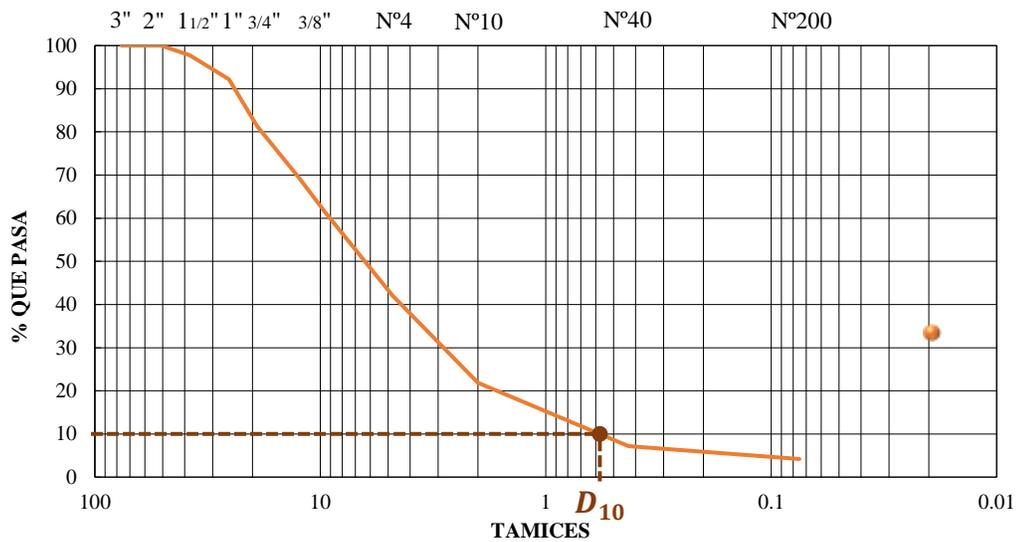
La granulometría por tamizado consiste en confeccionar la curva granulométrica de una muestra, la cual es representativa de la distribución de los tamaños de las partículas. Para ello se hace pasar una muestra ya sea inalterada o alterada por tamices o mallas por vía seca con diferentes aberturas, desde aberturas de 125 mm hasta aberturas de 0.075 mm (tamiz N°200). Para tamaños de partículas inferiores se emplea la granulometría por

sedimentación mediante el higrómetro. Este ensayo es menos común que el anterior y normalmente se emplea en casos muy específicos donde es necesario determinar el porcentaje de partículas finas. (Geotecnia Facil, s.f.)

Diámetro efectivo (D_{10})

El diámetro efectivo es el tamaño de partícula de suelo o agregado para el cual el 10% de ese material, en peso, tiene un tamaño menor, y corresponde a $P = 10\%$ de la curva granulométrica, de modo que el 10 % de las partículas son más finas que D_{10} , y el 90% más grueso. (Salgado, 2016)

Gráfica 2.1. Curva granulométrica del río Pajchani (6).

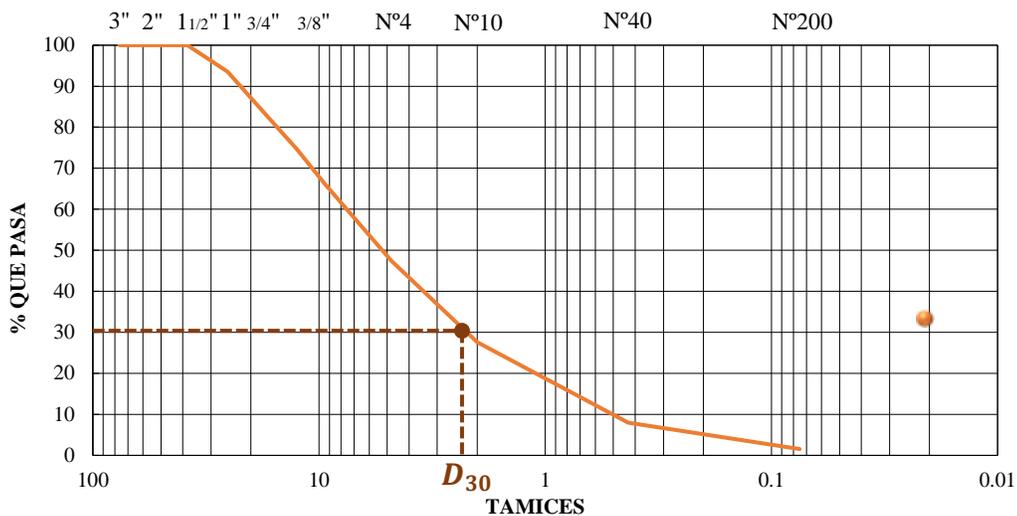


Fuente: Elaboración propia.

Diámetro equiparable (D_{30})

El diámetro equiparable es el tamaño del grupo de partículas que representan al 30% del material que pasa expresado en milímetros (D_{30}).

Gráfica 2.2. Curva granulométrica del río La Victoria (7).

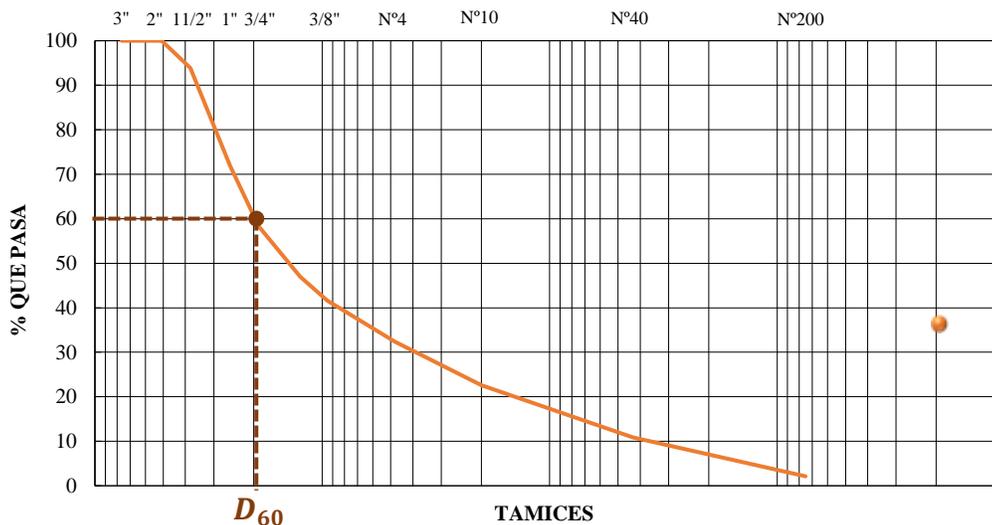


Fuente: Elaboración propia.

Diámetro dimensional (D_{60})

El diámetro dimensional está representado en milímetros (mm) y corresponde al tamaño de las partículas que representa el 60% del material que pasa.

Gráfica 2.3. Curva granulométrica del río Erquis (10).



Fuente: Elaboración propia.

2.2.2. El coeficiente de uniformidad (C_u)

El coeficiente de uniformidad, definido originalmente por Terzaghi y Peck, se utiliza para medir la uniformidad del tamaño de las partículas de una muestra de suelo. Se conoce como la relación que existe entre el 60% del peso del material y el diámetro por el cual pasa el 10% de la muestra de suelo.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

D_{60} = Diámetro máximo de partícula correspondiente al 60% más fino en la curva granulométrica.

D_{10} = Diámetro máximo de partícula correspondiente al 10% más fino de la curva granulométrica.

Como resultado se tiene una cantidad adimensional que, si es menor que 5 ($C_u < 5$) se considera uniforme, si se encuentra entre 5 y 20 ($5 < C_u < 20$) se dice que el suelo es poco uniforme y si es mayor que 20 ($C_u > 20$) se dice que el suelo se encuentra gradado. (Salgado, 2016)

2.2.3. El coeficiente de curvatura (C_c)

Es un indicador del equilibrio relativo existente entre los intervalos de los tamaños de las partículas en una muestra de suelo, Además de medir el grado de la curvatura de la granulometría. Se calcula dividiendo el diámetro máximo del 30% de las partículas de suelo al cuadrado entre el 60% del diámetro máximo multiplicado por el 10% del diámetro máximo del suelo más fino. (Salgado, 2016)

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}}$$

Donde:

D_{30} = Diámetro máximo de partícula correspondiente al 30% más fino en la curva granulométrica.

D_{60} = Diámetro máximo de partícula correspondiente al 60% más fino en la curva granulométrica.

D_{10} = Diámetro máximo de partícula correspondiente al 10% más fino de la curva granulométrica.

Los suelos bien gradados deben cumplir que el coeficiente de curvatura debe estar entre $1 \leq C_c \leq 3$.

2.3. Clasificación AASHTO

El sistema AASHTO de clasificación de suelos fue desarrollado en 1929 por el Public Road Administration System. Este sistema experimentó varias revisiones, con la presente versión propuesta por el comité on Classification of Materials for grades and Granular Type Roads of the Highway Research Board en 1975 (ASTM designation D-3282; AASHTO meted M145).

La clasificación AASHTO usada actualmente está dada en la tabla 2.1.. De acuerdo con este sistema, el suelo es clasificado en siete grupos principales: A-1 hasta A-7 según su granulometría y plasticidad. Más concretamente, en función del porcentaje que pasa por los tamices N° 200, 40 y 10; y de los Límites de Atterberg de la fracción que pasa por el tamiz N°40. Estos siete grupos se corresponden a: suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz N° 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz N° 200).

La categoría de los suelos granulares; gravas, arenas y zahorras; está compuesta por los grupos A-1, A-2 y A-3, y su comportamiento en explanadas es, en general, de bueno a excelente, salvo los subgrupos A-2-6 y A-2-7, que se comportan como los suelos arcillosos debido a la alta plasticidad de los finos que contiene, siempre que el porcentaje de estos supere el 15%.

La clasificación realizada de esta manera se complementa con el índice de grupo, que permita caracterizar mejor cada suelo dentro de los grupos, ya que estos admiten suelos con porcentajes de finos y plasticidad muy diferentes. El índice de grupo se obtiene mediante la siguiente expresión:

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

Donde:

F = Porcentaje en peso que pasa por el tamiz N°200.

LL = Límite líquido.

IP = Índice de plasticidad

El índice de grupo se expresa en números enteros positivos (un número negativo se expresará como $IG = 0$) y se escribe entre paréntesis a continuación de los símbolos de grupo o subgrupo correspondientes, por ejemplo A-2-4₍₀₎. Generalmente cuanto menor es el IG de un suelo, mejores son las cualidades del suelo como explanada o capa de asiento del firme. Los suelos de los grupos A-1, A-3, A-2-4 y A-2-5, que pueden calificarse de buenos a excelentes, tienen un $IG = 0$. Un $IG = 20$ o mayor corresponde a un suelo de muy mala calidad, en condiciones medias de drenaje y compactación.

Tabla 2.1. Clasificación de suelos según AASHTO

Clasificación general	Materiales granulares (Igual o menor del 35% pasa por el tamiz N° 200)							Materiales limo-arcillosos (Más del 35% que pasa por el tamiz N° 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5
% que pasa el tamiz N° 10	50 máx.										
% que pasa el tamiz N° 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.								
% que pasa el tamiz N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Características del material que pasa el tamiz N° 40											
Límite líquido			NO PLÁSTICO	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 máx.
Índice de plasticidad	6 máx.	6 máx.		10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Tipos de material	Fragmentos de piedra grava y Arena.		Arena fina	Grava, arenas limosas y arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Terreno de fundación	Excelente a bueno						Regular a deficiente				

Fuente: Guía de ensayos. Laboratorio de Suelos, UAJMS.

2.3.1. Material granular con 35% o menos del total que pasa el tamiz N°200

Grupo A-1: Son mezclas bien graduadas, compuestas por piedra, grava, arena y poco o casi nada de material fino.

Subgrupo A-1-a: Es bien graduado, predomina la piedra y grava, casi no tiene ligante.

Subgrupo A-1-b: Es bien graduado, predomina las arenas gruesas, casi no tiene ligante.

Estos materiales generalmente se encuentran en ríos y quebradas.

Grupo A-2: Contiene menos del 35% del material fino.

Subgrupo A-2-4 y A-2-5: El contenido de material fino es menor o igual al 35%, la fracción que pasa el tamiz N°40, se comporta igual a los grupos A-4 y A-5 respectivamente.

Son gravas y arenas (arenas gruesas), que contiene limo y arcilla en cantidades reducidas, cuya plasticidad es baja, pero que excede al Grupo A-1, también incluye la arena fina con limos no plásticos que se describirán en el grupo A-3.

Subgrupo A-2-6 y A-2-7: La única diferencia de los grupos anteriores, es que la fracción que pasa el tamiz N°40, se comporta en plasticidad al igual a los grupos A-5 y A-7.

Grupo A-3: Son arenas finas conteniendo limos no plásticos, algunas veces pueden contener poca grava y arena gruesa.

2.4. Compactación de suelo

Existen varias definiciones para la compactación de los suelos:

La compactación viene a ser la operación previa, para aumentar la resistencia superficial de un terreno sobre el cual deba construirse una carretera y otra obra. Aplicando una cantidad de energía la cual es necesaria para producir una disminución apreciable del volumen de hueco del material utilizado. La compactación presenta los siguientes objetivos:

- Debe tener suficiente resistencia para soportar con seguridad su propio peso y el de la estructura o las cargas de las ruedas.

- No debe asentarse o deformarse tanto, por efecto de la carga, que se dañe el suelo o la estructura que soporta.
- No debe ni retraerse ni expandirse excesivamente.
- Debe conservar siempre su resistencia e incompresibilidad.
- Debe tener la permeabilidad apropiada o las características de drenaje para su función (Luengo, 1998).

La compactación es la densificación del suelo por remoción de aire, ya que requiere energía mecánica. También es un proceso por el cual se obliga a las partículas a ponerse más en contacto unas con otra. Se realiza generalmente por medios mecánicos, produciéndose la expulsión del aire de los poros.

La compactación se mide cuantitativamente por la densidad seca del suelo (peso de las partículas sólidas del suelo por unidad de volumen, $[g/cm^3]$). La humedad del suelo es el peso del agua que contiene, expresado con respecto al peso del suelo seco. La densidad seca se puede determinar entonces, a partir de determinar la densidad húmeda del suelo y su porcentaje de humedad (Paramo, 2002)

2.4.1. Influencia de la compactación en diferentes tipos de suelos

Tiene influencia la granulometría del suelo, la forma de sus partículas, el contenido de finos, la cantidad y el tipo de minerales arcillosos, la gravedad específica, entre otros. De acuerdo a la naturaleza del suelo, se aplicarán técnicas adecuadas en el proceso de compactación. En el laboratorio, un suelo grueso alcanzará densidades secas altas para contenidos óptimos de humedad bajos, en cambio los suelos finos presentan valores bajos de densidades secas máximas y altos contenidos óptimos de humedad. La compactación en diferentes tipos de suelos es explicada a continuación por Terzaghi y Peck. (Terzaghi & Peck, 1986)

Compactación en suelos Cohesivos:

La compactación se produce por la reorientación y por la distorsión de los granos y sus capas absorbidas. Esto se logra por una fuerza que sea lo suficientemente grande para vencer la resistencia de cohesión por las fuerzas entre las partículas.

Compactación en Suelos No Cohesivos:

En el caso de suelos granulares el proceso de compactación más adecuado resulta el de la vibración, pero debe tenerse en cuenta, como ya se sabe, que el comportamiento de los suelos gruesos depende mucho de la granulometría. Se requiere una fuerza moderada aplicada en una amplia área, o choque y vibración. La compactación eficiente en los suelos cohesivos requiere presiones más altas para los suelos secos que para los húmedos, pero el tamaño del área cargada no es crítico.

Figura 2.1. Compactación de suelo granular.



Fuente: Elaboración propia.

La compactación es un proceso fundamental a la hora de iniciar cualquier trabajo ingenieril basado en la construcción, pues no es más que preparar el terreno para realizar las bases de nuestra edificación, vialidad o drenaje, este proceso nos permite obtener ciertos beneficios como lo son:

Aumenta la capacidad para soportar cargas

Los vacíos producen debilidad del suelo e incapacidad para soportar cargas pesadas. Estando apretadas todas las partículas, el suelo puede soportar cargas mayores; debidas a que las partículas mismas que soportan mejor.

Impide el hundimiento del suelo

Si la estructura se construye en el suelo sin afirmar o afirmado con desigualdad, el suelo se hunde dando lugar a que la estructura se deforme produciendo grietas o un derrumbe total.

Reduce el escurrimiento del agua

Un suelo compactado reduce la penetración de agua. El agua fluye y el drenaje puede entonces regularse.

Reduce el esponjamiento y la contracción del suelo

Si hay vacíos, el agua puede penetrar en el suelo y llenar estos vacíos. El resultado sería el esponjamiento del suelo durante la estación de lluvias y la contracción del mismo durante la estación seca.

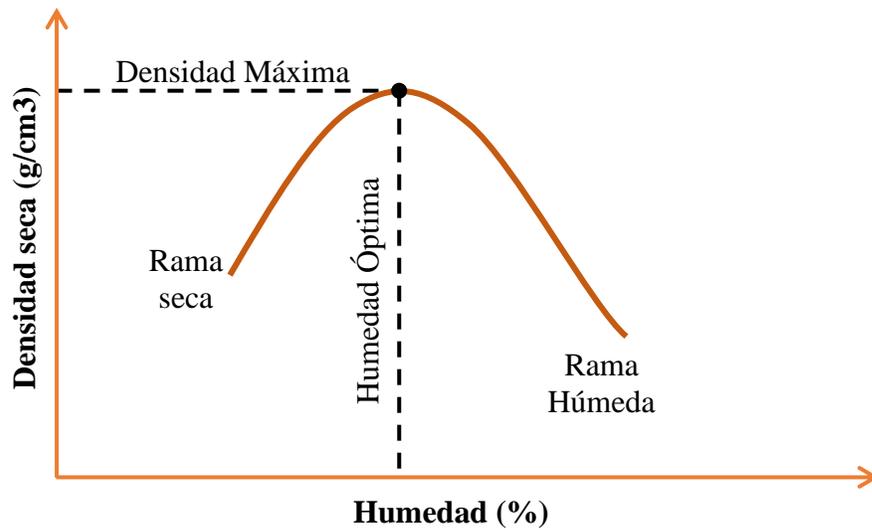
Impide los daños de las heladas

El agua se expande y aumenta el volumen al congelarse. Esta acción a menudo causa que el pavimento se hinche, y a la vez, las paredes y losas del piso se agrieten. La compactación reduce estas cavidades de agua en el suelo.

2.4.2. Influencia de la humedad en la compactación de suelos

La humedad juega un papel decisivo, mientras que un suelo seco necesita una determinada energía de compactación para vencer los rozamientos internos entre sus partículas, el mismo suelo ligeramente húmedo precisará un menor esfuerzo, ya que el agua se comporta como un agente lubricante formando una película alrededor de los granos y disminuyendo la fricción entre ellos. Si se sigue añadiendo agua al suelo, llegará un momento en el que ésta haya ocupado la totalidad de los huecos del mismo. Este hecho acarreará un aumento de volumen dado la incompresibilidad del líquido elemento y una mayor dificultad para evacuarlo del suelo, por lo que su compacidad disminuirá. Entonces existe una humedad óptima con la que se obtenga una compacidad máxima, para una misma energía de compactación. (Bañon, 1999)

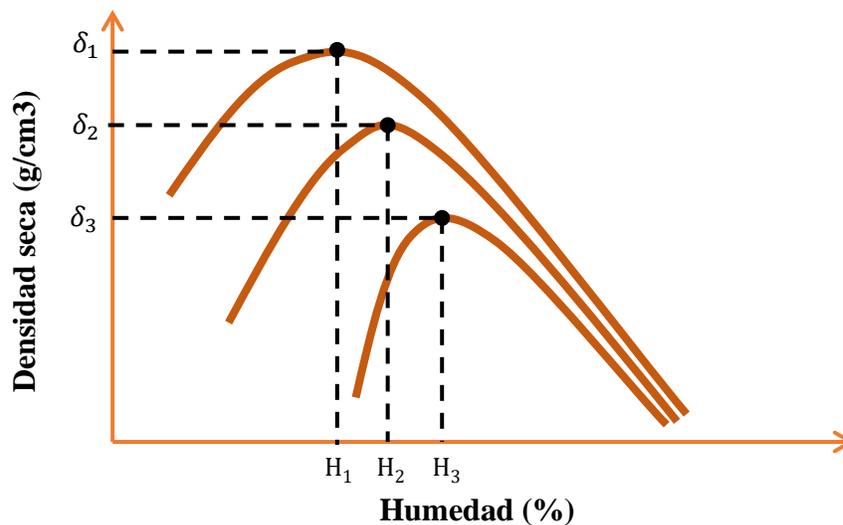
Figura 2.2. Curva humedad - densidad seca.



Fuente: Propiedades de los suelos y su determinación. Compacidad del suelo Bañón, L. (1999)

En una gráfica humedad - densidad (Figura 2.2.) para un mismo suelo, pero con distintas energías de compactación, el punto de humedad óptima varía en función de la energía que se haya aplicado y la humedad óptima es menor, mientras menor sea la energía de compactación. Para humedades mayores que la óptima, el aumento de la densidad conseguido con un apisonado más enérgico es mucho menor que el obtenido con humedades bajas. Se concluye que, en terrenos secos, una consolidación enérgica puede ser más eficaz.

Figura 2.3. Influencia de la energía de compactación.



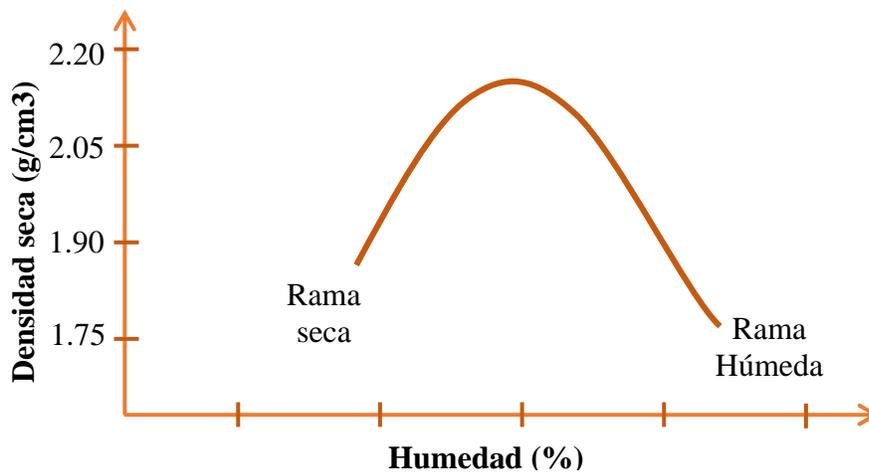
Fuente: Propiedades de los suelos y su determinación. Compacidad del suelo, Bañón, L. (1999).

2.4.3. Densidad máxima seca (D.M.S.)

Es la máxima densidad para un esfuerzo de compactación específico obtenido ensayando el material con varios contenidos de humedad. (Whitlow, 1989)

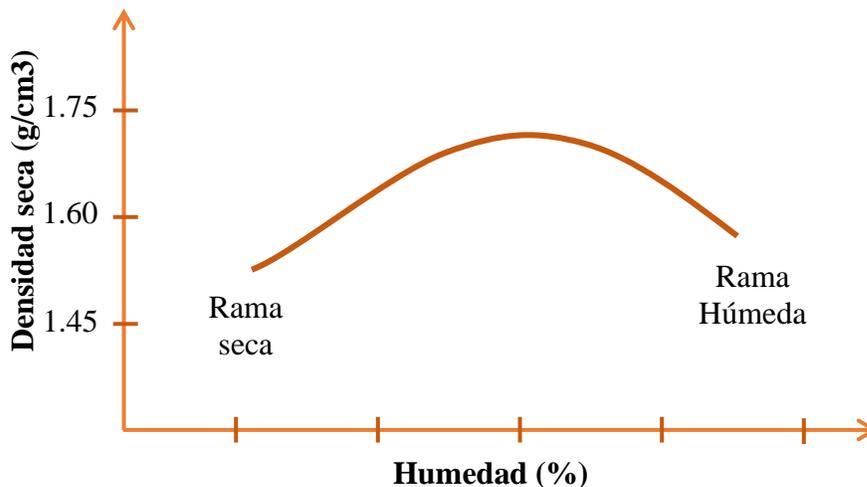
La influencia de este parámetro con el C.B.R., puede deberse a que mientras más denso sea un suelo (granular) habrá más contacto entre sus partículas, lo que genera mayor resistencia del suelo y por ende mayor valor del C.B.R., para un mismo grado de saturación (contenido de humedad) y carga constante, el C.B.R. aumenta a medida que aumenta la máxima densidad seca. (Araujo, 2014)

Figura 2.4. Curva de compactación con rangos de densidad seca en suelos granulares



Fuente: Interpretación de los ensayos geotécnicos en suelos, densidad y humedad. (Abad, 2012)

Figura 2.5. Curva de compactación con rangos de densidad seca en suelos finos



Fuente: Interpretación de los ensayos geotécnicos en suelos, densidad y humedad. (Abad, 2012)

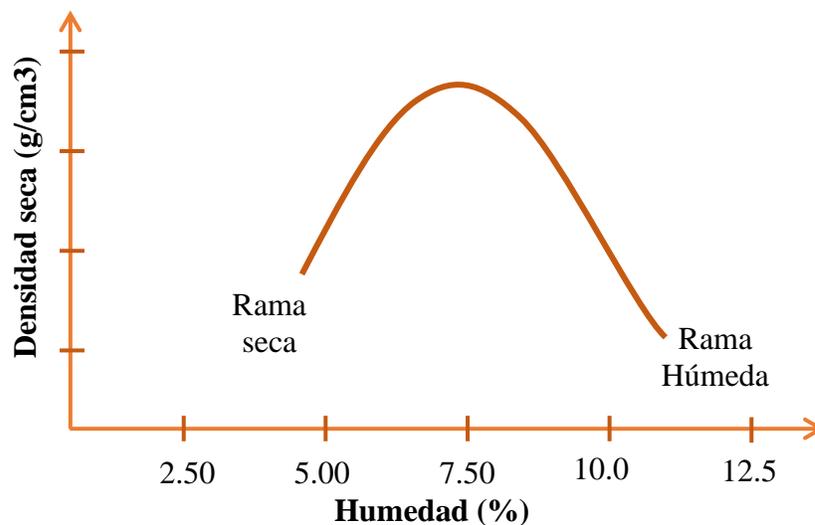
2.4.4. Contenido de humedad óptimo (C.H.O.)

Es el contenido de humedad con el que se obtiene la máxima densidad seca para una determinada energía de compactación. (Whitlow, 1989)

La influencia de este parámetro con el C.B.R., se debe a que el grado de saturación hará cambiar la resistencia del suelo produciendo diferentes valores de C.B.R. para un mismo suelo. Depende del grado de succión que éste tenga. Un suelo seco tendrá mayor resistencia que el mismo con un mayor contenido de humedad. Según la norma ASTM D 1883 07 cuando el ensayo se hace con inmersión (saturado 4 días) se debe sacar el espécimen del agua dejándolo escurrir por 15 minutos antes del ensayo.

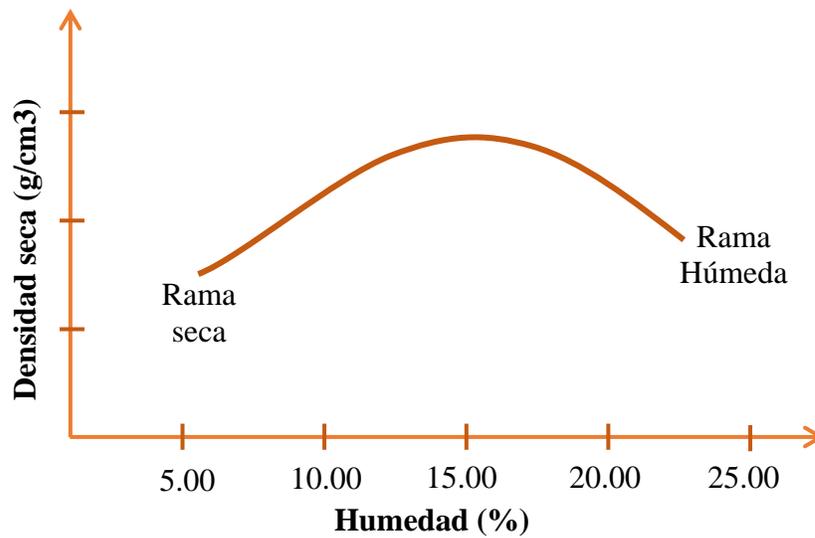
Durante esa fase el grado de 15 saturación del suelo puede cambiar, la succión del suelo aumentar, generándose diferentes valores de C.B.R. para un mismo suelo. (Araujo, 2014)

Figura 2.6. Curvas de compactación con rangos de humedad de suelos granulares.



Fuente: Interpretación de los ensayos geotécnicos en suelos, densidad y humedad. (Abad, 2012)

Figura 2.7. Curvas de compactación con rangos de humedad de suelos finos.



Fuente: Interpretación de los ensayos geotécnicos en suelos, densidad y humedad. (Abad, 2012)

2.5. California Bearing Ratio (C.B.R.)

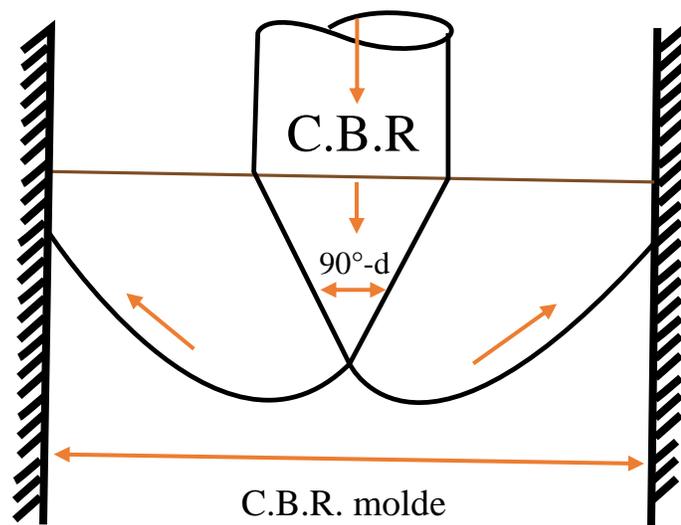
El CBR es un método utilizado para evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, subbase y base de pavimentos. Este método fue propuesto en 1929 por los ingenieros Stanton y Porter del Departamento de Carreteras de California, de ahí su nombre California Bearing Ratio que en español significa Relación de Soporte California. En algunos países también se le conoce como Valor Relativo Soporte (VRS). Desde esa fecha tanto en Europa como en América, el método C.B.R. se ha generalizado y es una forma de clasificación de un suelo para ser utilizado como subrasante o material de base en la construcción de carreteras. Durante la Segunda Guerra Mundial, el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos adoptó este ensayo para utilizarlo en la construcción de aeropuertos. El C.B.R. fue concebido en 1933 para diseñar pavimentos flexibles basados en la resistencia al corte. En 1964, aparece la versión para laboratorio en la norma ASTM D 1883 y para campo en la norma ASTM D dadas por la American Society for Testing and Materials. (Sanchez, 2012)

En este método, al aplicarse una carga a través de una superficie de contacto se desarrollan dos resistencias: una referida al corte perimetral y otra de compresión.

2.5.1. Definición

El C.B.R. no es una constante del suelo, sino un indicador de la resistencia al corte del suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, obtenidas del ensayo de compactación del Proctor Modificado. Este método puede realizarse tanto en campo como en laboratorio. Para evaluar el desempeño de campo a través de ensayos de laboratorio, se utilizan gráficos de contorno de humedad versus densidad. A estos se les llaman “mapas de resistencia” y dentro de éstos, se ubican las regiones de humedad y densidad que cumplen con el nivel de respuesta requerido, a las que se llama “regiones de aceptación”. Los ensayos de C.B.R. en laboratorio se hacen sobre muestras remodeladas y compactadas con un contenido de humedad óptimo y una máxima densidad seca (Proctor Modificado).

Figura 2.8. Falla del suelo generado por el pistón en el ensayo C.B.R.



Fuente: Universidad Nacional de Ingeniería. C.B.R. (California Bearing Ratio). CISMID Chang, L. (2012)

Antes de determinar la resistencia a la penetración, las probetas se saturan durante 96 horas para simular las condiciones de trabajo más desfavorables y para determinar su posible expansión. Se confeccionan 3 probetas como mínimo, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es con 56, 25 y 12 golpes).

El método C.B.R. en laboratorio requiere de 3 ensayos: determinación de la densidad y humedad, determinación de las propiedades expansivas del material y determinación de

la resistencia a la penetración. El suelo al cual se aplica el ensayo debe contener una pequeña cantidad de material que pase por el tamiz de 50 mm y quede retenido en el tamiz de 20 mm. Se recomienda que esta fracción no exceda del 20%. (Constructor Civil, 2010)

Por cada espécimen de suelo se calculan dos valores de C.B.R., uno a 0.1” de penetración, y el otro a 0.2” de penetración. El valor que se registra es el que corresponde a 0.1” mientras éste sea menor que el de 0.2”. En el caso en el que el valor de C.B.R. para 0.1” fuera mayor que el de 0.2” habría que repetir el ensayo para ese espécimen. Pero si el valor del C.B.R. a una penetración de 0.2” es ligeramente mayor que el de la de 0.1”, se registra éste como el valor del ensayo.

Para hallar el valor del C.B.R. de un material se toma como material de comparación la piedra triturada o chancada, es decir que el C.B.R. de ésta es el 100%. Por lo que el cálculo del C.B.R. de cualquier material se realiza como una regla de tres simple directa:

$$C. B. R. = \frac{\text{Carga unitaria del ensayo}}{\text{Carga unitaria patrón}} \cdot 100$$

Donde:

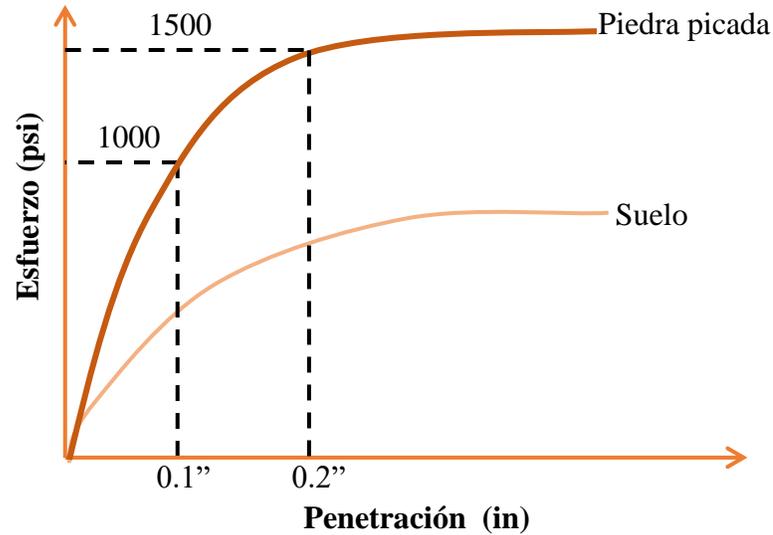
Carga unitaria de ensayo en kg/cm².

Carga unitaria patrón en kg/cm².

Teniendo en cuenta que la carga unitaria patrón varía en función de la penetración (a 0.1”, 1000 psi; a 0.2”, 1500 psi; a 0.3”, 1900 psi).

En la figura N° 2.9. se puede apreciar la curva penetración esfuerzo que sirve como definición para el C.B.R. y en la tabla N° 2.1., los esfuerzos requeridos para diferentes profundidades de penetración del pistón.

Figura 2.9. Curva Penetración versus Esfuerzo del C.B.R.



Fuente: ¿Qué es el C.B.R. en un suelo? (Sanchez, 2012)

Tabla 2.2. Esfuerzos requeridos para diferentes profundidades de penetración

Penetración del pistón	mm	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5
Esfuerzo	Mpa	6.89	10.34	13.10	15.86	17.93

Fuente: Evaluación de la subrasante. Ejecución de ensayos de resistencia. California Bearing Ratio. (Sanchez, 2012)

Los valores de C.B.R. cercanos a 0% representan, los suelos de pobre calidad (es decir que no poseen una buena resistencia a esfuerzos cortantes), mientras que los más cercanos a 100% son indicativos de la mejor calidad. En la práctica se utiliza el número de CBR omitiendo el porcentaje (%) y se presenta como un número entero.

En la tabla N° 2.3. se muestra una calificación que se le da al suelo de subrasante, base y subbase en función del C.B.R.

Tabla 2.3. Calificación del suelo en función de la subrasante

C.B.R. (%)	Clasificación	Uso	AASHTO
0-3	Muy pobre	Subrasante	A-5, A-6, A-7
3-7	Pobre – Regular	Subrasante	A-4, A-5, A-6, A-7
7-20	Regular	Subrasante	A-2, A-4, A-6, A-7
20-50	Bueno	Base – Subbase	A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-6
>50	Excelente	Base	A-1-a, A-2-4, A-3

Fuente: Manual de laboratorio de suelos para ingeniería civil.

El valor del C.B.R. es útil tanto para evaluación como para diseño de pavimentos. Para evaluar el C.B.R. (en subrasante o superficie de colocación de estructuras) de un suelo donde se va a fundar una estructura se emula en laboratorio lo más próximo las condiciones del suelo en sitio y así se obtiene el C.B.R. del suelo que mejor represente esa situación según la ASTM D 698-70. Por otro lado, cuando se trata de diseño (en subbases y bases) dado un determinado suelo (de préstamo o de un área de corte) el objetivo es encontrar la combinación de condiciones óptima de confinamiento, grado de saturación, etc., para alcanzar la resistencia requerida para un material de base, subbase o relleno estructural. (Sanchez, 2012)

El C.B.R., frente a otros ensayos que ofrecen datos de resistencia al corte como los ensayos triaxiales, representa un bajo costo. No obstante, debido a la cantidad de muestras que se tienen que recopilar y además la demanda de tiempo para obtener su valor (aproximadamente una semana) encarece el valor del proyecto.

El valor del C.B.R. de laboratorio, en condición saturada, tiene serias limitaciones puesto que no es un parámetro geomecánica; aunque esté asociado a múltiples correlaciones y métodos semiempíricos de diseños de pavimentos. No obstante, se le puede convertir en un módulo elástico analizándolo como un ensayo de placa a escala.

2.6. Influencia entre la granulometría con C.B.R.

Es la determinación de las proporciones de los diferentes tamaños de grano (Granulometría), debido que existen en la naturaleza suelos de diferente tamaño, forma y apariencia. Su ensayo es el análisis granulométrico y se emplea una serie normalizada de tamices (marcos rígidos con mallas con espaciamentos uniformes). Con el porcentaje de

suelo retenido en cada tamiz se construye una gráfica semilogarítmica, en las ordenadas se coloca el porcentaje en peso de la muestra retenida en los tamices y en las abscisas se coloca la abertura de cada tamiz.

Con el ensayo granulométrico se puede obtener el contenido de grava (%G), el contenido de arena (%S) y la cantidad de finos: limos y arcillas que pasan el tamiz 200 (%F).

El **porcentaje de grava** influirá en el valor del C.B.R. dependiendo de la forma de las partículas del agregado (lo cual no se registra). Mientras más angulosa sea la partícula, mayor trabazón tendrá, mayor su resistencia al corte y mayor será el valor de C.B.R. siempre y cuando no haya otro factor de influencia. Probablemente el origen mineralógico de la grava influya en el valor del C.B.R. por su dureza. Unos agregados son más duros y esto favorecerá su resistencia y valor de C.B.R.

El **porcentaje de arena** influiría en algo en el valor del C.B.R. los suelos con mayor contenido de arena presentan un comportamiento más rígido y probablemente mayor resistencia. No obstante, una mayor cantidad de arena implica menor contenido de grava y de finos, lo que daría como resultado menor C.B.R. Ya desde aquí se puede decir que el contenido de arena analizado de manera individual no será determinante para predecir el C.B.R.

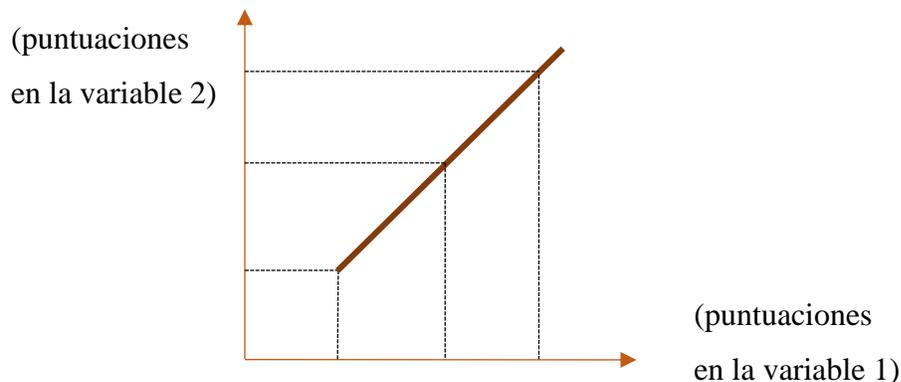
El **porcentaje de finos** dará mayor resistencia y estabilidad al suelo. Estos parámetros se verán reflejados en los límites de consistencia quienes a su vez, se ven reflejados en el contenido de humedad, relación de vacíos o presión intersticial de un suelo que influye en su resistencia al corte y en consecuencia al valor del C.B.R. Según lo comentado, de estos tres parámetros al parecer el que más influirá en el C.B.R. es el contenido de grava ya que como lo mencionamos en el concepto el C.B.R. patrón se estableció teniendo como consideración la piedra triturada. Entonces esto puede indicar que a mayor cantidad de grava mayor será el C.B.R. obtenido.

2.7. Estadística correlacional

Una correlación es una medida del grado en que dos variables se encuentran relacionadas. Un estudio correlacional puede intentar determinar si individuos con una puntuación alta en una variable también tiene puntuación alta en una segunda variable y si individuos con

una baja puntuación en una variable también tienen baja puntuación en la segunda. Estos resultados indican una relación positiva.

Una manera de representar las relaciones enunciadas puede ser gráficamente. Mediante un eje de coordenadas podemos representar en el eje de abscisas las puntuaciones en la primera variable, y en el de coordenadas las de la segunda variable. Así una relación positiva perfecta se representaría del siguiente modo.



Las relaciones lineales entre variables pueden ser expresadas por estadísticos conocidos como coeficientes de correlación.

2.7.1. Coeficiente de determinación (R-cuadrado)

El coeficiente de determinación es la proporción de la varianza total de la variable explicada por la regresión. El coeficiente de determinación, también llamado R cuadrado, refleja la bondad del ajuste de un modelo a la variable que pretender explicar.

Es importante saber que el resultado del coeficiente de determinación oscila entre 0 y 1. Cuanto más cerca de 1 se sitúe su valor, mayor será el ajuste del modelo a la variable que estamos intentando explicar. De forma inversa, cuanto más cerca de cero, menos ajustado estará el modelo y, por tanto, menos fiable será.

2.7.2. Coeficiente de correlación lineal de Pearson

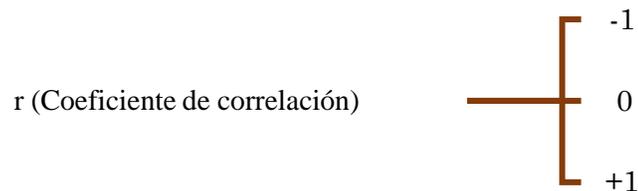
El coeficiente de correlación de Pearson, pensado para variables cuantitativas (escala mínima de intervalo), es un índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente. Adviértase que decimos "variables relacionadas linealmente". Esto significa que puede haber variables fuertemente relacionadas, pero no de forma lineal, en cuyo caso no proceder a aplicarse la correlación de Pearson. Por

ejemplo, la relación entre la ansiedad y el rendimiento tiene forma de U invertida; igualmente, si relacionamos población y tiempo la relación será de forma exponencial. En estos casos (y en otros muchos) no es conveniente utilizar la correlación de Pearson. Insistimos en este punto, que parece olvidarse con cierta frecuencia.

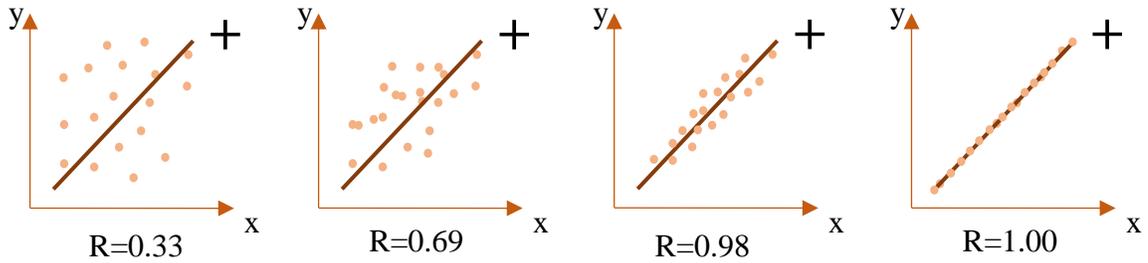
El coeficiente de correlación de Pearson es un índice de fácil ejecución e, igualmente, de fácil interpretación. Digamos, en primera instancia, que sus valores absolutos oscilan entre 0 y 1. Esto es, si tenemos dos variables X e Y, y definimos el coeficiente de correlación de Pearson entre estas dos variables como r_{xy} entonces:

$$0 \leq r_{xy} \leq 1$$

Hemos especificado los términos "valores absolutos" ya que en realidad si se contempla el signo el coeficiente de correlación de Pearson oscila entre -1 y $+1$. No obstante ha de indicarse que la magnitud de la relación viene especificada por el valor numérico del coeficiente, reflejando el signo la dirección de tal valor. En este sentido, tan fuerte es una relación de $+1$ como de -1 . En el primer caso la relación es perfecta positiva y en el segundo perfecta negativa. Pasamos a continuación a desarrollar algo más estos conceptos.

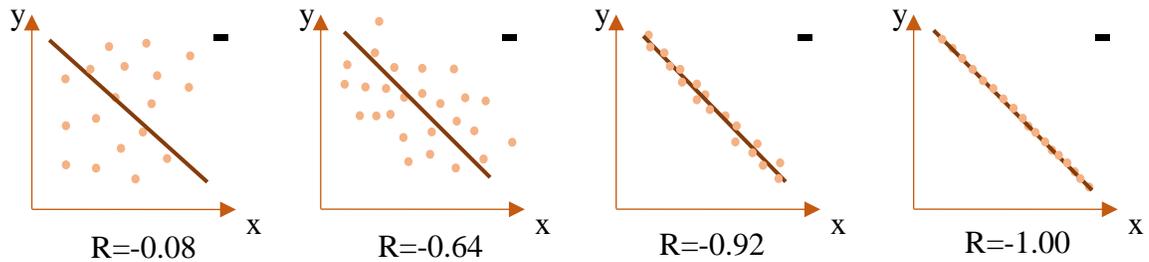


Decimos que la correlación entre dos variables X e Y es perfecta positiva cuando exactamente en la medida que aumenta una de ellas aumenta la otra. Esto sucede cuando la relación entre ambas variables es funcionalmente exacta. Difícilmente ocurrirá en psicología, pero es frecuente en las ciencias físicas donde los fenómenos se ajustan a leyes conocidas, Por ejemplo, la relación entre espacio y tiempo para un móvil que se desplaza a velocidad constante. Gráficamente la relación ser del tipo:



Asociación lineal perfecta positiva

Se dice que la relación es perfecta negativa cuando exactamente en la medida que aumenta una variable disminuye la otra. Igual que en el caso anterior esto sucede para relaciones funcionales exactas, propio de las ciencias físicas. Por ejemplo, la relación entre presión y volumen se ajusta a este caso. El gráfico que muestra la relación sería del tipo:



Asociación lineal perfecta negativa

El coeficiente de correlación de Pearson viene definido por la siguiente expresión:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x Z_y}{N}$$

Esto es, el coeficiente de correlación de Pearson hace referencia a la media de los productos cruzados de las puntuaciones estandarizadas de X y de Y. Esta fórmula reúne algunas propiedades que la hacen preferible a otras. A operar con puntuaciones estandarizadas es un índice libre de escala de medida. Por otro lado, su valor oscila, como ya se ha indicado, en términos absolutos, entre 0 y 1.

2.8.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.

2.8.1. Estudio de regresión

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

En resumen del procedimiento podremos ver las estimaciones de los parámetros y una serie de distintos coeficientes que pueden ser significativos en el estudio.

2.8.2. Regresión simple en Statgraphics

El procedimiento de regresión simple está diseñado para construir un modelo estadístico que describa el impacto de un solo factor cuantitativo X sobre una variable dependiente Y.

Cualquiera de los 27 modelos lineales y no lineales puede ser ajustados usando ya sea el procedimiento de mínimos cuadrados o el procedimiento de estimación resistente. Las pruebas se corren para determinar la significancia estadística del modelo. El modelo ajustado puede ser graficado con límites de confianza y/ o límites de predicción.

Opciones de regresión simple

Tipo de modelo: Se refiere al modelo que va a ser estimado, todos los modelos mostrados pueden ser linealizados mediante la transformación ya sea de X o de Y o de ambos. Cuando ajusta un modelo lineal, Statgraphics primero transforma los datos, después ajusta el modelo y finalmente invierte la transformación para mostrar los resultados.

Ajustes alternos: Se refiere a un procedimiento alternativo de estimación. Si son seleccionados, un conjunto adicional de estimadores será añadidos al resultado. Existen dos métodos de estimación se encuentran disponibles, ambos son resistentes a observaciones atípicas.

Tabla 2.4. Modelos disponibles en Software Statgraphics.

Modelo	Ecuación	Transformación en Y	Transformación en X
Lineal	$y = \beta_0 + \beta_1 x$	Ninguna	Ninguna
Raíz cuadrada de Y	$y = (\beta_0 + \beta_1 x)^2$	Raíz cuadrada	Ninguna
Exponencial	$y = e^{(\beta_0 + \beta_1 x)}$	Logaritmo	Ninguna
Inverso de Y	$y = (\beta_0 + \beta_1 x)^{-1}$	Inverso	Ninguna
Y cuadrática	$y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 x}$	Cuadrado	Ninguna
Raíz cuadrada de X	$y = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{x}$	Ninguna	Raíz cuadrada
Raíz cuadrada doble	$y = (\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x})^2$	Raíz cuadrada	Raíz cuadrada
Y Logarítmico-X Cuadrática	$y = e^{(\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x})}$	Logaritmo	Raíz cuadrada
Y Inversa- raíz cuadrada de X	$y = (\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x})^{-1}$	Inverso	Raíz cuadrada
Y cuadrática- raíz cuadrada de X	$y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \sqrt{x}}$	Raíz cuadrada	Raíz cuadrada
X Logarítmico	$y = \beta_0 + \beta_1 \ln(x)$	Ninguna	Logaritmo
Raíz cuadrada de Y- logaritmo de X	$y = (\beta_0 + \beta_1 \ln(x))^2$	Inverso	Logaritmo
Multiplicativo	$y = \beta_0 x^{\beta_1}$	Cuadrado	Logaritmo
Y Inverso, X logarítmico	$y = \frac{1}{\beta_0 + \beta_1 \ln(x)}$	Inverso	Logaritmo
Y cuadrática – logaritmo de X	$y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \ln(x)}$	Cuadrado	Logaritmo

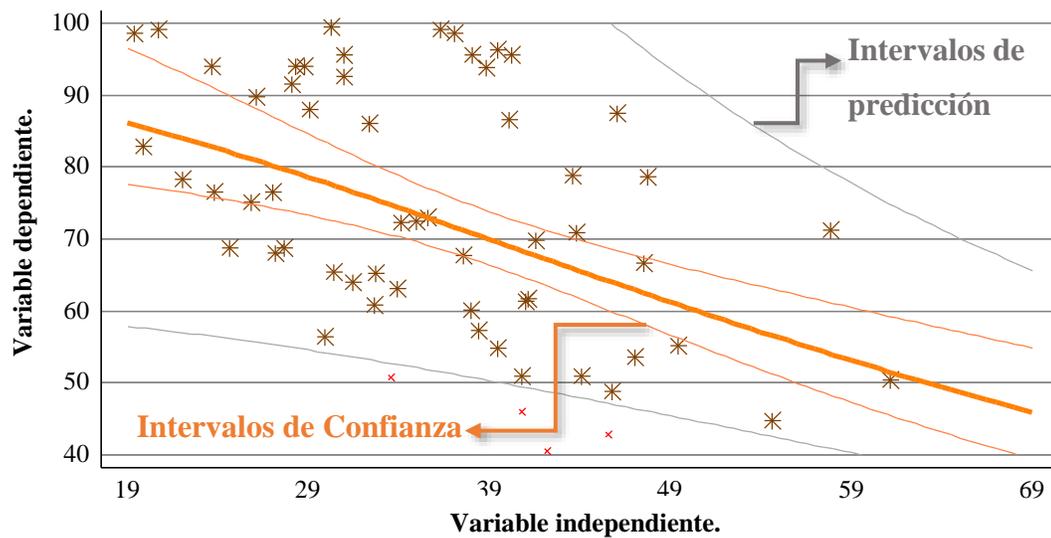
Inverso de X	$y = \beta_0 + \frac{\beta_1}{x}$	Ninguna	Inverso
Raíz cuadrada de Y -inverso de X	$y = \left(\beta_0 + \frac{\beta_1}{x}\right)^2$	Raíz cuadrada	Inverso
Curva S	$y = e^{\left(\beta_0 + \frac{\beta_1}{x}\right)}$	Logaritmo	Inverso
Doble inverso	$y = \left(\beta_0 + \frac{\beta_1}{x}\right)^{-1}$	Inverso	Inverso
Y cuadrática- inverso de X	$y = \sqrt{\beta_0 + \frac{\beta_1}{x}}$	Cuadrado	Inverso
X Cuadrática	$y = \beta_0 + \beta_1 x^2$	Ninguna	Cuadrado
Raíz cuadrada de Y - cuadrado de X	$y = (\beta_0 + \beta_1 x^2)^2$	Raíz cuadrada	Cuadrado
Y Logarítmico - X Cuadrático	$y = e^{(\beta_0 + \beta_1 x^2)}$	Logaritmo	Cuadrado
Y Inverso, X cuadrático	$y = (\beta_0 + \beta_1 x^2)^{-1}$	Inverso	Cuadrado
Doble cuadrático	$y = \sqrt{\beta_0 + \beta_1 x^2}$	Cuadrado	Cuadrado
Logístico	$y = \frac{e^{(\beta_0 + \beta_1 x)}}{[1 + e^{(\beta_0 + \beta_1 x)}]}$	$y/(1 - y)$	Ninguna
Log probit	$y = \varphi[\beta_0 + \beta_1 \ln(x)]$	$\varphi^{-1}(y)_{(inv. normal)}$	Logaritmo

Para determinar cuál modelo se ajusta a los datos, el resultado en la ventana comparación de modelos alternativos que se describe abajo puede ser útil, porque ajusta y muestra todos los modelos en orden decreciente de sus R-cuadradas.

Gráfica del modelo ajustado

Esta ventana muestra el modelo o modelos ajustados, junto con los límites de confianza y límites de predicción si son requeridos.

Gráfica 2.4. Modelo ajustado entre dos variables.



Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

La gráfica incluye:

- La línea del mejor ajuste o ecuación de predicción:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x$$

Esta es la ecuación que debería ser usada para predecir valores de la variable dependiente Y dados los valores de la variable independiente X.

- **Intervalos de confianza** para la respuesta media de X. Se refiere a las bandas internas de la gráfica mostrada arriba. Los intervalos internos describen qué tan adecuadamente ha sido estimada la ubicación de la línea dada la muestra de datos disponible. Conforme el tamaño de la muestra (n) incrementa, esas bandas se ajustarán mejor. Es posible notar que la amplitud de las bandas varía como una función de X y la línea estimada se acerca más al valor promedio de x .
- **Límites de predicción** para nuevas observaciones. Éstas son las bandas externas de la gráfica y describen qué tan exacta sería una predicción de un nuevo valor. Sin importar el tamaño de la muestra, las observaciones nuevas variarán alrededor de la línea verdadera con una desviación estándar igual a σ .

La inclusión de los límites de confianza y los límites de predicción con sus respectivos niveles de confianza está determinada por la tabla ANOVA/de regresión del cuadro de diálogo preferencias accesible desde el menú edición.

Comparación de modelos alternos

La ventana comparación de modelos alternos muestra los valores de R- cuadrada obtenidos cuando ajustamos cada uno de los 27 modelos disponibles:

Los modelos están ordenados en orden decreciente de la R-cuadrada. Cuando seleccionamos un modelo alternativo, deben considerarse primero los modelos que se encuentran en la parte superior de la lista. Sin embargo, debido a que el estadístico R-cuadrada fue calculado después de transformar X y/o Y, el modelo con el más alto R-cuadrado puede no ser el mejor modelo. Siempre es recomendable graficar el modelo ajustado para ver si hace un buen trabajo para los datos.

Valor observado versus valor de predicción

La gráfica de valores observados versus los valores de predicción muestra los valores observados de Y en el eje vertical y los valores de predicción Y sobre el eje horizontal.

Si el modelo ajusta bien, los puntos deben estar colocados aleatoriamente alrededor de la línea diagonal. Es posible observar algunas veces curvatura en esta gráfica, lo cual indicaría la necesidad de un modelo curvilíneo más que un modelo lineal. Cualquier cambio en la variabilidad de valores pequeños de X a valores elevados de X podría también indicar la necesidad de transformar la variable dependiente antes de ajustar un modelo a los datos. En la gráfica de arriba, la variabilidad parece ser poco constante. Sin embargo, alguna evidencia de curvatura está presente.

CAPÍTULO III



MATERIALES Y MÉTODOS

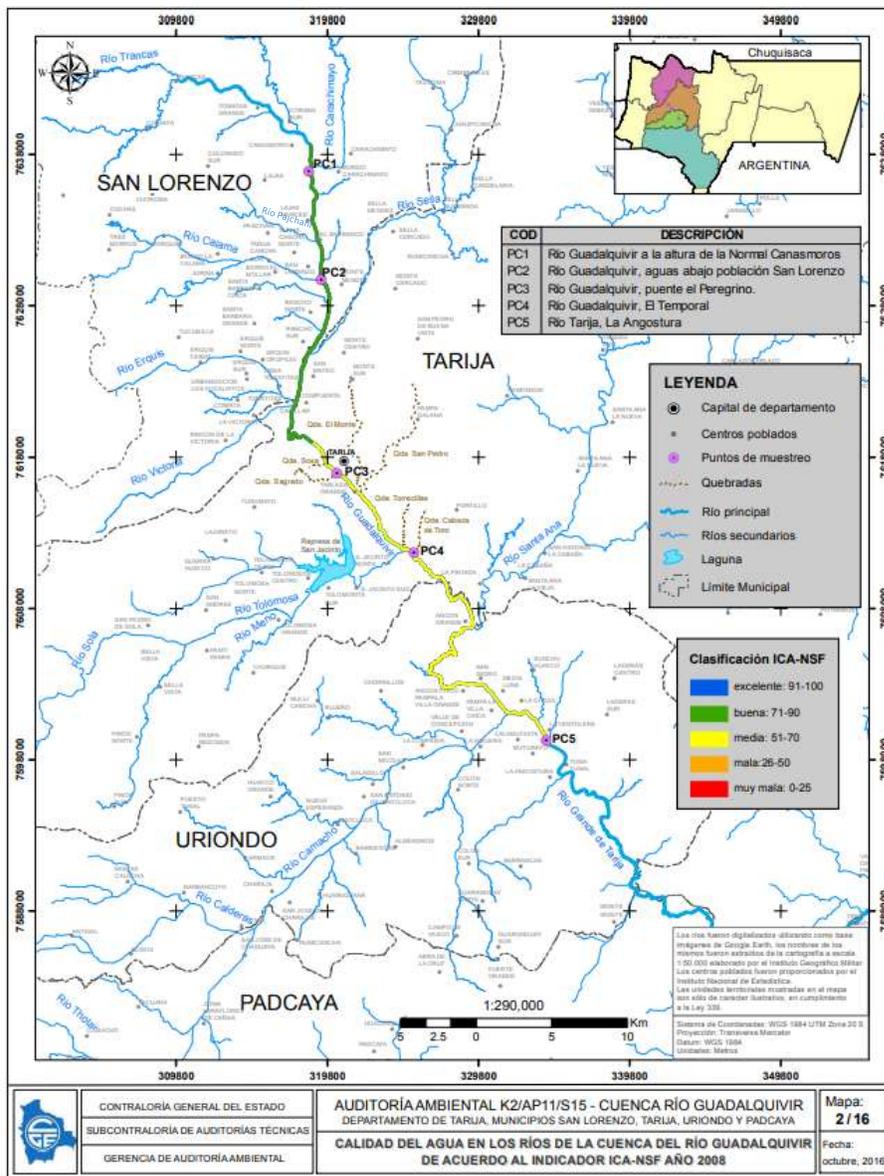
CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Zona de estudio

La investigación toma en cuenta la extracción de muestra de los ríos de la provincia Méndez, tomando en cuenta la subcuenca San Lorenzo - La Victoria. Para su mejor ubicación y visualización se muestra en la figura N° 3.1.

Figura 3.1. Ubicación de los ríos de la cuenca Guadalquivir.



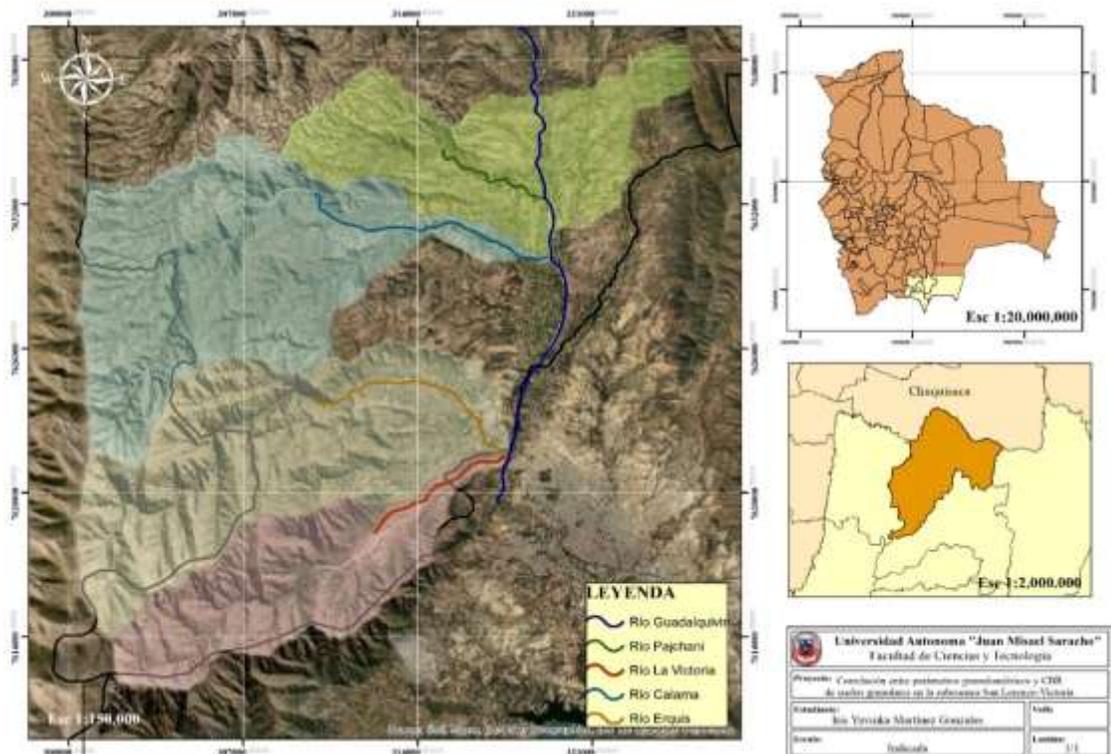
Fuente: Puntos de muestreo de la cuenca de rio Guadalquivir año 2008

Según la subcuenca San Lorenzo- La Victoria consta de los siguientes ríos: río Pajchani, río Calama, río Erquis y río La Victoria; comprende la alta Cuenca del Guadalquivir para su margen derecha (oeste).

3.1.1. Criterio de selección de muestras

La selección de las muestras está presentada a continuación en cada imagen, de manera general tenemos a los cuatro ríos que une con el Río Guadalquivir.

Figura 3.2. Ubicación de los ríos



Fuente: Software ArcGIS.

Las áreas de aporte a los ríos de la subcuenca son las siguientes, mostradas en tablas:

Tabla 3.1. Áreas de las Subcuenca San Lorenzo- La Victoria.

Ríos	Área (km ²)
Río Pajchani	70.48
Río Calama	114.80
Río Erquis	106.55
Río La Victoria	60.38

Fuente: Elaboración propia.

Las siguientes imágenes son tanto en vista desde Google Earth como tomadas en la misma zona.

Figura 3.3. Puntos de extracción del río Pajchani



Fuente: Google Earth

Figura 3.4. Río Pajchani



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.5. Puntos de extracción del río La Victoria



Fuente: Google Earth

Figura 3.6. Río La Victoria



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.7. Puntos de extracción del río Erquis



Fuente: Google Earth

Figura 3.8. Río Erquis



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.9. Puntos de extracción del río Calama



Fuente: Google Earth

Figura 3.10. Río Calama



Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Selección de los puntos de estudio

La selección de cada muestra esta seleccionada a cada 50 metros una de otra, en este caso se toma coordenadas UTM.

Tabla 3.2. Coordenadas UTM del río Pajchani

Río Pajchani		
Punto	Este	Norte
Pajchani (1)	318452.96	7632446.56
Pajchani (2)	318435.00	7632496.00
Pajchani (3)	318417.00	7632552.00
Pajchani (4)	318497.06	7632414.03
Pajchani (5)	318535.11	7632376.83
Pajchani (6)	318572.07	7632361.91
Pajchani (7)	318614.74	7632357.23
Pajchani (8)	318657.00	7632348.00
Pajchani (9)	318693.00	7632327.00
Pajchani (10)	318733.00	7632307.00
Pajchani (11)	318779.00	7632304.00
Pajchani (12)	318818.00	7632283.00
Pajchani (13)	318867.00	7632283.00
Pajchani (14)	318395.00	7632607.00
Pajchani (15)	318359.00	7632641.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.3. Coordenadas UTM del río La Victoria

Río La Victoria		
Punto	Este	Norte
La Victoria (1)	312766.06	7618888.54
La Victoria (2)	312722.23	7618847.44
La Victoria (3)	312679.67	7618794.65
La Victoria (4)	312602.37	7618790.25
La Victoria (5)	312564.08	7618737.92
La Victoria (6)	312513.86	7618697.38
La Victoria (7)	312505.00	7618637.00
La Victoria (8)	312512.27	7618580.38
La Victoria (9)	312485.00	7618513.00
La Victoria (10)	312439.00	7618458.00
La Victoria (11)	312823.00	7618949.00
La Victoria (12)	312863.00	7619023.00
La Victoria (13)	312932.00	7619052.00
La Victoria (14)	312989.00	7619111.00
La Victoria (15)	313052.00	7619168.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.4. Coordenadas UTM del río Erquis

Río Erquis		
Punto	Este	Norte
Erquis (1)	311933.46	7624514.61
Erquis (2)	311877.03	7624460.51
Erquis (3)	311859.31	7624407.40
Erquis (4)	312006.19	7624548.02
Erquis (5)	312068.56	7624579.62
Erquis (6)	312124.45	7624569.23
Erquis (7)	311832.01	7624353.42
Erquis (8)	311778.00	7624308.00
Erquis (9)	311739.00	7624256.00
Erquis (10)	311684.00	7624236.00
Erquis (11)	311625.00	7624212.00
Erquis (12)	311567.00	7624203.00
Erquis (13)	311507.00	7624183.00
Erquis (14)	311445.00	7624160.00
Erquis (15)	311393.00	7624128.00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.5. Coordenadas UTM del río Calama

Río Calama		
Punto	Este	Norte
Calama (1)	312645.51	7630971.95
Calama (2)	312574.42	7630952.44
Calama (3)	312479.00	7630934.00
Calama (4)	312388.01	7630937.23
Calama (5)	312737.47	7630982.70
Calama (6)	312829.06	7631016.45
Calama (7)	312922.59	7631033.65
Calama (8)	313017.84	7631019.69
Calama (9)	313120.00	7631033.00
Calama (10)	313205.00	7631019.00
Calama (11)	313321.00	7631056.00
Calama (12)	312283.00	7630925.00
Calama (13)	312194.00	7630896.00
Calama (14)	312099.00	7630888.00
Calama (15)	312007.00	7630879.00

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Extracción de muestras

De la selección de los cuatro bancos, escogiendo como primero la zona del río del Pajchani, continuando los ríos Calama, Erquis y La Victoria.

Según cada extracción el tamaño máximo nominal varía desde el 1 ½” hasta 1”, tomando en cuenta que se realiza 60 ensayos para su caracterización.

Antes de comenzar con el ensayo de granulometría, la muestra debe estar cuarteada manual, con la finalidad de que las muestras a utilizar tengan las características representativas de su extracción de la zona, para ello se debe tener un mantel de tela o nylon antes de colocar la muestra, dividiendo en cuatro partes iguales con ayuda de palos de escoba.

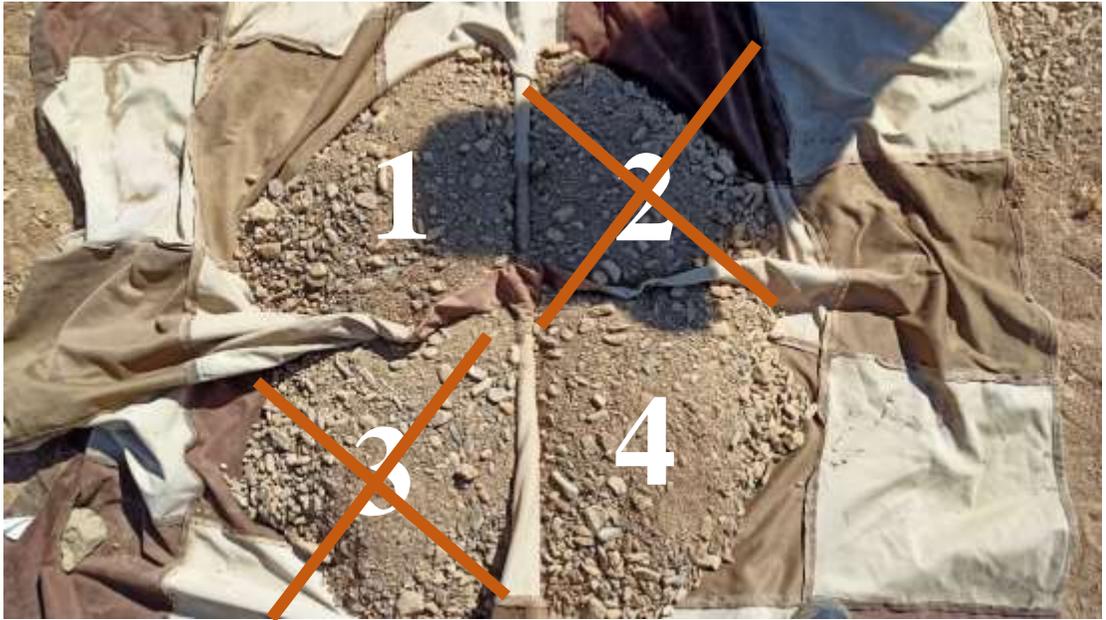
Figura 3.11. Cuarteando la muestra en el Río Pajchani



Fuente: Elaboración propia.

Al partir en cuatro partes, se selecciona dos tanto el diagonal como vertical o horizontal, descartando los restantes como se muestra en la siguiente figura N°3.12.

Figura 3.12. Muestra dividida en cuatro partes del Río Pajchani



Fuente: Elaboración propia.

Se toma como selección las muestras número uno y cuatro, de esa manera se descarta las restantes

Figura 3.13. Muestra seleccionada en el Río Pajchani



Fuente: Elaboración propia.

La otra manera que se realizó es el cuarteo mecánico donde se coloca la muestra en el cuarteador y se distribuye uniformemente de lado a lado, lo cual el suelo fluirá por los canales una cantidad aproximadamente igual. La cantidad de cuarteo debe ser la necesaria para el uso de los ensayos.

3.2.1. Parámetros granulométricos

La obtención de las granulometrías se debe tomar en cuenta el tamaño máximo nominal de las muestras y también considerando las condiciones del suelo. El suelo debe ser secado tomando en cuenta que la muestra debe ser más a la que se necesita dejando en el horno por 24 horas, porque luego de dejar secando se pesa la cantidad exacta a usar con ayuda de la balanza, una vez hecho se debe lavar la muestra usando el tamiz N°10 y tamiz N°200.

El suelo granular por lo general contiene material como limos y arcillas adheridos al mismo, cuando las muestras ya presenten filtro de agua cristalina, quiere decir que está limpio y debe ya ser colocado en otra bandeja.

Una vez lavado y dejado secar en el horno, se procede a realizar el ensayo de granulometría según la AASHTO T-27, con ayuda de la brocha al introducir toda la muestra se debe limpiar cualquier material que queda en la bandeja. La muestra debe pasar por cada tamiz, realizamos movimientos leves y bruscos para que las partículas bajen o queden retenidas en los tamices, faltando cuatro o cinco tamices se procede al uso del equipo de vibración automático, donde los tamices llevan colocado una tapa, el cual con una fuerza interna genera vibración constante, dejando un lapso de tiempo.

Figura 3.14. Uso del equipo de vibración automática



Fuente: Elaboración propia.

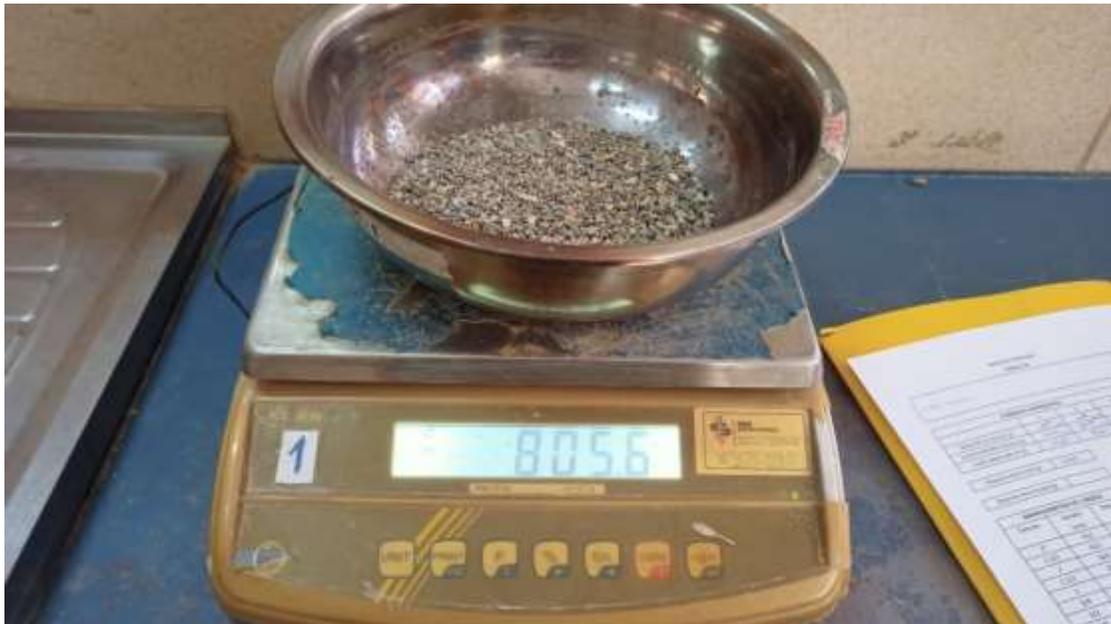
Cuando termina, se abre toda la serie de tamices, como muestra la figura N°3.15. el suelo que fue retenido de una de las muestras.

Figura 3.15. Muestra retenida del tamiz 1”



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.16. Peso retenido del tamiz N°10



Fuente: Elaboración propia.

Una vez terminado el procedimiento se determina la curva granulometría y los dos coeficientes.

3.3. Ensayo para determinar su humedad óptima de las muestras

El proceso de la obtención de humedad óptima es mediante el ensayo de compactación que para los cuatro ríos se realizó el mismo procedimiento.

3.3.1. Ensayo de compactación AASHTO T-180

Las muestras en primer lugar deben estar en estado seco, el molde que es usado debe ser medido con ayuda del vernier sus dimensiones de interior para calcular su volumen.

Antes de realizar la práctica debemos conocer el tipo de suelo que se está realizando para usar porcentajes de humedad aleatorios, de esa manera determinaremos su humedad óptima de las muestras.

La compactación debe hacerse en cinco capas tomando en cuenta los 56 golpes que recibe cada una, haciendo el uso del martillo T-180 porque en esta investigación estamos haciendo el uso de muestras granulares como muestra la imagen N°3.17.

Figura 3.17. Compactación del Río Pajchani



Fuente: Elaboración propia.

Una vez compactado retiramos el collarín y enrazamos a nivel del molde con ayuda de la regla metálica, determinando su peso de muestra junto con el molde se debe pesar.

De esa manera repetir cuatro veces, para obtener cuatro puntos y determinar el contenido de humedad óptima y densidad máxima de las muestras.

3.4. Ensayo de C.B.R.

El suelo debe estar en estado seco, porque al realizar la compactación obtenemos lo que es el contenido de humedad óptima y su densidad máxima, partiendo de ello se realiza en tres moldes el proceso de compactación. Antes de todo se debe obtener las dimensiones del disco espaciador y del molde a usar.

Figura 3.18. Medición de la altura del molde C.B.R.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.19. Medición de diámetro del disco espaciador.



Fuente: Elaboración propia.

Según las dimensiones, obtendremos el volumen que ocupará el suelo dentro el molde, tomando en cuenta que se debe restar el volumen del disco espaciador. Se utiliza tres moldes, cada uno con diferentes golpes, el primero se realiza doce golpes, el segundo veinticinco golpes y el tercero a cincuenta y seis golpes, con respecto que debe realizar a cinco capas.

Figura 3.20. C.B.R. suelo granular.



Fuente: Elaboración propia.

Cada molde debe ser enrazado con la regla metálica y ser pesado en la balanza, después de ello debe colocar los vástagos con sus respectivas pesas; una vez colocado se debe lectura con el extensómetro la expansión o lo que se comprime el suelo al ser sumergido por cuatro días (cada día debe lecturas).

Figura 3.21. Lectura de C.B.R. con el extensómetro



Fuente: Elaboración propia.

Después de que pasen los cuatro días, llevamos al equipo para lectura la carga según la penetración que realice, para ello se debe pesar antes cada molde en la balanza.

Cada molde luego de hacer correr en el equipo, debemos sacar tres pequeñas muestras, una de encima, otra del centro y por último del fondo del molde, con ayuda del cincel y combo, esto es para conocer el contenido de humedad que hay en el molde.

Figura 3.22. Lectura de C.B.R.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.23. Extracción de las muestras del C.B.R.



Fuente: Elaboración propia.

3.5. Procesamiento de la información

La elaboración independiente está basada en la granulometría, a continuación, se presenta las planillas y gráficas de los diferentes ríos estudiados, según la norma AASHTO la clasificación de los cuatro suelos es de tipo A-1-a.

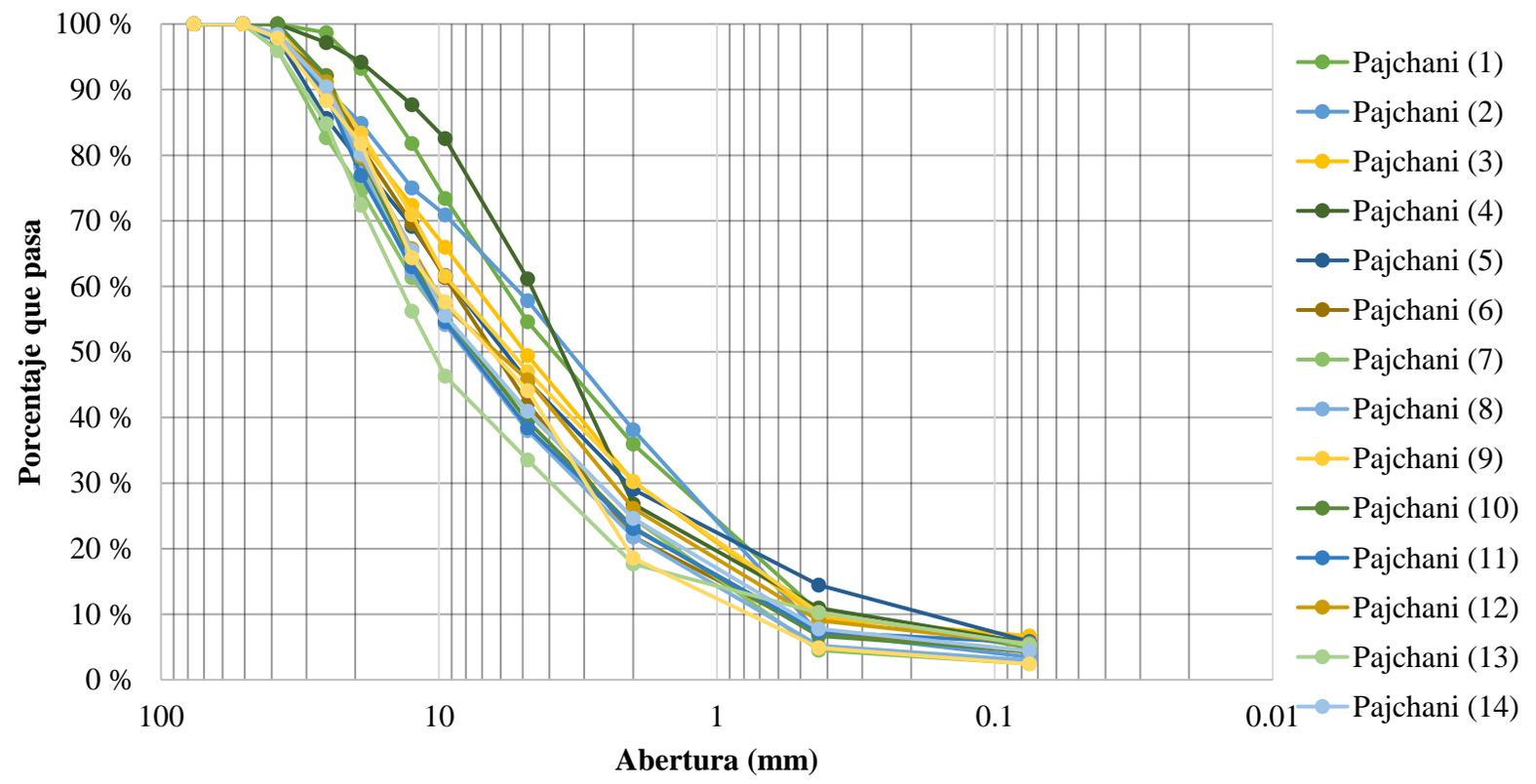
Tabla 3.6. Porcentajes de tamices del Río Pajchani

Tamices	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	Cu	Cc	Clasificación
Tamaño (mm)	76.2	50.8	38.1	25.4	19.05	12.5	9.5	4.8	2	0.43	0.075			
Pajchani (1)	100.00	100.00	100.00	98.68	93.24	81.80	73.42	54.60	35.94	10.32	4.88	14.95	0.86	A-1-a ₍₀₎
Pajchani (2)	100.00	100.00	97.89	90.05	84.85	75.02	70.89	57.81	38.11	7.18	3.47	10.98	0.68	A-1-a ₍₀₎
Pajchani (3)	100.00	100.00	100.00	90.26	82.09	72.38	65.96	49.44	30.28	9.46	6.67	16.51	1.15	A-1-a ₍₀₎
Pajchani (4)	100.00	100.00	100.00	97.19	94.17	87.69	82.54	61.16	26.82	10.92	5.58	14.56	3.16	A-1-a ₍₀₎
Pajchani (5)	100.00	100.00	97.79	85.60	78.74	69.15	61.67	45.55	29.02	14.42	5.83	52.06	2.96	A-1-a ₍₀₎
Pajchani (6)	100.00	100.00	97.81	92.17	81.25	69.57	61.34	42.16	21.85	7.20	4.20	15.62	1.53	A-1-a ₍₀₎
Pajchani (7)	100.00	100.00	96.07	82.70	74.65	61.33	54.65	40.76	24.63	4.50	2.46	18.20	0.93	A-1-a ₍₀₎
Pajchani (8)	100.00	100.00	98.53	90.58	78.13	62.34	54.17	37.99	21.77	5.20	2.96	17.25	1.26	A-1-a ₍₀₎
Pajchani (9)	100.00	100.00	97.76	91.05	83.38	70.96	61.55	47.02	30.19	10.24	5.29	22.64	1.13	A-1-a ₍₀₎
Pajchani (10)	100.00	100.00	100.00	92.05	79.60	63.82	55.65	39.47	23.25	6.68	4.43	18.95	1.30	A-1-a ₍₀₎
Pajchani (11)	100.00	100.00	97.28	89.33	76.92	63.01	54.59	38.41	23.06	7.29	5.67	20.21	1.39	A-1-a ₍₀₎
Pajchani (12)	100.00	100.00	97.89	91.21	79.77	65.75	56.97	45.77	26.15	9.04	5.49	22.23	1.15	A-1-a ₍₀₎
Pajchani (13)	100.00	100.00	95.92	84.81	72.36	56.23	46.33	33.51	17.67	10.22	5.37	34.50	2.83	A-1-a ₍₀₎
Pajchani (14)	100.00	100.00	98.40	90.45	80.12	65.50	55.53	40.99	24.61	7.76	4.39	20.26	1.25	A-1-a ₍₀₎
Pajchani (15)	100.00	100.00	97.88	88.34	81.72	64.35	57.61	44.07	18.55	4.90	2.40	13.78	1.10	A-1-a ₍₀₎

Fuente: Elaboración propia

Según el río Pajchani el suelo extraído aguas arriba presenta más porcentaje de suelo en el tamiz N°4 a comparación de aguas debajo de aguas abajo en un punto de extracción tiene menos fino, demostrando que a medida que el río fluya la sedimentación disminuirá.

Gráfica 3.1. Curvas granulométricas del Río Pajchani



Fuente: Elaboración propia

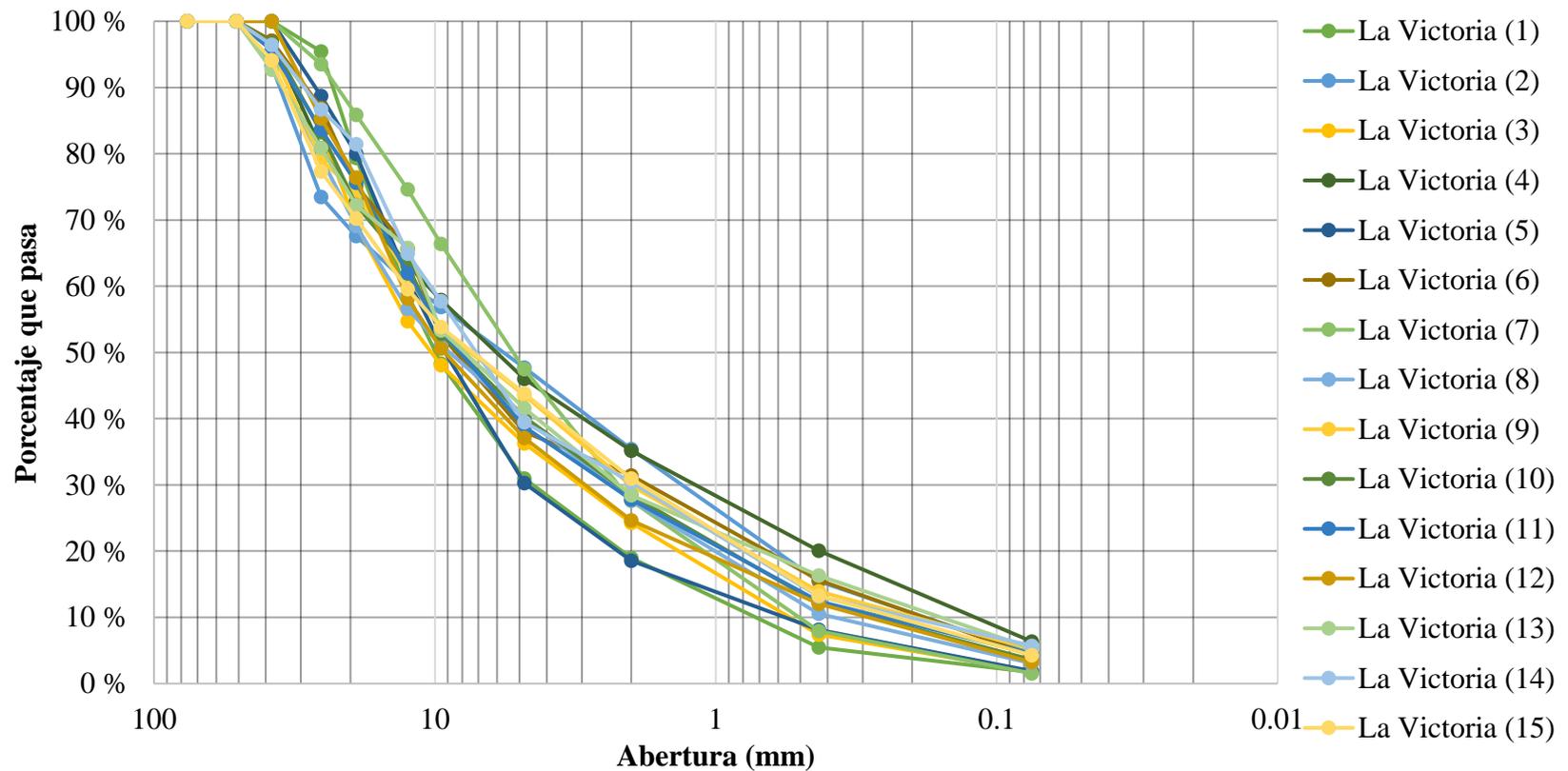
Tabla 3.7. Porcentajes de tamices del Río La Victoria

Tamices	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	Cu	Cc	Clasificación
Tamaño (mm)	76.2	50.8	38.1	25.4	19.05	12.5	9.5	4.8	2	0.43	0.075			
La Victoria (1)	100.00	100.00	100.00	95.42	79.35	58.74	48.28	30.95	18.97	5.46	1.72	17.81	2.17	A-1-a ₍₀₎
La Victoria (2)	100.00	100.00	93.29	73.48	67.54	60.47	56.84	47.72	35.38	15.43	4.53	67.11	0.80	A-1-a ₍₀₎
La Victoria (3)	100.00	100.00	96.54	83.39	69.23	54.71	48.09	36.27	24.28	7.38	1.79	26.53	1.15	A-1-a ₍₀₎
La Victoria (4)	100.00	100.00	97.03	80.77	72.83	63.23	57.89	46.03	35.15	20.09	6.35	88.25	1.10	A-1-a ₍₀₎
La Victoria (5)	100.00	100.00	100.00	88.69	79.96	61.16	50.99	30.25	18.57	8.14	1.90	21.25	3.21	A-1-a ₍₀₎
La Victoria (6)	100.00	100.00	97.03	86.93	75.21	65.66	52.66	38.01	31.43	15.62	4.28	61.61	1.52	A-1-a ₍₀₎
La Victoria (7)	100.00	100.00	100.00	93.51	85.86	74.62	66.39	47.48	27.62	7.96	1.54	15.10	1.31	A-1-a ₍₀₎
La Victoria (8)	100.00	100.00	93.27	79.36	69.05	56.56	51.15	40.10	27.66	10.55	3.05	36.92	1.04	A-1-a ₍₀₎
La Victoria (9)	100.00	100.00	95.67	79.09	74.10	61.61	53.53	43.55	29.85	13.95	5.23	62.26	1.82	A-1-a ₍₀₎
La Victoria (10)	100.00	100.00	96.71	83.26	72.24	63.04	52.77	40.24	28.44	12.09	3.60	41.18	1.55	A-1-a ₍₀₎
La Victoria (11)	100.00	100.00	95.61	83.67	75.62	61.91	53.38	38.80	27.79	12.43	4.49	47.00	1.93	A-1-a ₍₀₎
La Victoria (12)	100.00	100.00	100.00	85.30	76.37	58.15	50.59	37.07	24.64	12.03	3.23	45.03	2.25	A-1-a ₍₀₎
La Victoria (13)	100.00	100.00	92.66	80.89	72.22	65.78	53.35	41.57	28.43	16.31	5.32	68.88	2.80	A-1-a ₍₀₎
La Victoria (14)	100.00	100.00	96.45	86.67	81.43	64.90	57.74	39.46	30.40	13.17	5.72	51.75	1.80	A-1-a ₍₀₎
La Victoria (15)	100.00	100.00	94.08	77.31	70.23	59.55	53.84	43.79	30.97	13.31	4.26	55.39	1.16	A-1-a ₍₀₎

Fuente: Elaboración propia

Los puntos de extracción son variados, como es escogido aleatoriamente el suelo no tiene la misma composición, pero si las mismas tendencias presentando un poco más de suelo fino pasando el tamiz N°4.

Gráfica 3.2. Curvas granulométricas del Río La Victoria



Fuente: Elaboración propia

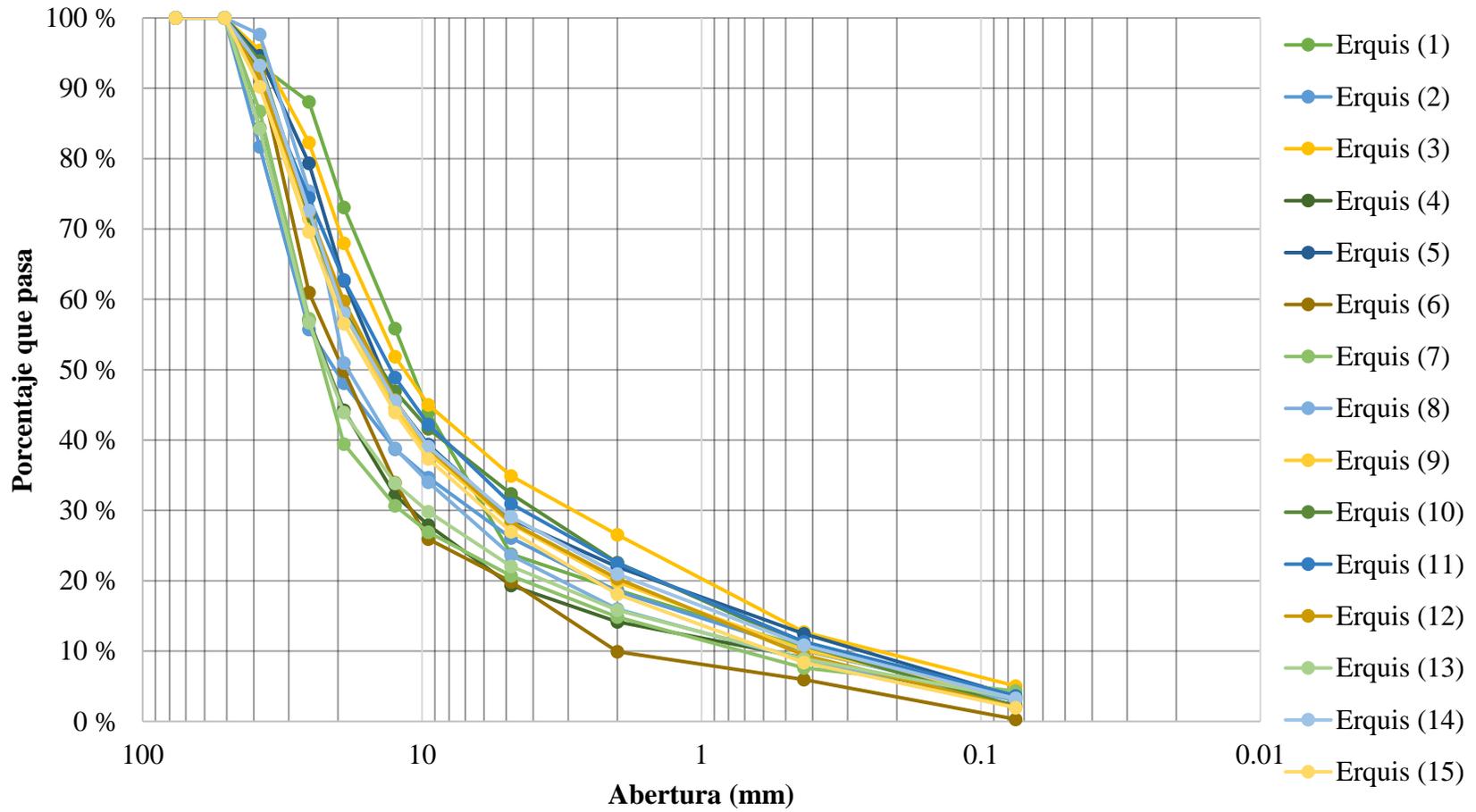
Tabla 3.8. Porcentajes de tamices del Río Erquis

Tamices	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	Cu	Cc	Clasificación
Tamaño (mm)	76.2	50.8	38.1	25.4	19.05	12.5	9.5	4.8	2	0.43	0.075			
Erquis (1)	100.00	100.00	93.28	88.08	73.08	55.84	43.97	23.78	18.71	10.50	3.29	36.42	6.69	A-1-a ₍₀₎
Erquis (2)	100.00	100.00	81.70	55.72	48.10	38.69	34.65	26.09	18.49	10.08	3.22	64.67	3.77	A-1-a ₍₀₎
Erquis (3)	100.00	100.00	95.41	82.31	67.99	51.85	45.01	34.92	26.54	12.69	5.04	67.17	2.32	A-1-a ₍₀₎
Erquis (4)	100.00	100.00	84.35	57.11	44.25	32.16	27.90	19.34	14.14	9.06	2.28	46.47	7.81	A-1-a ₍₀₎
Erquis (5)	100.00	100.00	94.64	79.36	62.66	45.50	39.34	28.75	21.96	12.48	3.55	68.69	5.82	A-1-a ₍₀₎
Erquis (6)	100.00	100.00	92.09	60.98	49.84	33.92	25.93	19.85	9.91	5.94	0.31	12.32	2.40	A-1-a ₍₀₎
Erquis (7)	100.00	100.00	86.73	57.25	39.42	30.65	26.89	20.70	14.85	7.62	4.33	37.13	7.58	A-1-a ₍₀₎
Erquis (8)	100.00	100.00	97.68	75.37	50.96	38.84	34.00	23.61	15.98	8.70	2.96	37.16	4.43	A-1-a ₍₀₎
Erquis (9)	100.00	100.00	91.48	71.46	57.94	44.56	38.24	28.07	19.81	10.16	3.32	48.56	3.67	A-1-a ₍₀₎
Erquis (10)	100.00	100.00	93.89	71.87	58.30	46.97	41.60	32.36	22.59	10.86	2.13	54.92	2.12	A-1-a ₍₀₎
Erquis (11)	100.00	100.00	91.19	74.43	62.75	48.89	42.22	30.93	22.48	11.33	3.67	54.81	3.39	A-1-a ₍₀₎
Erquis (12)	100.00	100.00	91.51	72.46	59.73	45.69	38.88	28.29	20.32	9.43	2.01	40.83	3.19	A-1-a ₍₀₎
Erquis (13)	100.00	100.00	84.26	56.70	43.92	33.83	29.81	22.04	15.83	8.92	3.28	48.49	6.31	A-1-a ₍₀₎
Erquis (14)	100.00	100.00	93.26	72.64	58.05	45.58	39.09	29.07	20.96	10.86	3.23	56.63	3.78	A-1-a ₍₀₎
Erquis (15)	100.00	100.00	90.24	69.59	56.54	43.91	37.34	26.99	18.10	8.37	1.95	36.71	2.97	A-1-a ₍₀₎

Fuente: Elaboración propia

El río Calama no presenta grandes cantidades de arena a comparación de las otras, se realizó la extracción de suelo en temporada de no lluvias, pero el material más grueso arrastrado a ríos abajo, demostrado que hay más suelo granular que finos.

Gráfica 3.3. Curvas granulométricas del Río Erquis



Fuente: Elaboración propia

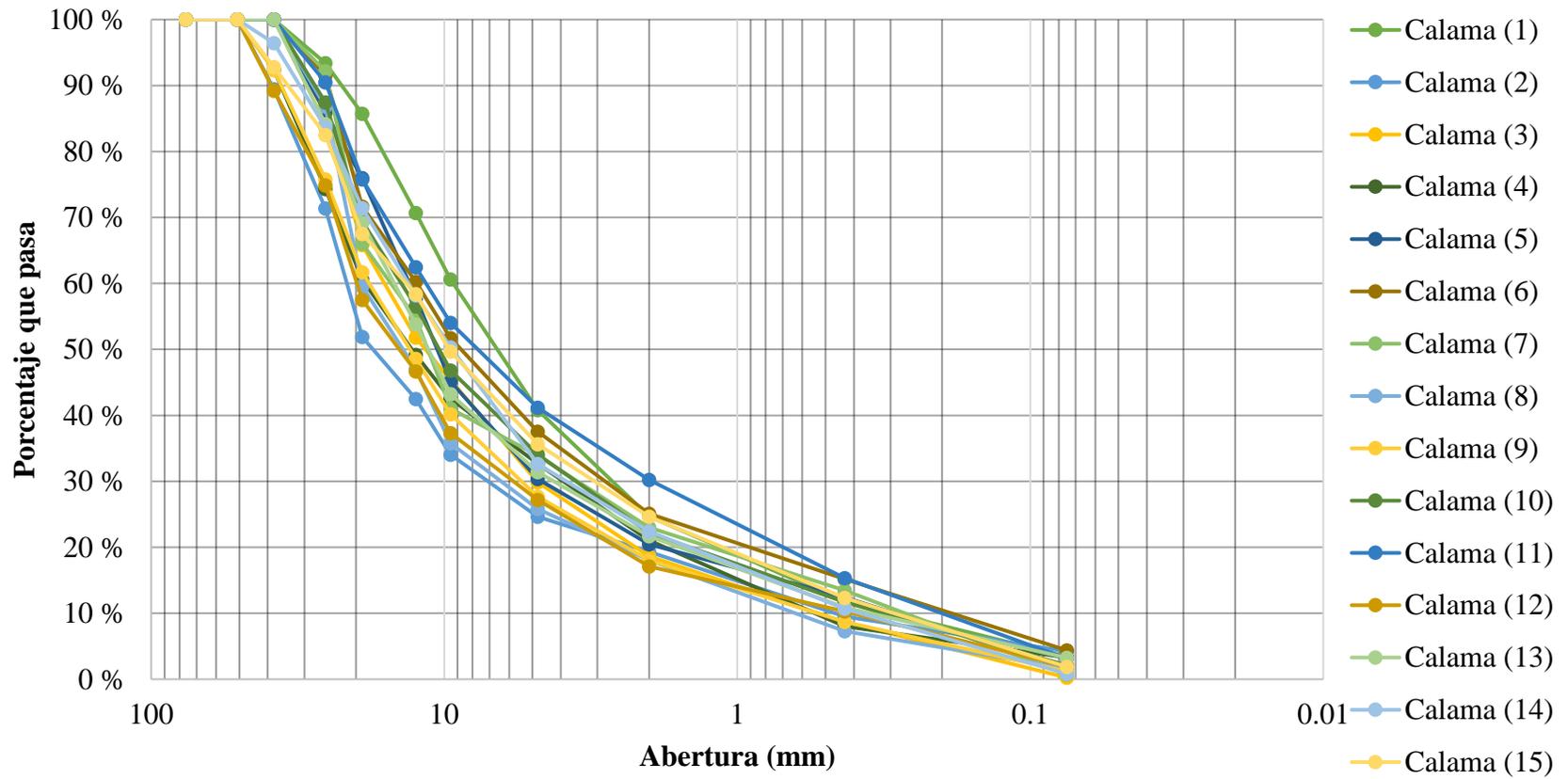
Tabla 3.9. Porcentajes de tamices del Río Calama

Tamices	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	Cu	Cc	Clasificación
Tamaño (mm)	76.2	50.8	38.1	25.4	19.05	12.5	9.5	4.8	2	0.43	0.075			
Calama (1)	100.00	100.00	100.00	93.37	85.70	70.68	60.58	40.79	24.68	11.80	3.43	31.03	2.55	A-1-a ₍₀₎
Calama (2)	100.00	100.00	89.46	71.37	51.89	42.48	34.03	24.61	19.34	9.50	4.22	45.70	4.99	A-1-a ₍₀₎
Calama (3)	100.00	100.00	100.00	85.73	65.83	51.80	45.34	29.86	18.64	8.67	0.25	30.19	2.75	A-1-a ₍₀₎
Calama (4)	100.00	100.00	92.40	74.30	60.54	49.14	42.52	32.67	21.06	8.02	3.29	34.56	1.53	A-1-a ₍₀₎
Calama (5)	100.00	100.00	100.00	85.95	75.96	57.83	45.11	30.36	20.46	12.42	1.71	45.34	5.69	A-1-a ₍₀₎
Calama (6)	100.00	100.00	100.00	91.53	71.64	60.26	51.70	37.54	25.07	15.18	4.38	65.21	3.38	A-1-a ₍₀₎
Calama (7)	100.00	100.00	100.00	92.15	66.06	54.75	41.02	33.88	23.00	13.44	0.70	56.33	3.02	A-1-a ₍₀₎
Calama (8)	100.00	100.00	100.00	86.81	59.58	46.97	35.75	25.80	18.04	7.30	1.63	30.38	3.40	A-1-a ₍₀₎
Calama (9)	100.00	100.00	92.33	75.76	61.67	48.57	40.18	27.66	18.04	8.72	1.19	34.09	3.11	A-1-a ₍₀₎
Calama (10)	100.00	100.00	100.00	87.42	69.42	56.50	46.77	34.08	22.18	11.68	2.09	43.75	2.83	A-1-a ₍₀₎
Calama (11)	100.00	100.00	100.00	90.48	75.76	62.46	54.03	41.15	30.22	15.34	3.15	57.65	1.65	A-1-a ₍₀₎
Calama (12)	100.00	100.00	89.21	74.84	57.53	46.65	37.32	27.17	17.12	10.28	1.90	48.44	4.15	A-1-a ₍₀₎
Calama (13)	100.00	100.00	100.00	84.13	69.20	53.80	43.19	31.40	21.69	10.89	3.25	42.37	3.46	A-1-a ₍₀₎
Calama (14)	100.00	100.00	96.45	83.63	71.39	58.18	50.31	32.64	22.42	10.72	0.81	34.84	2.92	A-1-a ₍₀₎
Calama (15)	100.00	100.00	92.82	82.47	67.49	58.36	49.67	35.61	24.62	12.32	1.89	46.52	2.41	A-1-a ₍₀₎

Fuente: Elaboración propia

El río presenta granular más que fino cuando se extrajo el suelo, aguas abajo habría más granular que aguas arriba, lo cual en tiempo de lluvias el suelo se fue sedimentando.

Gráfica 3.4. Curvas granulométricas del Río Calama



Fuente: Elaboración propia

Al unir todas las curvas granulométricas, se obtiene lo siguiente:

Tabla 3.10. Resumen de los parámetros granulométricos

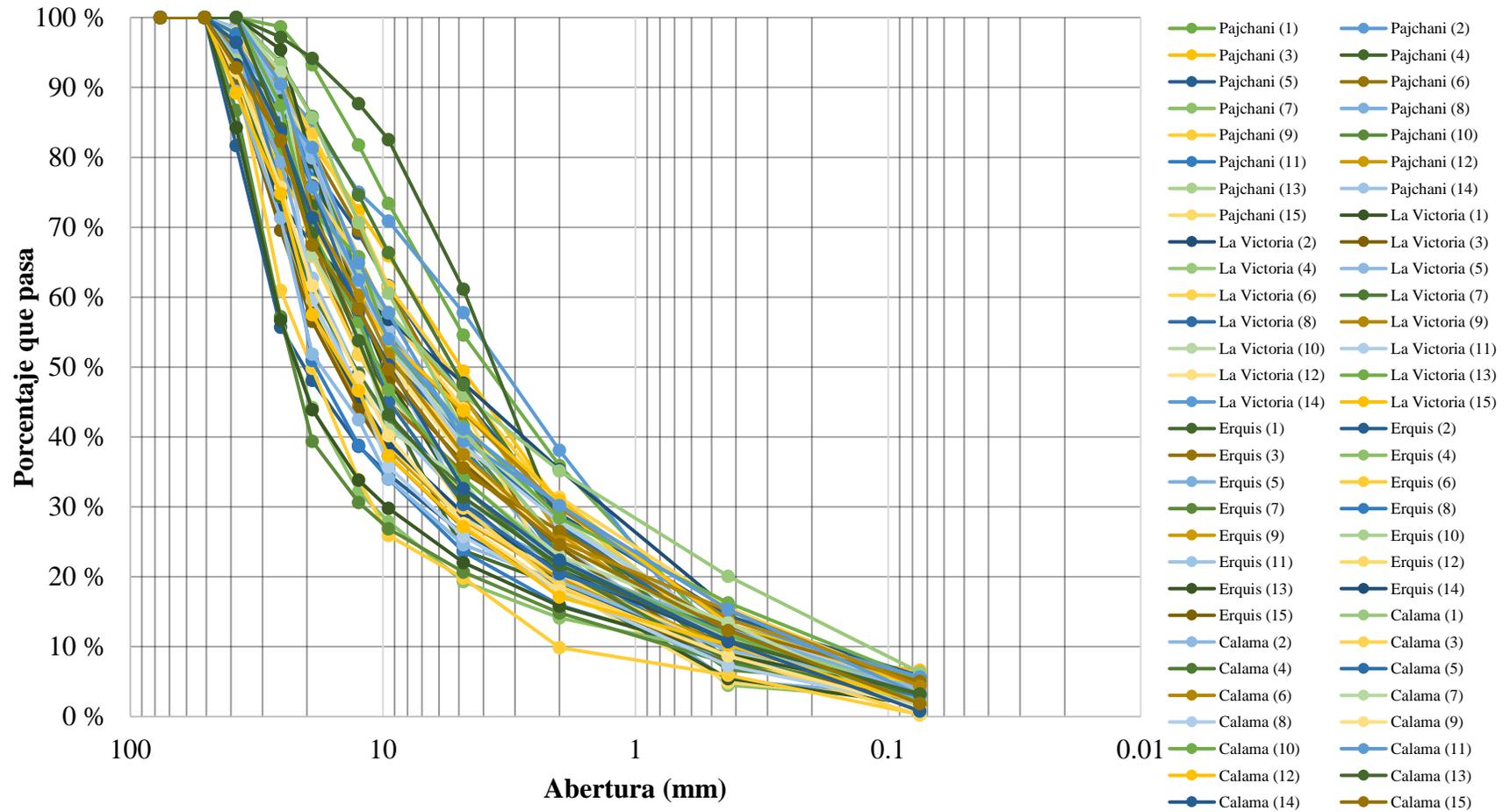
Tamices	3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°40	N°200	Cu	Cc	Clasificación
Tamaño (mm)	76.2	50.8	38.1	25.4	19.05	12.5	9.5	4.8	2	0.43	0.075			
Pajchani (1)	100.00	100.00	100.00	98.68	93.24	81.80	73.42	54.60	35.94	10.32	4.88	14.95	0.86	A-1-a(0)
Pajchani (2)	100.00	100.00	97.89	90.05	84.85	75.02	70.89	57.81	38.11	7.18	3.47	10.98	0.68	A-1-a(0)
Pajchani (3)	100.00	100.00	100.00	90.26	82.09	72.38	65.96	49.44	30.28	9.46	6.67	16.51	1.15	A-1-a(0)
Pajchani (4)	100.00	100.00	100.00	97.19	94.17	87.69	82.54	61.16	26.82	10.92	5.58	14.56	3.16	A-1-a(0)
Pajchani (5)	100.00	100.00	97.79	85.60	78.74	69.15	61.67	45.55	29.02	14.42	5.83	52.06	2.96	A-1-a(0)
Pajchani (6)	100.00	100.00	97.81	92.17	81.25	69.57	61.34	42.16	21.85	7.20	4.20	15.62	1.53	A-1-a(0)
Pajchani (7)	100.00	100.00	96.07	82.70	74.65	61.33	54.65	40.76	24.63	4.50	2.46	18.20	0.93	A-1-a(0)
Pajchani (8)	100.00	100.00	98.53	90.58	78.13	62.34	54.17	37.99	21.77	5.20	2.96	17.25	1.26	A-1-a(0)
Pajchani (9)	100.00	100.00	97.76	91.05	83.38	70.96	61.55	47.02	30.19	10.24	5.29	22.64	1.13	A-1-a(0)
Pajchani (10)	100.00	100.00	100.00	92.05	79.60	63.82	55.65	39.47	23.25	6.68	4.43	18.95	1.30	A-1-a(0)
Pajchani (11)	100.00	100.00	97.28	89.33	76.92	63.01	54.59	38.41	23.06	7.29	5.67	20.21	1.39	A-1-a(0)
Pajchani (12)	100.00	100.00	97.89	91.21	79.77	65.75	56.97	45.77	26.15	9.04	5.49	22.23	1.15	A-1-a(0)
Pajchani (13)	100.00	100.00	95.92	84.81	72.36	56.23	46.33	33.51	17.67	10.22	5.37	34.50	2.83	A-1-a(0)
Pajchani (14)	100.00	100.00	98.40	90.45	80.12	65.50	55.53	40.99	24.61	7.76	4.39	20.26	1.25	A-1-a(0)
Pajchani (15)	100.00	100.00	97.88	88.34	81.72	64.35	57.61	44.07	18.55	4.90	2.40	13.78	1.10	A-1-a(0)
La Victoria (1)	100.00	100.00	100.00	95.42	79.35	58.74	48.28	30.95	18.97	5.46	1.72	17.81	2.17	A-1-a(0)
La Victoria (2)	100.00	100.00	93.29	73.48	67.54	60.47	56.84	47.72	35.38	15.43	4.53	67.11	0.80	A-1-a(0)
La Victoria (3)	100.00	100.00	96.54	83.39	69.23	54.71	48.09	36.27	24.28	7.38	1.79	26.53	1.15	A-1-a(0)
La Victoria (4)	100.00	100.00	97.03	80.77	72.83	63.23	57.89	46.03	35.15	20.09	6.35	88.25	1.10	A-1-a(0)
La Victoria (5)	100.00	100.00	100.00	88.69	79.96	61.16	50.99	30.25	18.57	8.14	1.90	21.25	3.21	A-1-a(0)
La Victoria (6)	100.00	100.00	97.03	86.93	75.21	65.66	52.66	38.01	31.43	15.62	4.28	61.61	1.52	A-1-a(0)

La Victoria (7)	100.00	100.00	100.00	93.51	85.86	74.62	66.39	47.48	27.62	7.96	1.54	15.10	1.31	A-1-a(0)
La Victoria (8)	100.00	100.00	93.27	79.36	69.05	56.56	51.15	40.10	27.66	10.55	3.05	36.92	1.04	A-1-a(0)
La Victoria (9)	100.00	100.00	95.67	79.09	74.10	61.61	53.53	43.55	29.85	13.95	5.23	62.26	1.82	A-1-a(0)
La Victoria (10)	100.00	100.00	96.71	83.26	72.24	63.04	52.77	40.24	28.44	12.09	3.60	41.18	1.55	A-1-a(0)
La Victoria (11)	100.00	100.00	95.61	83.67	75.62	61.91	53.38	38.80	27.79	12.43	4.49	47.00	1.93	A-1-a(0)
La Victoria (12)	100.00	100.00	100.00	85.30	76.37	58.15	50.59	37.07	24.64	12.03	3.23	45.03	2.25	A-1-a(0)
La Victoria (13)	100.00	100.00	92.66	80.89	72.22	65.78	53.35	41.57	28.43	16.31	5.32	68.88	2.80	A-1-a(0)
La Victoria (14)	100.00	100.00	96.45	86.67	81.43	64.90	57.74	39.46	30.40	13.17	5.72	51.75	1.80	A-1-a(0)
La Victoria (15)	100.00	100.00	94.08	77.31	70.23	59.55	53.84	43.79	30.97	13.31	4.26	55.39	1.16	A-1-a(0)
Erquis (1)	100.00	100.00	93.28	88.08	73.08	55.84	43.97	23.78	18.71	10.50	3.29	36.42	6.69	A-1-a(0)
Erquis (2)	100.00	100.00	81.70	55.72	48.10	38.69	34.65	26.09	18.49	10.08	3.22	64.67	3.77	A-1-a(0)
Erquis (3)	100.00	100.00	95.41	82.31	67.99	51.85	45.01	34.92	26.54	12.69	5.04	67.17	2.32	A-1-a(0)
Erquis (4)	100.00	100.00	84.35	57.11	44.25	32.16	27.90	19.34	14.14	9.06	2.28	46.47	7.81	A-1-a(0)
Erquis (5)	100.00	100.00	94.64	79.36	62.66	45.50	39.34	28.75	21.96	12.48	3.55	68.69	5.82	A-1-a(0)
Erquis (6)	100.00	100.00	92.09	60.98	49.84	33.92	25.93	19.85	9.91	5.94	0.31	12.32	2.40	A-1-a(0)
Erquis (7)	100.00	100.00	86.73	57.25	39.42	30.65	26.89	20.70	14.85	7.62	4.33	37.13	7.58	A-1-a(0)
Erquis (8)	100.00	100.00	97.68	75.37	50.96	38.84	34.00	23.61	15.98	8.70	2.96	37.16	4.43	A-1-a(0)
Erquis (9)	100.00	100.00	91.48	71.46	57.94	44.56	38.24	28.07	19.81	10.16	3.32	48.56	3.67	A-1-a(0)
Erquis (10)	100.00	100.00	93.89	71.87	58.30	46.97	41.60	32.36	22.59	10.86	2.13	54.92	2.12	A-1-a(0)
Erquis (11)	100.00	100.00	91.19	74.43	62.75	48.89	42.22	30.93	22.48	11.33	3.67	54.81	3.39	A-1-a(0)
Erquis (12)	100.00	100.00	91.51	72.46	59.73	45.69	38.88	28.29	20.32	9.43	2.01	40.83	3.19	A-1-a(0)
Erquis (13)	100.00	100.00	84.26	56.70	43.92	33.83	29.81	22.04	15.83	8.92	3.28	48.49	6.31	A-1-a(0)
Erquis (14)	100.00	100.00	93.26	72.64	58.05	45.58	39.09	29.07	20.96	10.86	3.23	56.63	3.78	A-1-a(0)
Erquis (15)	100.00	100.00	90.24	69.59	56.54	43.91	37.34	26.99	18.10	8.37	1.95	36.71	2.97	A-1-a(0)

Calama (1)	100.00	100.00	100.00	93.37	85.70	70.68	60.58	40.79	24.68	11.80	3.43	31.03	2.55	A-1-a(0)
Calama (2)	100.00	100.00	89.46	71.37	51.89	42.48	34.03	24.61	19.34	9.50	4.22	45.70	4.99	A-1-a(0)
Calama (3)	100.00	100.00	100.00	85.73	65.83	51.80	45.34	29.86	18.64	8.67	0.25	30.19	2.75	A-1-a(0)
Calama (4)	100.00	100.00	92.40	74.30	60.54	49.14	42.52	32.67	21.06	8.02	3.29	34.56	1.53	A-1-a(0)
Calama (5)	100.00	100.00	100.00	85.95	75.96	57.83	45.11	30.36	20.46	12.42	1.71	45.34	5.69	A-1-a(0)
Calama (6)	100.00	100.00	100.00	91.53	71.64	60.26	51.70	37.54	25.07	15.18	4.38	65.21	3.38	A-1-a(0)
Calama (7)	100.00	100.00	100.00	92.15	66.06	54.75	41.02	33.88	23.00	13.44	0.70	56.33	3.02	A-1-a(0)
Calama (8)	100.00	100.00	100.00	86.81	59.58	46.97	35.75	25.80	18.04	7.30	1.63	30.38	3.40	A-1-a(0)
Calama (9)	100.00	100.00	92.33	75.76	61.67	48.57	40.18	27.66	18.04	8.72	1.19	34.09	3.11	A-1-a(0)
Calama (10)	100.00	100.00	100.00	87.42	69.42	56.50	46.77	34.08	22.18	11.68	2.09	43.75	2.83	A-1-a(0)
Calama (11)	100.00	100.00	100.00	90.48	75.76	62.46	54.03	41.15	30.22	15.34	3.15	57.65	1.65	A-1-a(0)
Calama (12)	100.00	100.00	89.21	74.84	57.53	46.65	37.32	27.17	17.12	10.28	1.90	48.44	4.15	A-1-a(0)
Calama (13)	100.00	100.00	100.00	84.13	69.20	53.80	43.19	31.40	21.69	10.89	3.25	42.37	3.46	A-1-a(0)
Calama (14)	100.00	100.00	96.45	83.63	71.39	58.18	50.31	32.64	22.42	10.72	0.81	34.84	2.92	A-1-a(0)
Calama (15)	100.00	100.00	92.82	82.47	67.49	58.36	49.67	35.61	24.62	12.32	1.89	46.52	2.41	A-1-a(0)

Fuente: Elaboración propia.

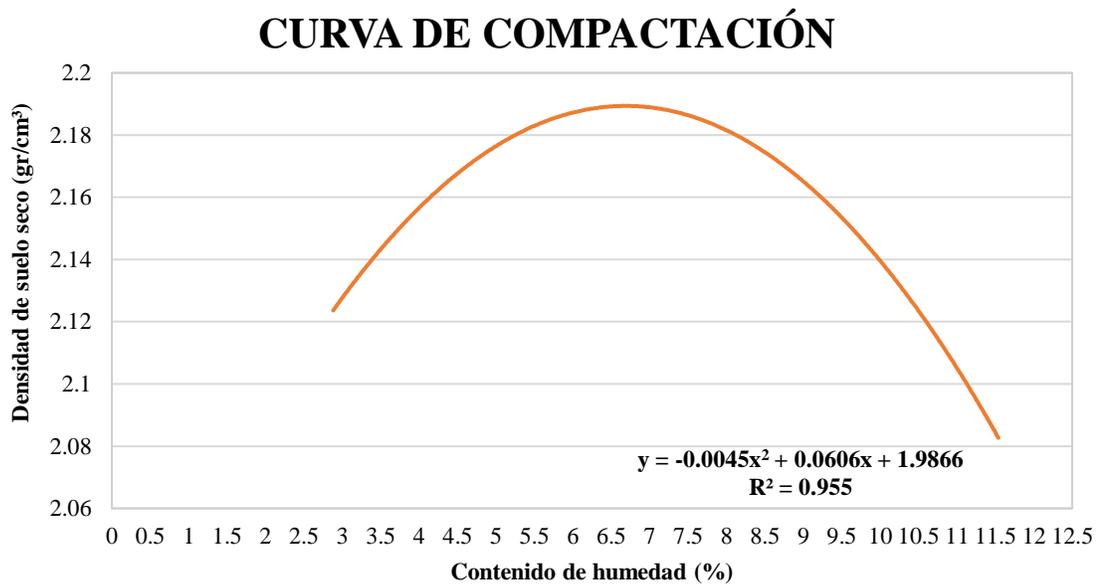
Gráfica 3.5. Curvas granulométricas de los distintos ríos.



Fuente: Elaboración propia.

Las compactaciones que se presentan es respecto a los cuatro ríos que se tomaron en cuenta para el estudio.

Gráfica 3.6. Curva de compactación del Río Pajchani



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3.11. Densidades máximas y humedad óptima.

Ríos	Densidad máxima (gr/cm ³)	Humedad óptima (%)
Río Pajchani	2.19	6.69
Río La Victoria	2.20	6.39
Río Erquis	2.24	5.72
Río Calama	2.22	6.66

Fuente: Elaboración propia.

En la elaboración dependiente en este caso es el valor de C.B.R. para cada punto de los cuatro ríos se obtuvo los siguientes valores al 100% y al 95%.

Tabla 3.12. Valor de C.B.R. del río Pajchani.

Punto	C.B.R. 100% D.Máx.	C.B.R. 95% D.Máx.
Pajchani (1)	44.76	42.52
Pajchani (2)	71.12	67.56
Pajchani (3)	55.07	52.31
Pajchani (4)	50.45	47.93
Pajchani (5)	42.77	40.63
Pajchani (6)	40.47	38.45
Pajchani (7)	46.02	43.71
Pajchani (8)	60.10	57.09
Pajchani (9)	53.66	50.98
Pajchani (10)	54.83	52.09
Pajchani (11)	57.25	54.39
Pajchani (12)	48.72	46.28
Pajchani (13)	50.71	48.17
Pajchani (14)	61.27	58.20
Pajchani (15)	50.85	48.31

Fuente: Elaboración propia

El río Pajchani no presenta C.B.R. al 100% altos, el máximo es de 71.12% del punto (2) y como mínimo el punto (6) con 40.47%

Tabla 3.13. Valor de C.B.R. del río La Victoria.

Punto	C.B.R. 100% D.máx	C.B.R. 95% D.Máx.
La Victoria (1)	92.57	87.94
La Victoria (2)	78.62	74.69
La Victoria (3)	99.13	94.18
La Victoria (4)	87.42	83.05
La Victoria (5)	99.40	94.43
La Victoria (6)	95.58	90.80
La Victoria (7)	66.56	63.23
La Victoria (8)	86.66	82.33
La Victoria (9)	78.84	74.90
La Victoria (10)	95.58	90.80
La Victoria (11)	93.87	89.18
La Victoria (12)	98.53	93.60
La Victoria (13)	69.85	66.35
La Victoria (14)	96.21	91.40
La Victoria (15)	70.97	67.42

Fuente: Elaboración propia

EL C.B.R. al 100%, el máximo del río La Victoria es el punto (3) con 99.13% y un mínimo de 66.56% en el punto (7).

Tabla 3.14. Valor de C.B.R. del río Erquis.

Punto	C.B.R. 100% D.Máx.	C.B.R. 95% D.Máx.
Erquis (1)	76.57	72.74
Erquis (2)	89.78	85.29
Erquis (3)	72.53	68.90
Erquis (4)	98.51	93.59
Erquis (5)	94.08	89.37
Erquis (6)	82.83	78.69
Erquis (7)	99.19	94.23
Erquis (8)	93.99	89.29
Erquis (9)	91.57	86.99
Erquis (10)	86.13	81.82
Erquis (11)	95.56	90.78
Erquis (12)	93.99	89.29
Erquis (13)	78.25	74.33
Erquis (14)	88.01	83.61
Erquis (15)	76.57	72.74

Fuente: Elaboración propia

El río Erquis tiene un máximo C.B.R. al 100% de 99.19% el punto (7) y un mínimo de 72.53% el punto (3).

Tabla 3.15. Valor de C.B.R. del río Calama.

Punto	C.B.R. 100% D.Máx.	C.B.R. 95% D.Máx.
Calama (1)	50.89	48.34
Calama (2)	68.77	65.33
Calama (3)	56.40	53.58
Calama (4)	65.28	62.02
Calama (5)	65.48	62.21
Calama (6)	67.73	64.34
Calama (7)	63.14	59.99
Calama (8)	75.07	71.31
Calama (9)	68.71	65.27
Calama (10)	72.38	68.76
Calama (11)	61.71	58.62
Calama (12)	67.99	64.59
Calama (13)	63.93	60.74
Calama (14)	60.83	57.79
Calama (15)	72.93	69.29

Fuente: Elaboración propia

El máximo valor del río Calama es el punto (8) con un C.B.R. 100% de 75.07% de máximo y mínimo de 50.89% el punto (1).

CAPÍTULO IV



ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

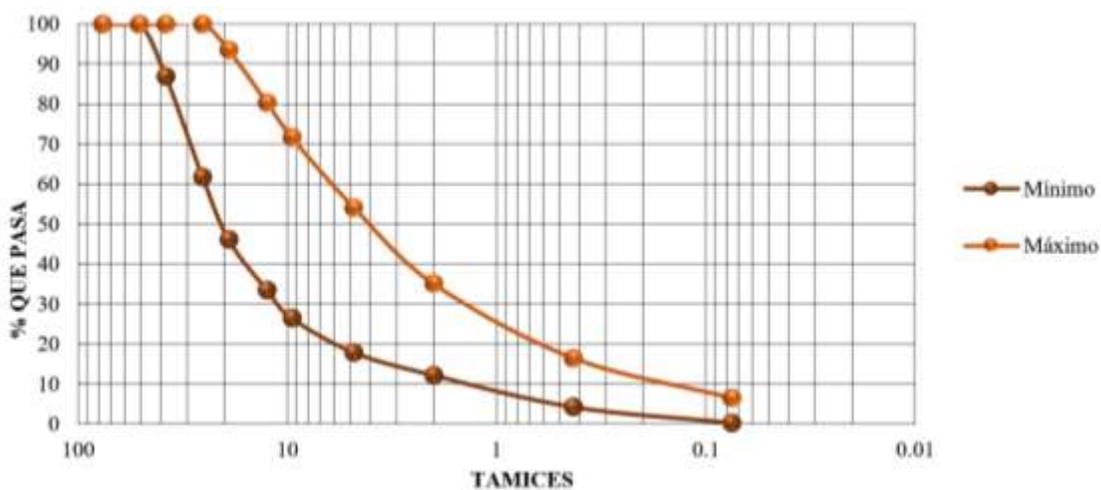
Según las curvas granulométricas, establecimos límites máximos y mínimos, en la cual se presenta en la siguiente planilla de acuerdo a los tamices según la norma AASTHO.

Tabla 4.1. Límites máximos y mínimos de la granulometría.

Tamices	Tamaño (mm)	Media	Desviación	Rangos	
				Mínimos	Máximos
3"	76.2	100.00	0.00	100.00	100.00
2"	50.8	100.00	0.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.1	95.60	4.43	86.92	100.00
1"	25.4	81.96	10.29	61.78	100.00
3/4"	19.05	69.76	12.09	46.07	93.45
1/2"	12.5	56.90	11.95	33.48	80.32
3/8"	9.5	49.04	11.52	26.47	71.62
N°4	4.8	36.00	9.23	17.91	54.09
N°10	2	23.65	5.82	12.23	35.06
N°40	0.43	10.37	3.10	4.30	16.45
N°200	0.075	3.41	1.57	0.34	6.48

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.1. Curvas granulométricas de los ríos con límites establecidos.



Fuente: Elaboración propia

4.1. Correlación general entre los parámetros granulométricos con C.B.R.

Los valores que sean eliminados de la base de datos de los cuatro ríos (Pajchani, La Victoria, Erquis y Calama) en cada correlación son para que nos den el mejor modelo matemático ajustado y un alto coeficiente de correlación.

4.1.1. Regresión Simple C.B.R. vs. Tamiz 1 ½”

Según StatAdvisor, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo X-cuadrada es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 29.63%.

Tabla 4.2. Comparación de Modelos Alternos C.B.R. vs. tamiz 1 ½”

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Cuadrado de X	-0.54	29.63%
Cuadrado Doble	-0.54	29.37%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.54	29.37%
Lineal	-0.54	29.12%
Cuadrado de Y	-0.54	28.89%
Raíz Cuadrada de Y	-0.54	28.85%
Raíz Cuadrada de X	-0.54	28.84%
Log-Y Cuadrado-X	-0.54	28.81%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.54	28.62%
Raíz Cuadrada Doble	-0.53	28.57%
Logaritmo de X	-0.53	28.54%
Cuadrado-Y Log-X	-0.53	28.34%
Exponencial	-0.53	28.30%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	-0.53	28.27%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.53	28.01%
Inversa de X	0.53	27.91%
Cuadrado-Y Inversa de X	0.53	27.74%
Multiplicativa	-0.53	27.72%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	0.53	27.63%
Curva S	0.52	27.08%
Inversa-Y Cuadrado-X	0.52	26.80%
Inversa de Y	0.51	26.31%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.51	26.04%
Inversa-Y Log-X	0.51	25.76%
Doble Inverso	-0.50	25.16%
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

Tomando en cuenta la variable dependiente son los valores de C.B.R. y la variable independiente es el tamiz 1 1/2", tenemos como ecuación:

Cuadrado de X:

$$Y = a + b \cdot X^2$$

El análisis de varianza entre las dos variables son las siguientes:

Coefficiente de Correlación = -0.54

R-cuadrada = 29.63%

Número de filas excluidas = 4

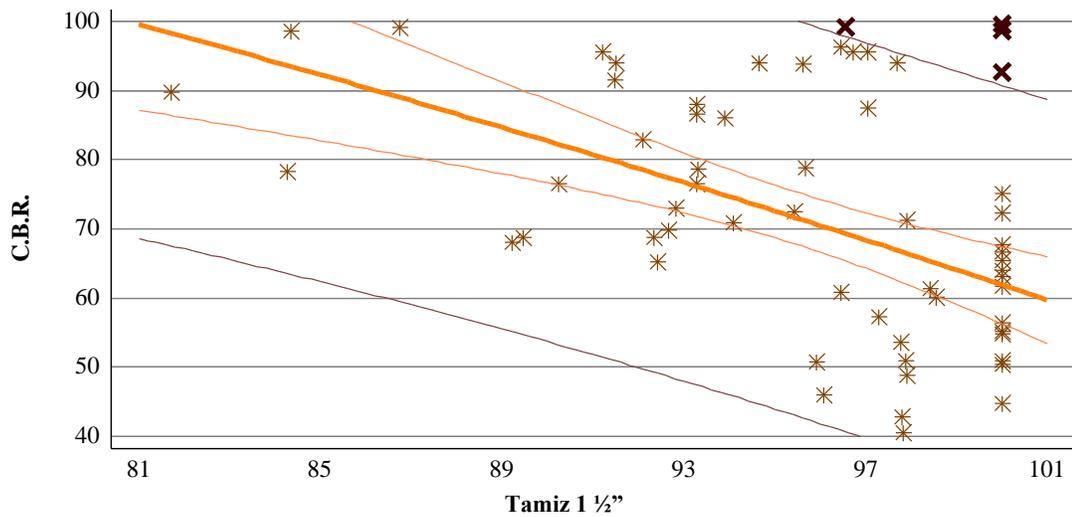
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo X-cuadrada para describir la relación entre C.B.R. y Tamiz 1 1/2". La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{C. B. R.} = 171.312 - 0.0109484 \cdot (\text{Tamiz } 1 \frac{1}{2} ")^2$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre C.B.R. y Tamiz 1 1/2" con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 29.63% de la variabilidad en C.B.R.. El coeficiente de correlación es igual a -0.54, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

Gráfica 4.2. Modelo matemático de C.B.R. vs. tamiz 1 ½”



Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

4.1.2. Regresión Simple C.B.R. vs. Tamiz 1”

Según StatAdvisor, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo Y-inversa X-cuadrada es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 41.22%.

Tabla 4.3. Comparación de Modelos Alternos C.B.R. vs. tamiz 1”

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Inversa-Y Cuadrado-X	0.64	41.22%
Log-Y Cuadrado-X	-0.63	39.91%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.62	38.88%
Inversa de Y	0.62	38.05%
Cuadrado de X	-0.61	37.64%
Exponencial	-0.61	37.15%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.60	36.35%
Raíz Cuadrada de Y	-0.60	36.33%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.60	35.64%
Lineal	-0.59	35.31%
Raíz Cuadrada Doble	-0.59	34.93%
Cuadrado Doble	-0.59	34.75%
Inversa-Y Log-X	0.59	34.58%
Multiplicativa	-0.58	34.06%
Raíz Cuadrada de X	-0.58	34.01%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	-0.58	33.45%

Cuadrado de Y	-0.57	32.84%
Logaritmo de X	-0.57	32.65%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.56	31.76%
Doble Inverso	-0.56	30.96%
Curva S	0.55	30.78%
Cuadrado-Y Log-X	-0.55	30.61%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	0.55	30.36%
Inversa de X	0.55	29.76%
Cuadrado-Y Inversa de X	0.53	28.14%
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

Tomando en cuenta la variable dependiente son los valores de C.B.R. y la variable independiente es el tamiz 1", tenemos como ecuación:

Inversa-Y Cuadrado-X:

$$Y = \frac{1}{(a + b \cdot X^2)}$$

El análisis de varianza entre las dos variables son las siguientes:

Coefficiente de Correlación = 0.64

R-cuadrada = 41.22 %

Número de filas excluidas = 5

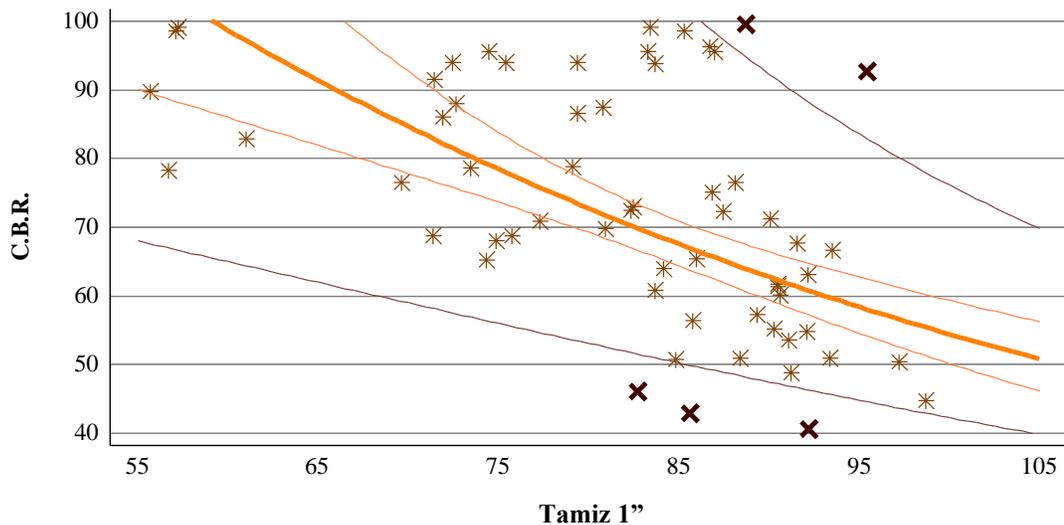
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo Y-inversa X-cuadrada para describir la relación entre C.B.R. y Tamiz 1". La ecuación del modelo ajustado es

$$C. B. R. = \frac{1}{(0.00548802 + 0.00000129175 \cdot (Tamiz 1")^2)}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre C.B.R. y Tamiz 1" con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 41.22% de la variabilidad en C.B.R. El coeficiente de correlación es igual a 0.64, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

Gráfica 4.3. Modelo matemático de C.B.R. vs. tamiz 1"



Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

4.1.3. Regresión Simple C.B.R. vs. Tamiz ¾"

Según StatAdvisor, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo lineal es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 55.49%.

Tabla 4.4. Comparación de Modelos Alternos C.B.R. vs. tamiz ¾"

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Lineal	-0.74	55.49%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.74	55.38%
Cuadrado de X	-0.74	55.33%
Raíz Cuadrada de Y	-0.74	55.12%
Cuadrado de Y	-0.74	55.07%
Log-Y Cuadrado-X	-0.74	54.97%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.74	54.96%
Raíz Cuadrada de X	-0.74	54.94%
Cuadrado-Y Log-X	-0.74	54.43%
Raíz Cuadrada Doble	-0.74	54.35%
Exponencial	-0.74	54.30%

Cuadrado Doble	-0.74	54.09%
Logaritmo de X	-0.73	53.95%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.73	53.33%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	-0.73	53.15%
Inversa-Y Cuadrado-X	0.73	52.72%
Cuadrado-Y Inversa de X	0.72	52.11%
Multiplicativa	-0.72	51.94%
Inversa de Y	0.72	51.33%
Inversa de X	0.71	50.76%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.71	50.03%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	0.70	49.57%
Inversa-Y Log-X	0.70	48.34%
Curva S	0.69	48.03%
Doble Inverso	-0.66	43.94%
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

Tomando en cuenta la variable dependiente son los valores de C.B.R. y la variable independiente es el tamiz $\frac{3}{4}$ ", tenemos como ecuación:

Lineal:

$$Y = a + b \cdot X$$

El análisis de varianza entre las dos variables son las siguientes:

Coefficiente de Correlación = -0.74

R-cuadrada = 55.49 %

Número de filas excluidas = 8

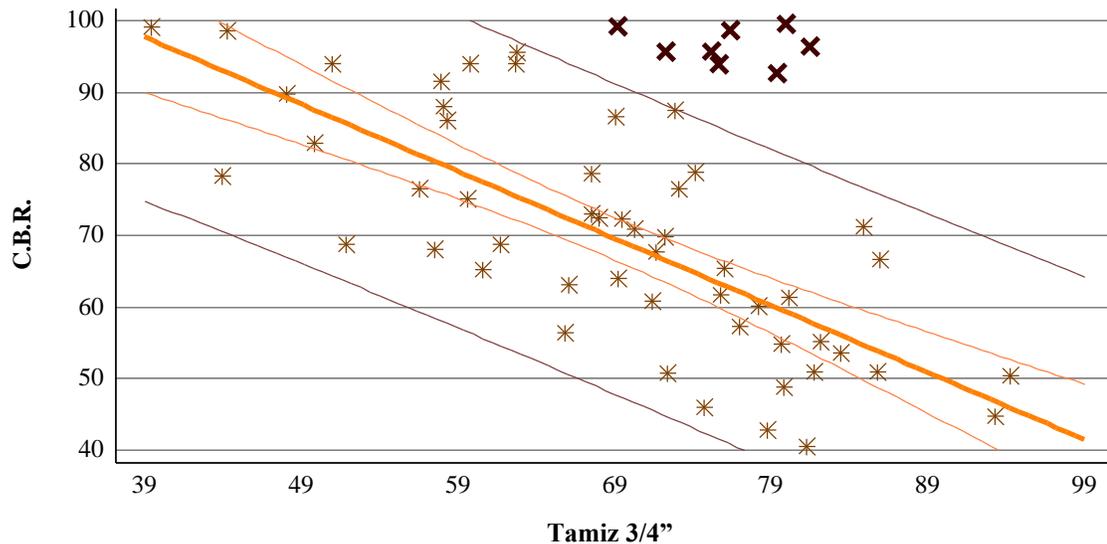
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo lineal para describir la relación entre C.B.R. y Tamiz $\frac{3}{4}$ ". La ecuación del modelo ajustado es

$$C. B. R. = 134.235 - 0.937815 \cdot Tamiz \frac{3}{4} "$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre C.B.R. y Tamiz $\frac{3}{4}$ " con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 55.49 % de la variabilidad en C.B.R.. El coeficiente de correlación es igual a -0.74, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

Gráfica 4.4. Modelo matemático de C.B.R. vs. tamiz ¾”



Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

4.1.3.1. Estadística descriptiva de C.B.R. vs. Tamiz ¾”

Según la base de datos de las dos variables, el programa Software Statgraphics nos facilita calcular lo siguiente:

Tabla 4.5. Análisis estadístico descriptivo de C.B.R. vs. Tamiz ¾”

		Tamiz ¾”	C.B.R.
Recuento (número de datos)	n	60	60
Promedio (media aritmética)	\bar{x}	69.76	73.29
Mediana	me	71.93	71.79
Desviación Estándar	S_x	12.09	17.38
Mínimo		39.42	40.55
Máximo		94.17	99.40

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

El número de datos para la estadística es 60 puntos, tomando esa base se obtiene una media aritmética alta del valor de C.B.R., en relación con la media el tamiz ¾” obtiene el 71.93,

la desviación estándar esta con un valor de 17.38 del C.B.R., entre los mínimos de los datos, el C.B.R. obtiene un valor de 40.55 y los máximos el C.B.R. también tiene un 99.44.

4.1.4. Regresión Simple C.B.R. vs. Tamiz ½”

Según StatAdvisor, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo Y-inversa X-cuadrada es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 37.27%.

Tabla 4.6. Comparación de Modelos Alternos C.B.R. vs. tamiz ½”

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Inversa-Y Cuadrado-X	0.61	37.27%
Inversa de Y	0.58	34.08%
Log-Y Cuadrado-X	-0.58	33.18%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.57	32.10%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.56	31.05%
Exponencial	-0.56	30.99%
Inversa-Y Log-X	0.55	29.95%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.54	29.53%
Raíz Cuadrada de Y	-0.54	29.30%
Cuadrado de X	-0.54	28.95%
Raíz Cuadrada Doble	-0.53	28.07%
Multiplicativa	-0.53	27.89%
Lineal	-0.53	27.59%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	-0.52	26.67%
Raíz Cuadrada de X	-0.51	26.58%
Doble Inverso	-0.50	25.47%
Logaritmo de X	-0.50	25.40%
Cuadrado Doble	-0.50	25.01%
Curva S	0.49	24.34%
Cuadrado de Y	-0.49	24.28%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.49	23.64%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	0.49	23.58%
Cuadrado-Y Log-X	-0.48	22.84%
Inversa de X	0.48	22.73%
Cuadrado-Y Inversa de X	0.46	20.93%
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

Tomando en cuenta la variable dependiente son los valores de C.B.R. y la variable independiente es el tamiz 1/2", tenemos como ecuación:

Inversa-Y Cuadrado-X:

$$Y = \frac{1}{(a + b \cdot X^2)}$$

El análisis de varianza entre las dos variables son las siguientes:

Coefficiente de Correlación = 0.61

R-cuadrada = 37.27 %

Número de filas excluidas = 7

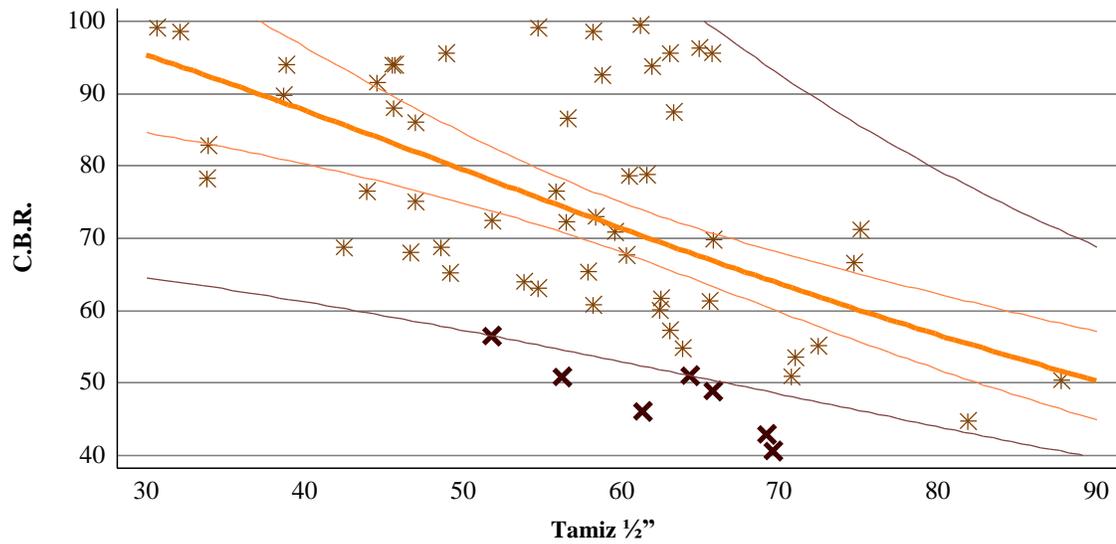
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo Y-inversa X-cuadrada para describir la relación entre C.B.R. y Tamiz 1/2". La ecuación del modelo ajustado es

$$C. B. R. = \frac{1}{(0.00932713 + 0.00000130416 \cdot (Tamiz \ 1/2")^2)}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre C.B.R. y Tamiz 1/2" con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 34.64 % de la variabilidad en C.B.R.. El coeficiente de correlación es igual a 0.59, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

Gráfica 4.5. Modelo matemático de C.B.R. vs. tamiz ½”



Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

4.1.5. Regresión Simple C.B.R. vs. Tamiz 3/8”.

Según StatAdvisor, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo Y-inversa X-cuadrada es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 31.77%.

Tabla 4.7. Comparación de Modelos Alternos C.B.R. vs. tamiz 3/8”

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Inversa-Y Cuadrado-X	0.56	31.77%
Inversa de Y	0.55	29.91%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.53	28.42%
Log-Y Cuadrado-X	-0.53	28.05%
Exponencial	-0.52	26.82%
Inversa-Y Log-X	0.52	26.66%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.51	26.16%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.51	25.71%
Raíz Cuadrada de Y	-0.50	25.21%
Multiplicativa	-0.49	24.36%
Cuadrado de X	-0.49	24.33%
Raíz Cuadrada Doble	-0.49	24.27%
Lineal	-0.49	23.61%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	-0.48	23.09%
Raíz Cuadrada de X	-0.48	22.82%
Doble Inverso	-0.48	22.69%

Logaritmo de X	-0.47	21.81%
Curva S	0.46	21.18%
Cuadrado Doble	-0.45	20.93%
Cuadrado de Y	-0.45	20.57%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	0.45	20.28%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.45	20.04%
Inversa de X	0.44	19.35%
Cuadrado-Y Log-X	-0.44	19.31%
Cuadrado-Y Inversa de X	0.42	17.44%
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

Tomando en cuenta la variable dependiente son los valores de C.B.R. y la variable independiente es el tamiz 3/8", tenemos como ecuación:

Inversa-Y Cuadrado-X:

$$Y = \frac{1}{(a + b \cdot X^2)}$$

El análisis de varianza entre las dos variables son las siguientes:

Coefficiente de Correlación = 0.56

R-cuadrada = 31.77 %

Número de filas excluidas = 5

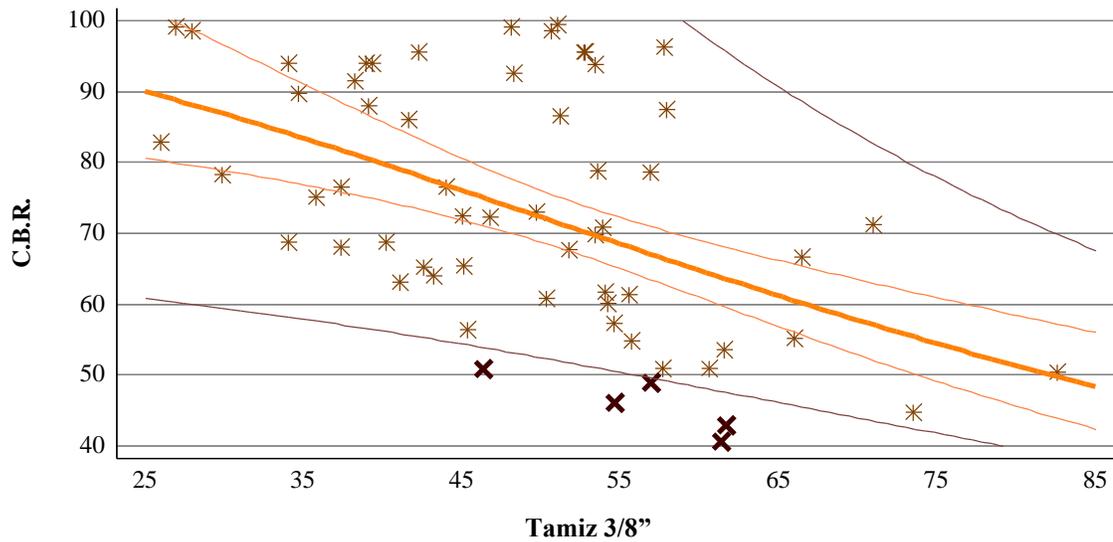
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo Y-inversa X-cuadrada para describir la relación entre C.B.R. y Tamiz 3/8". La ecuación del modelo ajustado es

$$C. B. R. = \frac{1}{\left(0.0102157 + 0.00000145446 \cdot (Tamiz \ 3/8")^2\right)}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre C.B.R. y Tamiz 3/8" con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 31.77% de la variabilidad en C.B.R.. El coeficiente de correlación es igual a 0.56, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

Gráfica 4.6. Modelo matemático de C.B.R. vs. tamiz 3/8".



Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

4.1.6. Regresión Simple C.B.R. vs. Tamiz N°4

Según StatAdvisor, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo Y-inversa X-cuadrada es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 27.29%.

Tabla 4.8. Comparación de Modelos Alternos C.B.R. vs. tamiz N°4.

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Inversa-Y Cuadrado-X	0.52	27.29%
Inversa de Y	0.52	26.90%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.51	26.19%
Inversa-Y Log-X	0.50	25.20%
Log-Y Cuadrado-X	-0.50	24.81%
Exponencial	-0.50	24.73%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.49	24.25%
Raíz Cuadrada de Y	-0.49	23.57%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.48	23.52%
Multiplicativa	-0.48	23.49%
Doble Inverso	-0.48	22.57%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	-0.47	22.53%
Lineal	-0.47	22.39%
Cuadrado de X	-0.47	22.24%
Raíz Cuadrada de X	-0.47	22.07%
Logaritmo de X	-0.46	21.52%
Curva S	0.46	21.38%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	0.45	20.65%
Cuadrado de Y	-0.45	20.11%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.45	19.92%
Inversa de X	0.45	19.87%
Cuadrado Doble	-0.45	19.82%
Cuadrado-Y Log-X	-0.44	19.52%
Cuadrado-Y Inversa de X	0.43	18.24%
Raíz Cuadrada Doble	<sin ajuste>	
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

Tomando en cuenta la variable dependiente son los valores de C.B.R. y la variable independiente es el tamiz N°4 tenemos como ecuación:

Inversa-Y Cuadrado-X:

$$Y = \frac{1}{(a + b \cdot X^2)}$$

El análisis de varianza entre las dos variables son las siguientes:

Coefficiente de Correlación = 0.52

R-cuadrada = 27.29 %

Número de filas excluidas = 4

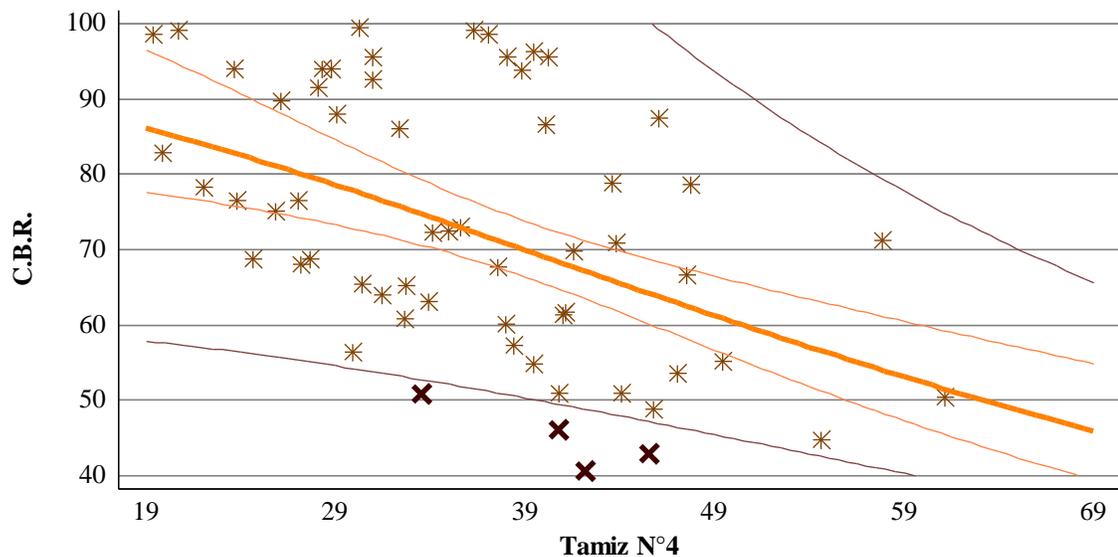
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo Y-inversa X-cuadrada para describir la relación entre C.B.R. y Tamiz N°4. La ecuación del modelo ajustado es

$$C. B. R. = \frac{1}{(0.0107897 + 0.00000231468 \cdot (Tamiz N^{\circ}4)^2)}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre C.B.R. y Tamiz N°4 con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 27.29 % de la variabilidad en C.B.R.. El coeficiente de correlación es igual a 0.52, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

Gráfica 4.7. Modelo matemático de C.B.R. vs. tamiz N°4



Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

4.1.7. Regresión Simple C.B.R. vs. Tamiz N°10

Según StatAdvisor, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo doble inverso es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 4.58%.

Tabla 4.9. Comparación de Modelos Alternos C.B.R. vs. tamiz N°10

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Doble Inverso	-0.21	4.58%
Curva S	0.21	4.46%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	0.21	4.37%
Inversa de X	0.21	4.27%
Inversa-Y Log-X	0.20	4.07%
Cuadrado-Y Inversa de X	0.20	4.05%
Multiplicativa	-0.20	3.91%
Logaritmo de X	-0.19	3.73%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.19	3.68%
Cuadrado-Y Log-X	-0.19	3.55%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.19	3.50%
Raíz Cuadrada de X	-0.18	3.33%
Inversa de Y	0.18	3.27%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.18	3.17%
Exponencial	-0.18	3.08%
Raíz Cuadrada de Y	-0.17	3.00%
Lineal	-0.17	2.92%
Cuadrado de Y	-0.17	2.79%
Inversa-Y Cuadrado-X	0.16	2.50%
Log-Y Cuadrado-X	-0.15	2.31%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.15	2.24%
Cuadrado de X	-0.15	2.18%
Cuadrado Doble	-0.14	2.08%
Raíz Cuadrada Doble	<sin ajuste>	
Raíz Cuadrada-Y Log-X	<sin ajuste>	
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

Tomando en cuenta la variable dependiente son los valores de C.B.R. y la variable independiente es el tamiz N°10, tenemos como ecuación:

Doble Inverso:

$$Y = \frac{1}{\left(a + \frac{b}{X}\right)}$$

El análisis de varianza entre las dos variables son las siguientes:

Coefficiente de Correlación = -0.21

R-cuadrada = 4.57 %

Número de filas excluidas = 2

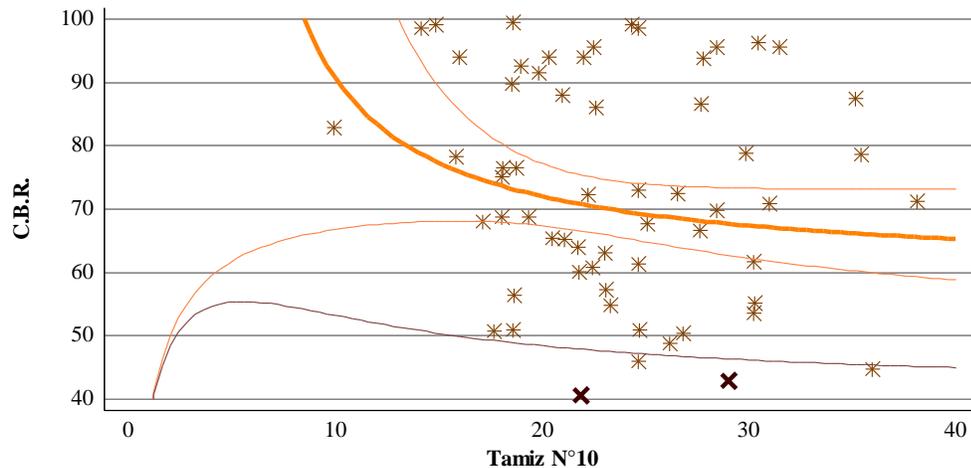
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo doble inverso para describir la relación entre C.B.R. y Tamiz N°10. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{C. B. R.} = \frac{1}{\left(0.0167624 - \frac{0.0572602}{\text{Tamiz N}^\circ 10}\right)}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre C.B.R. y Tamiz N°10 con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 4.58% de la variabilidad en C.B.R.. El coeficiente de correlación es igual a -0.21, indicando una relación relativamente débil entre las variables.

Gráfica 4.8. Modelo matemático de C.B.R. vs. tamiz N°10



Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

4.1.8. Regresión Simple C.B.R. vs. Tamiz N°40

Según StatAdvisor, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo doble inverso es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 14.72%.

Tabla 4.10. Comparación de Modelos Alternos C.B.R. vs. tamiz N°40

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Doble Inverso	0.38	14.72%
Curva S	-0.34	11.35%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0.31	9.87%
Multiplicativa	0.29	8.61%
Inversa de X	-0.29	8.55%
Inversa de Y	-0.28	7.91%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0.27	7.47%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.27	7.28%
Logaritmo de X	0.25	6.44%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0.25	6.37%
Raíz Cuadrada Doble	0.25	6.30%
Exponencial	0.24	6.07%
Raíz Cuadrada de X	0.23	5.42%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.23	5.38%
Raíz Cuadrada de Y	0.23	5.24%
Cuadrado-Y Log-X	0.22	4.72%
Lineal	0.22	4.49%
Log-Y Cuadrado-X	0.20	4.12%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.20	3.93%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.19	3.54%
Cuadrado de Y	0.18	3.22%
Cuadrado de X	0.17	3.01%
Cuadrado Doble	0.14	2.11%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	
Inversa-Y Log-X	<sin ajuste>	
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

Tomando en cuenta la variable dependiente son los valores de C.B.R. y la variable independiente es el tamiz N°40, tenemos como ecuación:

Doble Inverso:

$$Y = \frac{1}{\left(a + \frac{b}{X}\right)}$$

El análisis de varianza entre las dos variables son las siguientes:

Coefficiente de Correlación = 0.38

R-cuadrada = 14.72%

Número de filas excluidas = 7

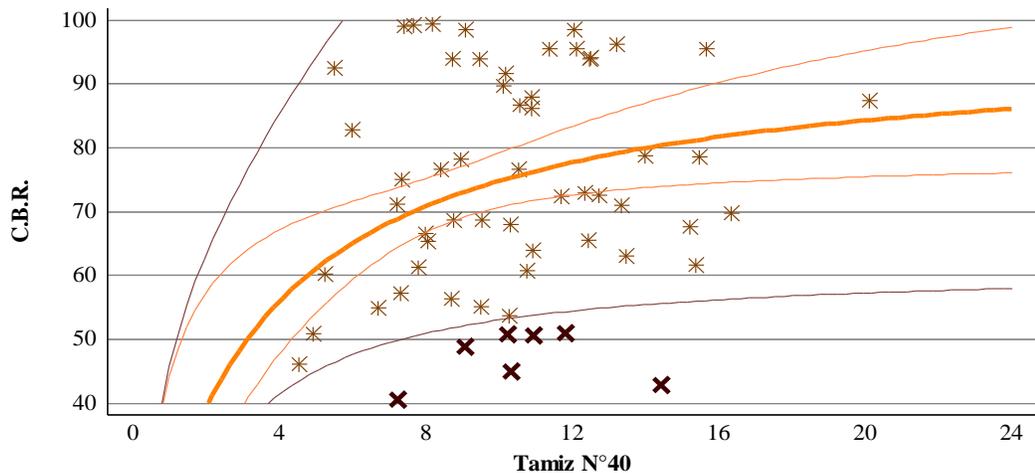
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo doble inverso para describir la relación entre C.B.R. y Tamiz N°40. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{C. B. R.} = \frac{1}{\left(0.0103745 + \frac{0.0300112}{\text{Tamiz N}^\circ 40}\right)}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.05, no hay una relación estadísticamente significativa entre C.B.R. y Tamiz N°40 con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 14.72 % de la variabilidad en C.B.R.. El coeficiente de correlación es igual a 0.38, indicando una relación relativamente débil entre las variables.

Gráfica 4.9. Modelo matemático de C.B.R. vs. tamiz N°40



Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

4.1.9. Regresión Simple C.B.R. vs. Tamiz N°200

Según StatAdvisor, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo Y-inversa X-cuadrada es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 9.48%.

Tabla 4.11. Comparación de Modelos Alternos C.B.R. vs. tamiz N°200

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Inversa-Y Cuadrado-X	0.31	9.48%
Log-Y Cuadrado-X	-0.28	7.59%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	-0.26	6.75%
Cuadrado de X	-0.24	5.99%
Inversa de Y	0.22	4.85%
Cuadrado Doble	-0.22	4.71%
Exponencial	-0.19	3.59%
Raíz Cuadrada de Y	-0.18	3.06%
Lineal	-0.16	2.60%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	0.15	2.13%
Cuadrado de Y	-0.14	1.86%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	-0.12	1.39%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0.12	1.37%
Inversa de X	-0.11	1.25%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0.11	1.17%
Raíz Cuadrada Doble	-0.10	1.10%
Curva S	-0.10	1.09%
Doble Inverso	0.09	0.89%
Raíz Cuadrada de X	-0.09	0.86%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.07	0.50%
Inversa-Y Log-X	0.05	0.28%
Multiplicativa	-0.03	0.09%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	-0.02	0.04%
Logaritmo de X	-0.01	0.01%
Cuadrado-Y Log-X	0.01	0.01%
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

Tomando en cuenta la variable dependiente son los valores de C.B.R. y la variable independiente es el tamiz N°200, tenemos como ecuación:

Inversa-Y Cuadrado-X:

$$Y = \frac{1}{(a + b \cdot X^2)}$$

El análisis de varianza entre las dos variables son las siguientes:

Coefficiente de Correlación = 0.31

R-cuadrada = 9.48 %

Número de filas excluidas = 6

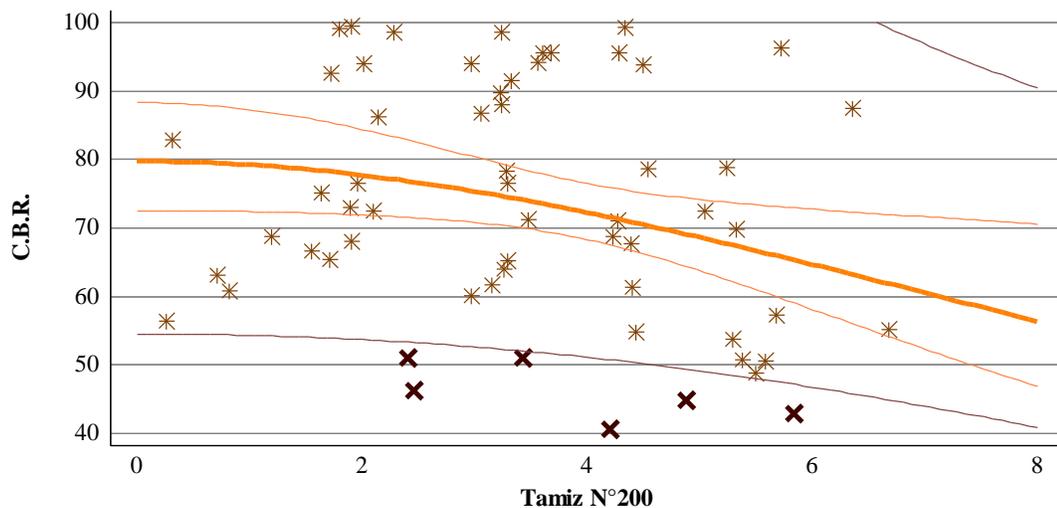
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo Y-inversa X-cuadrada para describir la relación entre C.B.R. y Tamiz N°200. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{C. B. R.} = \frac{1}{(0.0125572 + 0.0000813663 \cdot \text{Tamiz N}^\circ 200^2)}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre C.B.R. y Tamiz N°200 con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 9.48 % de la variabilidad en C.B.R.. El coeficiente de correlación es igual a 0.31, indicando una relación relativamente débil entre las variables.

Gráfica 4.10. Modelo matemático de C.B.R. vs. tamiz N°200



Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

4.1.10. Regresión Simple C.B.R. vs. Cu

Según StatAdvisor, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo Y-inversa log-X es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 25.75%.

Tabla 4.12. Comparación de Modelos Alternos C.B.R. vs. Cu

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Inversa-Y Log-X	-0.51	25.75%
Inversa de Y	-0.49	23.76%
Multiplicativa	0.48	23.17%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.48	22.74%
Doble Inverso	0.48	22.71%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0.47	21.72%
Raíz Cuadrada Doble	0.46	21.26%
Exponencial	0.46	21.26%
Curva S	-0.45	20.63%
Logaritmo de X	0.45	20.22%
Raíz Cuadrada de Y	0.45	19.83%
Raíz Cuadrada de X	0.44	19.73%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0.44	19.47%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.43	18.52%
Lineal	0.43	18.35%
Inversa de X	-0.43	18.27%
Cuadrado-Y Log-X	0.42	17.25%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.41	16.68%
Log-Y Cuadrado-X	0.41	16.51%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0.40	15.90%
Cuadrado de Y	0.39	15.39%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.39	15.35%
Cuadrado de X	0.38	14.14%
Cuadrado Doble	0.34	11.70%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

Tomando en cuenta la variable dependiente son los valores de C.B.R. y la variable independiente es el Cu, tenemos como ecuación:

Inversa-Y Log-X:

$$Y = \frac{1}{(a + b \cdot \ln(X))}$$

El análisis de varianza entre las dos variables son las siguientes:

Coefficiente de Correlación = -0.507454

R-cuadrada = 25.7509 %

Número de filas excluidas: = 2

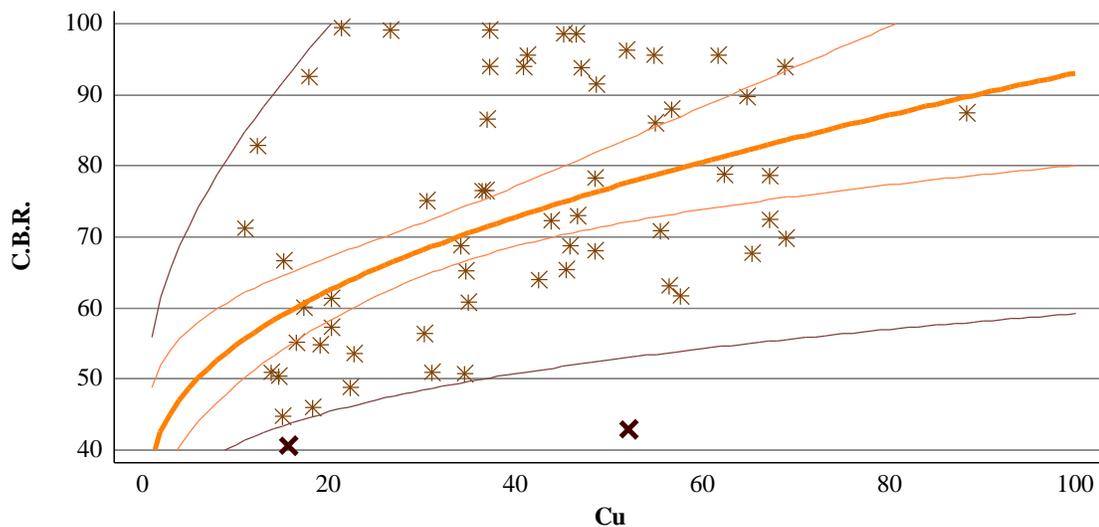
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo Y-inversa log-X para describir la relación entre C.B.R. y Cu. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{C. B. R.} = \frac{1}{(0.0258518 - 0.00327857 \cdot \ln(\text{Cu}))}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es mayor o igual a 0.05, no hay una relación estadísticamente significativa entre C.B.R. y Cu con un nivel de confianza del 95.0% ó más.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 25.75% de la variabilidad en C.B.R.. El coeficiente de correlación es igual a -0.51, indicando una relación moderadamente fuerte entre las variables.

Gráfica 4.11. Modelo matemático de C.B.R. vs. Cu



Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

4.1.11. Regresión Simple C.B.R. vs. Cc

Según StatAdvisor, esta tabla muestra los resultados de ajustar varios modelos curvilíneos a los datos. De los modelos ajustados, el modelo doble inverso es el que arroja el valor más alto de R-Cuadrada con 12.67%.

Tabla 4.13. Comparación de Modelos Alternos C.B.R. vs. Cc

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Doble Inverso	0.36	12.67%
Multiplicativa	0.35	12.42%
Logarítmico-Y Raíz Cuadrada-X	0.36	12.25%
Inversa de Y	-0.35	12.08%
Raíz Cuadrada-Y Log-X	0.34	11.90%
Raíz Cuadrada Doble	0.34	11.84%
Exponencial	0.34	11.70%
Curva S	-0.34	11.48%
Raíz Cuadrada de Y	0.34	11.45%
Raíz Cuadrada de X	0.34	11.42%
Logaritmo de X	0.34	11.37%
Lineal	0.33	11.16%
Raíz Cuadrada-Y Inversa de X	-0.33	10.88%
Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	0.33	10.58%
Cuadrado de Y	0.32	10.56%
Cuadrado-Y Log-X	0.32	10.35%
Inversa de X	-0.32	10.30%
Raíz Cuadrada-X Cuadrado-X	0.32	10.21%
Cuadrado de X	0.32	10.20%
Log-Y Cuadrado-X	0.32	10.19%
Cuadrado Doble	0.32	10.09%
Inversa-Y Cuadrado-X	-0.32	10.03%
Cuadrado-Y Inversa de X	-0.30	9.23%
Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	<sin ajuste>	
Inversa-Y Log-X	<sin ajuste>	
Logístico	<sin ajuste>	
Log probit	<sin ajuste>	

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

Tomando en cuenta la variable dependiente son los valores de C.B.R. y la variable independiente es el Cc, tenemos como ecuación

Doble inverso:

$$Y = \frac{1}{\left(a + \frac{b}{X}\right)}$$

El análisis de varianza entre las dos variables son las siguientes:

Coefficiente de Correlación = 0.36

R-cuadrada = 12.67%

Número de filas excluidas = 2

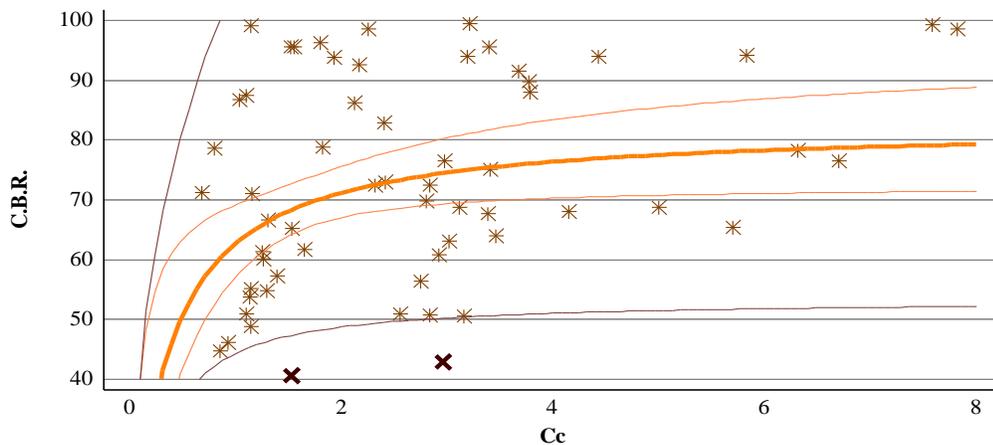
La salida muestra los resultados de ajustar un modelo doble cuadrado para describir la relación entre C.B.R. y Cc. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{C. B. R.} = \frac{1}{\left(0.0121476 - \frac{0.00385762}{Cc}\right)}$$

Puesto que el valor-P en la tabla ANOVA es menor que 0.05, existe una relación estadísticamente significativa entre C.B.R. y Cc con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo ajustado explica 12.67 % de la variabilidad en C.B.R.. El coeficiente de correlación es igual a 0.36, indicando una relación relativamente débil entre las variables.

Gráfica 4.12. Modelo matemático de C.B.R. vs. Cc



Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

Haciendo un resumen del análisis de los cuatro ríos (Pajchani, La Victoria, Erquis y Calama) con los parámetros granulométricos vs. los valores de C.B.R., en la siguiente tabla se presenta el mejor modelo matemático en este caso es lineal.

Tabla 4.14. Resumen de la correlación entre las variables

VARIABLES	Modelo ajustado	Modelo matemático	Coefficiente de Correlación	R-Cuadrada
1 1/2" vs. C.B.R.	Cuadrado de X	$C. B. R. = 171.312 - 0.0109484 \cdot (\text{Tamiz } 1\frac{1}{2} ")^2$	-0.54	29.63%
1" vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.00548802 + 0.00000129175 \cdot (\text{Tamiz } 1")^2)}$	0.64	41.22%
3/4" vs. C.B.R.	Lineal	$C. B. R. = 134.235 - 0.937815 \cdot \text{Tamiz } \frac{3}{4} "$	-0.74	55.49%
1/2" vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.00932713 + 0.00000130416 \cdot (\text{Tamiz } \frac{1}{2} ")^2)}$	-0.61	37.27%
3/8" vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.0102157 + 0.00000145446 \cdot (\text{Tamiz } \frac{3}{8} ")^2)}$	0.56	31.77%
Nº4 vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.0107897 + 0.00000231468 \cdot (\text{Tamiz } \text{N}^\circ 4)^2)}$	0.52	27.29%
Nº10 vs. C.B.R.	Doble Inverso	$C. B. R. = \frac{1}{(0.0167624 - \frac{0.0572602}{\text{Tamiz } \text{N}^\circ 10})}$	-0.21	4.58%

N°40 vs. C.B.R.	Doble Inverso	$C. B. R. = \frac{1}{\left(0.0103745 + \frac{0.0300112}{\text{Tamiz N}^\circ 40}\right)}$	0.38	14.72%
N°200 vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{\left(0.0125572 + 0.0000813663 \cdot \text{Tamiz N}^\circ 200^2\right)}$	0.31	9.48%
Cu vs. C.B.R.	Inversa-Y Log-X	$C. B. R. = \frac{1}{\left(0.0258518 - 0.00327857 \cdot \ln(\text{Cu})\right)}$	0.51	25.75%
Cc vs. C.B.R.	Doble Inverso	$C. B. R. = \frac{1}{\left(0.0121476 - \frac{0.00385762}{C_c}\right)}$	0.35	12.67%

Fuente: Elaboración propia.

Después de correlacionar las variables de la granulometría con los valores de C.B.R., obtenemos que la relación entre el Tamiz 3/4" vs. C.B.R. alcanza un coeficiente de correlación de 0.74, considerando también que esta por arriba del 50% el coeficiente de determinación (R^2), quiere decir que si es apta la ecuación y su modelo matemático es la siguiente:

$$C. B. R. = 134.235 - 0.937815 \cdot \text{Tamiz } 3/4''$$

4.2. Correlación de cada río según los parámetros granulométricos y C.B.R.

Cada río presenta quince puntos, realizando el análisis de regresión simple entre las mismas variables, se toma en cuenta que en este caso no se eliminaron ningún punto.

Tabla 4.15. Resumen del río Pajchani aplicando la correlación

Variables	Modelo ajustado	Modelo matemático	Coefficiente de Correlación	R-Cuadrada
1 1/2" vs. C.B.R.	Inversa de X	$C. B. R. = 130.739 - \frac{7806.36}{\text{Tamiz } 1 \frac{1}{2}''}$	-0.18	3.12%
1" vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Inversa-X	$C. B. R. = \sqrt{3397.99 - \frac{66123.4}{\text{Tamiz } 1''}}$	-0.05	0.29%
3/4" vs. C.B.R.	Cuadrado Doble	$C. B. R. = \sqrt{3455.53 - 0.119518 \cdot (\text{Tamiz } 3/4'')^2}$	-0.19	3.62%
1/2" vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	$C. B. R. = \sqrt{5599.91 - 356.222 \sqrt{\text{Tamiz } 1/2''}}$	-0.27	7.33%
3/8" vs. C.B.R.	Doble inverso	$C. B. R. = \frac{1}{0.0207194 + \frac{0.0782997}{\text{Tamiz } 3/8''}}$	-0.06	0.42%
Nº4 vs. C.B.R.	Cuadrado Doble	$C. B. R. = \sqrt{2446.45 - 0.179775 \cdot (\text{Tamiz } N^{\circ}4)^2}$	0.15	2.31%
Nº10 vs. CB..R.	Cuadrado Doble	$C. B. R. = \sqrt{2215.84 - 0.852565 \cdot (\text{Tamiz } N^{\circ}10)^2}$	0.32	9.95%
Nº40 vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.017723 + 0.0000220314 \cdot (\text{Tamiz } N^{\circ}40)^2)}$	0.37	14.39%
Nº200 vs. C..B.R.	Cuadrado Doble	$C. B. R. = \sqrt{3165.8 - 14.9801 \cdot (\text{Tamiz } N^{\circ}200)^2}$	0.19	3.76%

Cu vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Inversa-X	$C. B. R. = \sqrt{1625 - \frac{21792.4}{Cu}}$	0.43	18.97%
Cc vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Inversa-X	$C. B. R. = \sqrt{1765.77 - \frac{1325.11}{Cc}}$	0.47	22.20%

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

El río Pajchani no presenta correlación según su análisis entre los mismos, lo cual la tabla 4.15. se aprecia valores menores al 50% del coeficiente de determinación (R^2).

Tabla 4.16. Resumen del río La Victoria aplicando la correlación

Variables	Modelo ajustado	Modelo matemático	Coefficiente de Correlación	R-Cuadrada
1 1/2" vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Inversa de X	$C. B. R. = \sqrt{60022.3 - \frac{5.00867 \times 10^6}{\text{Tamiz } 1 \frac{1}{2}''}}$	-0.76	57.28%
1" vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Inversa de X	$C. B. R. = \sqrt{17377.9 - \frac{803839}{\text{Tamiz } 1''}}$	-0.34	11.89%
3/4" vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Inversa de X	$C. B. R. = \sqrt{11037.7 - \frac{244855}{\text{Tamiz } 3/4''}}$	-0.11	1.30%
1/2" vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.00610625 + 0.0000143638 \cdot (\text{Tamiz } 1/2'')^2)}$	-0.52	26.99%

3/8" vs. C.B.R..	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.00593979 + 0.00000196039 \cdot (\text{Tamiz } 3/8'')^2)}$	0.60	36.09%
N°4 vs. C.B.R.	Cuadrado Doble	$C. B. R. = \sqrt{13441.2 - 3.48715 \cdot (\text{Tamiz N°4})^2}$	-0.75	55.87%
N°10 vs. C.B.R..	Cuadrado-Y Log-X	$C. B. R. = \sqrt{22512.3 - 445299 \cdot \ln(\text{Tamiz N°10})}$	-0.43	18.82%
N°40 vs. C.B.R.	Cuadrado de Y	$C. B. R. = \sqrt{9315.99 - 127.889 \cdot (\text{Tamiz N°40})}$	-0.26	6.67%
N°200 vs. C.B.R.	Cuadrado Doble	$C. B. R. = \sqrt{8325.31 - 31.5501 \cdot (\text{Tamiz N°200})^2}$	-0.21	4.47%
Cu vs. C.B.R.	Cuadrado Doble	$C. B. R. = \sqrt{8452.78 - 0.26801 \cdot (\text{Cu})^2}$	-0.29	8.31%
Cc vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Inversa de X	$C. B. R. = \sqrt{9261.05 - \frac{2243.74}{C_c}}$	-0.30	9.05%

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

El río La Victoria, presenta dos coeficientes de determinación (R^2) mayor a 50%, existiendo una correlación con una base de datos de quince puntos de extracción, las variables son el tamiz 1 1/2" y el N°4.

Tabla 4.17. Resumen del río Erquis aplicando la correlación

Variables	Modelo ajustado	Modelo matemático	Coefficiente de Correlación	R-Cuadrada
1 1/2" vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Inversa de X	$C. B. R. = \sqrt{2623.1 - \frac{467450}{\text{Tamiz } 1 \frac{1}{2}''}}$	0.18	3.26%
1" vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.0100678 + 2.8786 \times 10^{-7} \cdot (\text{Tamiz } 1'')^2)}$	0.34	11.68%
3/4" vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.00993228 + 4.92356 \times 10^{-7} \cdot (\text{Tamiz } 3/4'')^2)}$	0.44	18.97%
1/2" vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.0100106 + 7.99154 \times 10^{-7} \cdot (\text{Tamiz } 1/2'')^2)}$	0.43	18.26%
3/8" vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.0101728 + 9.73944 \times 10^{-7} \cdot (\text{Tamiz } 3/8'')^2)}$	0.36	12.96%
Nº4 vs. C.B.R.	Cuadrado Doble	$C. B. R. = \sqrt{8854.4 - 1.49961 \cdot (\text{Tamiz } N^{\circ}4)^2}$	-0.25	6.29%
Nº10 vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.0107865 + 0.00000193031 \cdot (\text{Tamiz } N^{\circ}10)^2)}$	0.25	6.14%
Nº40 vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.0110252 + 0.00000472431 \cdot (\text{Tamiz } N^{\circ}40)^2)}$	0.14	1.89%

N°200 C.B.R.	vs.	Cuadrado-Y Inversa de X	$C. B. R. = \sqrt{7961.57 - \frac{331.372}{\text{Tamiz N}^\circ 200}}$	-0.17	2.80%
Cu vs. C.B.R.		Cuadrado-Y Inversa de X	$C. B. R. = \sqrt{8140.53 - \frac{14187.9}{Cu}}$	-0.15	2.38%
Cc vs. C.B.R.		Cuadrado-Y Inversa de X	$C. B. R. = \sqrt{9269.2 - \frac{5521.39}{Cc}}$	-0.41	17.00%

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

El coeficiente de determinación (R^2) es menor al 50%, dando como resultado que no existe una correlación entre los puntos del mismo río.

Tabla 4.18. Resumen del río Calama aplicando la correlación

Variabes	Modelo ajustado	Modelo matemático	Coficiente de Correlación	R-Cuadrada
1 ½" vs. C.B.R.	Inversa de Y	$C. B. R. = \frac{1}{(0.00283965 + 0.000130048 \cdot (\text{Tamiz } 1 \frac{1}{2}"))}$	0.34	11.68%
1" vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.011353 + 5.74705 \times 10^{-7} \cdot (\text{Tamiz } 1")^2)}$	0.41	16.49%
¾" vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.0112585 + 9.08216 \times 10^{-7} \cdot (\text{Tamiz } \frac{3}{4}"))^2}$	0.64	41.48%

½" vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.0117616 + 0.00000121361 \cdot (\text{Tamiz } \frac{1}{2})^2)}$	0.60	36.35%
3/8" vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.0122497 + 0.00000152425 \cdot (\text{Tamiz } \frac{3}{8})^2)}$	0.63	39.72%
N°4 vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	$C. B. R. = \frac{1}{(0.0129053 + 0.0000023633 \cdot (\text{Tamiz N°4})^2)}$	0.48	23.13%
N°10 vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Inversa de X	$C. B. R. = \sqrt{2731.76 - \frac{33759.1}{\text{Tamiz N°10}}}$	0.29	8.60%
N°40 vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Inversa de X	$C. B. R. = \sqrt{3494.96 - \frac{8703.09}{\text{Tamiz N°40}}}$	0.23	5.22%
N°200 vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Inversa de X	$C. B. R. = \sqrt{4572.47 - \frac{321.392}{\text{Tamiz N°200}}}$	-0.38	14.40%
Cu vs. C.B.R.	Doble Inverso	$C. B. R. = \frac{1}{0.013157 + \frac{0.0927644}{Cu}}$	0.33	11.16%
Cc vs. C.B.R.	Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	$C. B. R. = \frac{1}{0.0177867 - 0.00133565 \cdot \sqrt{Cc}}$	-0.25	6.21%

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

El río Calama no presenta un porcentaje mayor al 50% de coeficiente de determinación (R^2), lo que quiere decir que no existe una correlación entre los mismos puntos de extracción.

Tabla 4.19. Matriz de comparación de los cuatro ríos aplicando la correlación

Variables	Modelo ajustado	Coeficiente de Correlación	Modelo ajustado	Coeficiente de Correlación	Modelo ajustado	Coeficiente de Correlación	Modelo ajustado	Coeficiente de Correlación
	Río Pajchani		Río La Victoria		Río Erquis		Río Calama	
1 1/2" vs. C.B.R.	Inversa de X	-0.18	Cuadrado-Y Inversa de X	-0.76	Cuadrado-Y Inversa de X	0.18	Inversa de Y	0.34
1" vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Inversa-X	-0.05	Cuadrado-Y Inversa de X	-0.34	Inversa-Y Cuadrado-X	0.34	Inversa-Y Cuadrado-X	0.41
3/4" vs. C.B.R.	Cuadrado Doble	-0.19	Cuadrado-Y Inversa de X	-0.11	Inversa-Y Cuadrado-X	0.44	Inversa-Y Cuadrado-X	0.64
1/2" vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Raíz Cuadrada-X	-0.27	Inversa-Y Cuadrado-X	-0.52	Inversa-Y Cuadrado-X	0.43	Inversa-Y Cuadrado-X	0.60
3/8" vs. C.B.R.	Doble inverso	-0.06	Inversa-Y Cuadrado-X	0.60	Inversa-Y Cuadrado-X	0.36	Inversa-Y Cuadrado-X	0.63
Nº4 vs. C.B.R.	Cuadrado Doble	0.15	Cuadrado Doble	-0.75	Cuadrado Doble	-0.25	Inversa-Y Cuadrado-X	0.48
Nº10 vs. C.B.R.	Cuadrado Doble	0.32	Cuadrado-Y Log-X	-0.43	Inversa-Y Cuadrado-X	0.25	Cuadrado-Y Inversa de X	0.29
Nº40 vs. C.B.R.	Inversa-Y Cuadrado-X	0.37	Cuadrado de Y	-0.26	Inversa-Y Cuadrado-X	0.14	Cuadrado-Y Inversa de X	0.23
Nº200 vs. C.B.R.	Cuadrado Doble	0.19	Cuadrado Doble	-0.21	Cuadrado-Y Inversa de X	-0.17	Cuadrado-Y Inversa de X	-0.38
Cu vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Inversa-X	0.43	Cuadrado Doble	-0.29	Cuadrado-Y Inversa de X	-0.15	Doble Inverso	0.33
Cc vs. C.B.R.	Cuadrado-Y Inversa-X	0.47	Cuadrado-Y Inversa de X	-0.30	Cuadrado-Y Inversa de X	-0.41	Inversa-Y Raíz Cuadrada-X	-0.25

Fuente: Elaboración propia.

Según la comparación que se hizo a los cuatro ríos, no existe ninguna relación entre los mismos, puesto que entre tres ríos hay una relación de la misma ecuación, diferenciando la que sobre de los cuatro.

Cada río presenta una relación entre sus variables, para el río Pajchani hay correlación entre el Cu vs. C.B.R. pero no es aplicable porque su valor de coeficiente es relativamente bajo. El río La Victoria tiene un 0.76 de coeficiente de correlación (R^2) entre la variable de $1 \frac{1}{2}$ vs. C.B.R., su valor es aceptable para su uso de la ecuación; el río Erquis presenta un coeficiente de correlación de 0.44, quiere decir que no es apta para su uso y por último el río Calama tiene un coeficiente de 0.64, los últimos dos ríos tienen la misma relación de variables que es $\frac{3}{4}$ vs. C.B.R.; tomando en cuenta este análisis de los cuatro ríos presentan la misma ecuación de Cuadrado-Y Inversa de X.

La comparación entre la correlación general y por el río La Victoria se basa en lo siguiente:

Tabla 4.20. Comparación de correlaciones

Coeficiente de correlación general	Coeficiente de correlación del Río La Victoria
0.74	0.76

Fuente: Elaboración propia.

De todos los ríos realizado la correlación el más alto es el río La Victoria, demostrando que a comparación del coeficiente de correlación general con un 0.74 presenta un valor más alto el río mencionado.

4.3. Diagnóstico de la regresión

Los puntos que se utilizaron para la validación de datos, son de las siguientes coordenadas UTM visualizadas en la siguiente tabla.

Tabla 4.21. Coordenadas UTM de los puntos de validación

	Coordenada UTM	
	Este	Norte
Punto (1)	317211.40	7611289.00
Punto (2)	317851.00	7622172.60
Punto (3)	317070.70	7607722.40
Punto (4)	330188.60	7608219.90
Punto (5)	332002.80	7600574.30
Punto (6)	320598.40	7626749.40
Punto (7)	320968.20	7627162.50
Punto (8)	330188.60	7608219.90
Punto (9)	328284.70	7598812.40
Punto (10)	332002.80	7600574.30
Punto (11)	320598.40	7626749.40
Punto (12)	312512.27	7618580.38
Punto (13)	312485.00	7618513.00
Punto (14)	312439.00	7618458.00
Punto (15)	312823.00	7618949.00

Fuente: Elaboración propia.

De cada muestra que se extrajo, antes de proseguir con el uso, se verifico que cumpla con los rangos de aplicación que presenta la granulometría.

Tabla 4.22. Resumen Curvas Granulometrías del Punto (1) a (8)

Tamices	Rangos		Punto (1)	Punto (2)	Punto (3)	Punto (4)	Punto (5)	Punto (6)	Punto (7)	Punto (8)
	Mínimo	Máximo								
3"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	86.92	100.00	86.35	90.76	94.05	95.40	95.41	96.35	90.76	91.77
1"	61.78	100.00	75.72	79.45	79.84	82.50	82.31	84.68	82.00	82.42
3/4"	46.07	93.45	69.90	71.43	71.24	71.08	67.99	78.25	74.67	75.63
1/2"	33.48	80.32	60.92	61.18	59.31	60.10	51.85	63.30	69.82	66.22
3/8"	26.47	71.62	56.18	55.80	52.99	53.51	45.01	58.44	66.77	56.81
N°4	17.91	54.09	43.07	35.51	33.02	39.91	34.92	41.09	50.08	41.57
N°10	12.23	35.06	32.99	24.68	21.13	28.918	26.54	32.01	32.15	28.15
N°40	4.30	16.45	15.23	16.71	16.17	10.91	12.69	16.07	16.26	15.75
N°200	0.34	6.48	2.62	6.55	1.62	4.24	5.04	2.25	1.71	5.95

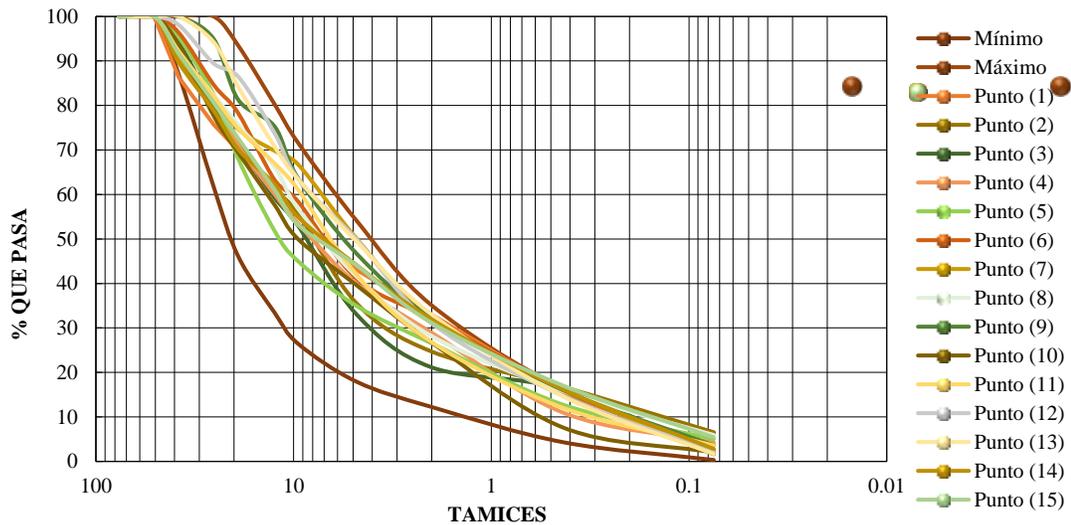
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.23. Resumen Curvas Granulométrías del Punto (9) a (15)

Tamices	Rangos		Punto (9)	Punto (10)	Punto (11)	Punto (12)	Punto (13)	Punto (14)	Punto (15)
	Mínimo	Máximo							
3"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
2"	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	86.92	100.00	100.00	93.61	92.18	98.07	100.00	89.63	91.63
1"	61.78	100.00	94.98	77.71	82.06	89.46	94.25	78.90	80.62
3/4"	46.07	93.45	81.26	69.38	74.83	86.47	84.15	70.13	72.59
1/2"	33.48	80.32	75.33	57.70	67.03	73.81	70.81	62.33	61.12
3/8"	26.47	71.62	63.67	49.98	61.10	63.51	63.42	54.92	53.16
N°4	17.91	54.09	46.69	39.59	42.00	49.87	49.39	44.13	44.04
N°10	12.23	35.06	32.22	26.69	26.78	31.01	32.99	31.89	31.13
N°40	4.30	16.45	15.94	7.56	11.99	14.65	14.53	16.09	16.98
N°200	0.34	6.48	3.62	2.02	3.60	2.11	1.68	2.85	5.44

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4.13. Resumen de curvas granulométricas de las muestras extraídas



Fuente: Elaboración propia.

Aplicado la fórmula con los puntos de la granulometría que pasa el tamiz 3/4", tenemos como resultados mostrando en la tabla N°4.24.

Tabla 4.24. Resultados de la relación 3/4" vs. C.B.R.

	% que pasa el Tamiz 3/4"	C.B.R. (Predichos)
Punto (1)	70.98	68%
Punto (2)	71.43	67%
Punto (3)	71.24	67%
Punto (4)	71.08	68%
Punto (5)	67.99	70%
Punto (6)	78.25	61%
Punto (7)	74.67	64%
Punto (8)	75.63	63%
Punto (9)	81.26	58%
Punto (10)	69.38	69%
Punto (11)	74.83	64%
Punto (12)	86.47	53%
Punto (13)	84.15	55%
Punto (14)	70.13	68%
Punto (15)	72.59	66%

Fuente: Elaboración propia.

Según el análisis realizado anteriormente, realizamos la correlación para cada río según los parámetros granulométricos y valores de C.B.R. Tomando en cuenta que cada río tiene quince datos

A partir de las curvas granulométrías de los cuatro ríos observamos que están dentro los rangos, se prosigue a realizar los respectivos cálculos según la ecuación del modelo matemático obtenido, para ello lo llamaremos C.B.R. “predichos”, y por otro lado los C.B.R. “observados” son aquellos que se realizaron en práctica en el laboratorio de suelos.

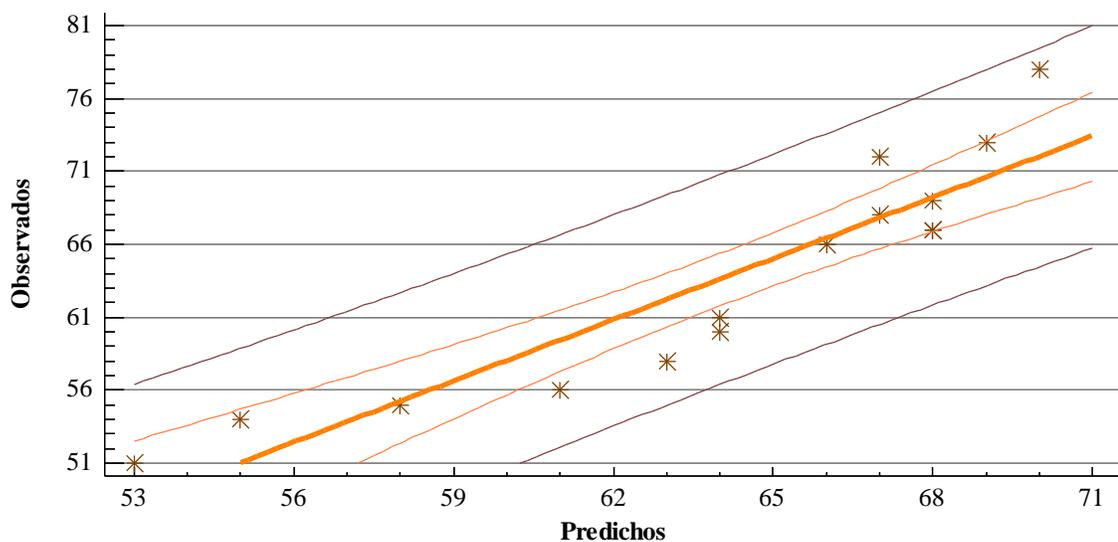
Tabla 4.25. Observados vs. Predichos

	C.B.R.	
	Observados	Predichos
Punto (1)	67%	68%
Punto (2)	68%	67%
Punto (3)	72%	67%
Punto (4)	67%	68%
Punto (5)	78%	70%
Punto (6)	56%	61%
Punto (7)	61%	64%
Punto (8)	58%	63%
Punto (9)	55%	58%
Punto (10)	73%	69%
Punto (11)	60%	64%
Punto (12)	51%	53%
Punto (13)	54%	55%
Punto (14)	69%	68%
Punto (15)	66%	66%

Fuente: Elaboración propia.

Podemos observar que según la Tabla 4.25. que la variación va entre un $\pm 8\%$, según los datos de la tabla se introduce al programa Software Statgraphics para obtener el valor de coeficiente de correlación, también en representación gráfica se observa la dispersión de puntos en relación a los valores de C.B.R.

Gráfica 4.14. Modelo ajustado lineal



Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

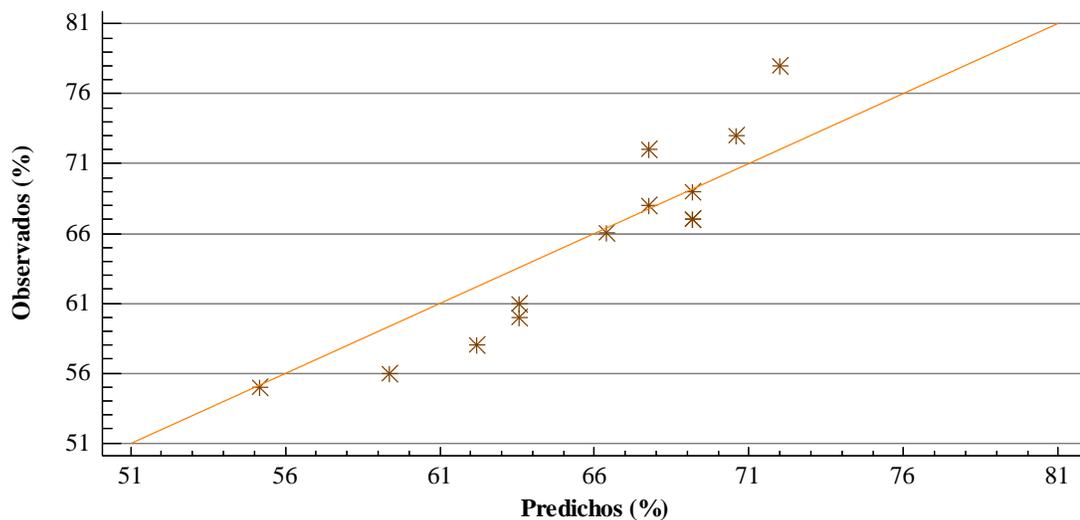
Según la gráfica usando una regresión simple lineal se obtiene según la comparación de modelos alternos:

Tabla 4.26. Modelo Alternativo de una regresión simple lineal

Modelo	Correlación	R-Cuadrada
Lineal	0.92	84.60%

Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

Gráfica 4.15. Observados vs. Predichos



Fuente: Elaboración Software Statgraphics.

4.4. Hipótesis de la investigación

Una comprobación de la hipótesis para la investigación se realizaría con el resultado del coeficiente de correlación de los datos de dispersión entre los Observados vs. Predicho.

Tabla 4.27. Rangos de correlación

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
1.00	Función lineal perfecta

Coeficiente de correlación	r	0.92
Coeficiente de determinación	R^2	84.60%

Existe un elevado nivel de relación entre la granulometría y los valores del CBR, en este caso con un 0.92 que según la tabla se relaciona con una correlación lineal alta a muy alta.

CAPÍTULO V



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- ✓ Se cumplió con el objetivo de la investigación de “Correlacionar los parámetros granulométricos y C.B.R. de suelos granulares en la provincia Méndez; mediante un análisis estadístico correlacional; para establecer la confiabilidad en los diseños ingenieriles”.
- ✓ En las muestras no presenta plasticidad al realizar la práctica de límites de Atterberg.
- ✓ La clasificación está dentro de suelos A-1-a₍₀₎ según el sistema de AASHTO.
- ✓ Los C.B.R. superiores a un 80% se encuentran en la subcuenta del río Erquis.
- ✓ De acuerdo al Software Statgraphics, la relación entre el Tamiz $\frac{3}{4}$ ” vs. C.B.R. alcanza un coeficiente de correlación de 0.74 y su modelo matemático es Lineal.
- ✓ La correlación más baja que lanzó el Software Statgraphics es con las variables Tamiz N°10 vs. C.B.R. con un 0.21 de coeficiente de correlación.
- ✓ El uso del modelo matemático es exclusivamente para suelos granulares que estén dentro de los rangos de aplicación de las curvas granulométricas, con ayuda de la estadística se determinó un rango mínimo y máximo.
- ✓ La relación entre los cuatro ríos no existe de acuerdo a su modelo ajustado por lo que en tres ríos pueden ser la misma ecuación mientras que la cuarta es diferente.
- ✓ Los coeficientes de correlación entre los mismos ríos son bajos, considerando que ninguno es apta para una correlación.
- ✓ La diferencia entre los valores de C.B.R. observados vs. Predichos esta entre un máximo de $\pm 8\%$.
- ✓ Podemos verificar que se cumple con la hipótesis de la investigación la regresión es 0.92 nos indica una correlación lineal alta, así como el uso de la ecuación solo es aplicable para suelos que pase el tamiz $\frac{3}{4}$ ”.
- ✓ El C.B.R. más alto entre los puntos de validación es el (5) con un 78% en práctica y un 70% según la ecuación determinada en la correlación.
- ✓ Con el análisis de la investigación, presenta una expresión matemática que servirá en el ámbito de diseños ingenieriles, dando provecho al menor tiempo de trabajo.

5.2. Recomendaciones

- En el proceso de extracción de la muestra es recomendable guardar el suelo en bolsas plásticas lo más impermeables posible. Esto con el fin de no perder humedad y otras propiedades del suelo.
- Los equipos deberían estar muy bien calibrados por ser sumamente importante para obtener valores confiables. De no ser así estamos frente de ensayos y valores fluctuosos.
- Se recomienda para la expansión del suelo granular dejarlo solamente por tres o cuatro días máximos sumergido. Este suelo no presenta mucha expansión por ser un material que absorbe mucha agua.
- Procurar que los C.B.R. estén bien saturados, previniendo que el agua se evapore al pasar sus respectivos 96 horas.