

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

# **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. INTRODUCCIÓN**

Tiempo atrás se decía que los agregados eran elementos inertes dentro de los pavimentos ya que estos no intervenían directamente dentro del comportamiento del mismo, en la actualidad se establece que siendo este material el que mayor porcentaje (aproximadamente el 60%-80% del volumen) de participación tiene dentro de la unidad cúbica de un pavimento, sus propiedades y características diversas influyen en todas las propiedades, la influencia de los agregados en las propiedades del pavimento tienen efectos importantes, como la solidez y durabilidad del pavimento.

En Bolivia no se conocen registros de estudios de canteras de agregados, frente a la acción de soluciones de sulfato, porque el tema no es de profundo conocimiento en nuestro medio, pero si en nuestra región se tienen identificadas algunas zonas de explotación de agregados, pero sin la caracterización de las mismas.

Lo que el autor propone hacer en el presente proyecto es identificar canteras de agregados en el valle central de Tarija, según su solidez por medio de sulfatos, aplicado a pavimentos; de tal manera, se pueda obtener resultados confiables y establecer si estos se encuentran dentro de los parámetros que establece la norma, para posteriormente sean usados estos bancos de material sin tener que acudir a pruebas de laboratorio que demandan más tiempo.

El fundamento de esta investigación, estará basado en la norma ASTM C-131 y ASTM C-88. Su aplicación práctica a la caracterización de agregados para pavimentos, determinando sus propiedades que sirvan además como referencia a futuras investigaciones y de guía para el constructor en el desarrollo de carreteras dentro el departamento de Tarija, en las provincias (Avilés, Méndez, Cercado y Arce). En esta investigación se mostrarán los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio y con esto se determina la viabilidad del material en la construcción de estructuras de pavimento, las conclusiones estarán dirigidas a un reconocimiento del agregado y la incidencia de su composición en el desempeño físico mecánico.

## **1.2. SITUACIÓN PROBLÉMICA**

### **Conceptualización puntual del objeto de estudio**

El objeto de estudio se refiere a la solidez de agregados por sulfatos, cuando se habla de la solidez de los agregados, se habla de la característica de los agregados para resistir la acción agresiva del medio ambiente.

### **Descripción del fenómeno ocurrido**

Al realizar un estudio de agregados, la investigación efectuada busca establecer condiciones de solidez y durabilidad, debido al mal estado e ineficiencia que presentan las capas que componen la estructura del pavimento, en la ciudad de Tarija, existe la necesidad de estudiar las propiedades de los agregados que constituyen el mismo.

Así mismo se identifica las canteras con el fin de lograr una adecuada elección y disposición del material pertinente.

### **Breve explicación de la perspectiva de solución**

Se utiliza la perspectiva de hacer una identificación, es decir que vamos a identificar canteras de agregados, es muy importante saber las características de los materiales pétreos de los ríos, ya que, así se puede adquirir conocimiento de los depósitos de materiales y saber de dónde debemos tomar material pétreo para cada construcción. En este caso, se investigará si las canteras en el valle central de Tarija son factibles para la construcción de pavimentos. Teniendo en cuenta que este estudio no sólo beneficiará a ingenieros y constructores, sino a una comunidad en general.

### **1.3. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **Problema de investigación**

¿Cómo se puede identificar canteras regionales, en función de la solidez y durabilidad de sus agregados?

#### **Breve descripción sobre: Delimitación de tiempo, factibilidad y espacio**

##### **Tiempo**

La elaboración del presente proyecto será de dieciséis semanas.

##### **Factibilidad**

Debido a que es un trabajo que depende de los ensayos de laboratorio, sus resultados pueden variar según la calibración de los instrumentos usados.

##### **Espacio**

El material utilizado para este proyecto proviene de las diversas canteras del valle central de Tarija, en las provincias (Avilés, Méndez, Cercado y Arce). Se cuenta con en el laboratorio de suelos y con el técnico responsable del manejo de los distintos equipos.

### **1.4. OBJETIVOS**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Identificar canteras regionales de explotación de agregados, realizando ensayos de solidez con sulfatos y ensayos de durabilidad por medio de la máquina de los ángeles, de tal manera establecer una clasificación requerida para la construcción de pavimentos.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Identificar canteras de explotación de áridos, en base a su frecuente explotación y distancias de acarreo.
- Identificar los sondeos y la toma de muestras representativas de acuerdo a las especificaciones de extracción de muestras.
- Comparar entre canteras la calidad de los agregados a través de resultados de ensayos de Solidez y Durabilidad.
- Establecer un análisis comparativo de los resultados de los agregados entre las diferentes canteras y con las especificaciones técnicas ASTM, AASHTO.

## 1.5. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

### 1.5.1. Hipótesis

Al identificar canteras regionales de explotación de agregados, se podrá realizar ensayos de solidez y durabilidad, para establecer el cumplimiento de las especificaciones técnicas de la construcción de pavimentos.

#### Identificación de variables

Variable independiente

$X_1$  = Canteras de áridos

Variables dependientes

$Y_1$  = Solidez

$Y_2$  = Durabilidad

#### Conceptualización y operacionalización de las variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIÓN	INDICADOR	VALOR/ACCIÓN
<b>Identificar canteras de áridos</b>	La identificación de canteras se refiere al lugar en el cual se tomara las muestras del material de estudio, cuanto mayor sea la cantidad de muestras, los resultados más fiables.	Su ubicación	Se definirá la ubicación del área de muestreo	Se extraerá muestras de diferentes puntos en cada área de estudio.
		Cantidad de muestras	La cantidad de muestras determinara la confiabilidad de estudio	La cantidad de muestras dependerá del número de ensayos a realizar El número de ensayos dependerá del tiempo que dure el semestre, es decir catorce semanas.

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>CONCEPTUALIZACIÓN</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>VALOR/ACCIÓN</b>
<b>Solidez</b>	Se refiere al procedimiento de determinar la desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio	Desintegración	Se calcula el porcentaje ponderado de pérdida de cada masa de fracción	La pérdida de masa promedio después de cinco ciclos no debe exceder los valores máximos de la pérdida de peso experimentada por los áridos

<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>CONCEPTUALIZACIÓN</b>	<b>DIMENSIÓN</b>	<b>INDICADOR</b>	<b>VALOR/ACCIÓN</b>
<b>Durabilidad</b>	Se refiere al procedimiento de determinar la resistencia de los áridos	Desgaste	Calcula el desgaste de áridos como el porcentaje de pérdida de masa de la muestra.	De acuerdo al porcentaje de pérdida de material, se determinara si se utiliza o no el material

## **1.6. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN**

En esta sección se explica la metodología a seguir para desarrollar el trabajo experimental de laboratorio, con este fin, se establecen parámetros fijos y parámetros variables que permitan llevar un procedimiento de manera ordenada y que puedan servir de guía para explicar las posibles variaciones que se presenten en los resultados de las diferentes pruebas a realizar.

### **1.6.1. Fundamentos para el diseño metodológico de la investigación**

Los fundamentos del diseño metodológico, están referidos a los conceptos básicos de la estadística; que además ayudan a definir criterios adecuados en el momento de la toma de decisiones, induciendo a optimizar la estructuración en una investigación.

El determinar la población y la muestra, ha causado problemas a los investigadores; la complejidad de los temas, puede desorientar y ocasionar fácilmente desvíos de la investigación y por lo tanto exista una pérdida de tiempo innecesaria.

Como se mencionó en el capítulo anterior, la presente tesis es una investigación explicativa o causal, que busca una relación entre dos o más variables, es decir las causas que ocasionan un problema.

### **1.6.2. Unidades de estudio y decisión muestral**

#### **Unidad de estudio o muestreo**

Es el elemento, persona u objeto del cual se puede extraer información relacionada a la investigación, es el elemento que debe ser medido, también se la denomina la unidad de muestreo.

#### **Población estadística**

Es el conjunto de elementos como ser, individuos objetos propiedades, medidas u otros que comparten alguna característica observable en un lugar y en un momento dado para contribuir a un evento o fenómeno.

#### **Muestra**

Es una parte representativa que se toma de la población, a veces la población es demasiado grande para poderla estudiar en un 100%. Por lo que es necesario tomar un

número reducido considerando que esa muestra, nos brindara una representación aproximada de las características o particularidades que estamos estudiando.

En algunos casos la muestra es la misma población, dependiendo de lo que define el objeto de investigación, la muestra contiene las variables que serán medidas para que pueda evolucionar el proceso de investigación.

### **Muestreo probabilístico**

Cuando se usa el termino probabilístico en una muestra, significa que todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser seleccionados. Para ello, los elementos deben ser sometidos a procedimientos que define el investigador, de acuerdo a la técnica que ha seleccionado en la definición de su muestra

Para la presente investigación se definió y se realizó un muestreo probabilístico, muestreo simple no aleatorio.

Muestreo simple no aleatorio: se eligen los elementos por conveniencia a criterio del investigador, cuando crea que los elementos seleccionados puedan brindar mejor información a la investigación.

## **1.7. IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Es una investigación explicativa o causal.

### **Unidad de estudio o muestreo**

Canteras de agregados del valle central de Tarija

Se extraerá información directa de los siguientes elementos:

Ensayos de caracterización de agregado.

Ensayos de solidez por medio de sulfatos.

Ensayos de durabilidad, desgaste de los ángeles.

### **Población y muestra**

Ensayos de caracterización de áridos

Granulometría.

Solidez por método de los sulfatos.

Durabilidad mediante la máquina de los ángeles.



### Selección de nivel de confianza

La selección de confianza será del 95 %

NIVEL DE CONFIANZA (%)	VALOR DEL NIVEL DE CONFIANZA (Z)
50	0.574
75	1.15
80	1.28
85	1.44
90	1.64
95	1.96
96	2.05
97	2.17
98	2.33
99	2.58

### Tamaño y muestra

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	OBJETO DE INVESTIGACIÓN	UNIDADES DE MUESTREO
¿De qué manera, una identificación de canteras de agregados, ayudaría a valorar de manera preliminar la solidez y durabilidad de los agregados antes de ser usados en pavimentos?	Solidez y durabilidad de los agregados.	Se extraerá información directa de los siguientes elementos. <ul style="list-style-type: none"><li>• Ensayo de granulometría.</li><li>• Método de los sulfatos para determinar la desintegración.</li><li>• Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles.</li></ul>

Cálculo de muestra estratificada trabajando con proporciones

$$n = \frac{Z^2 * P_i * q_i}{e^2}$$
$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5}{0.05^2} = 384 \text{ ensayos}$$

Donde:

$p$ = Probabilidad de que ocurra el suceso.

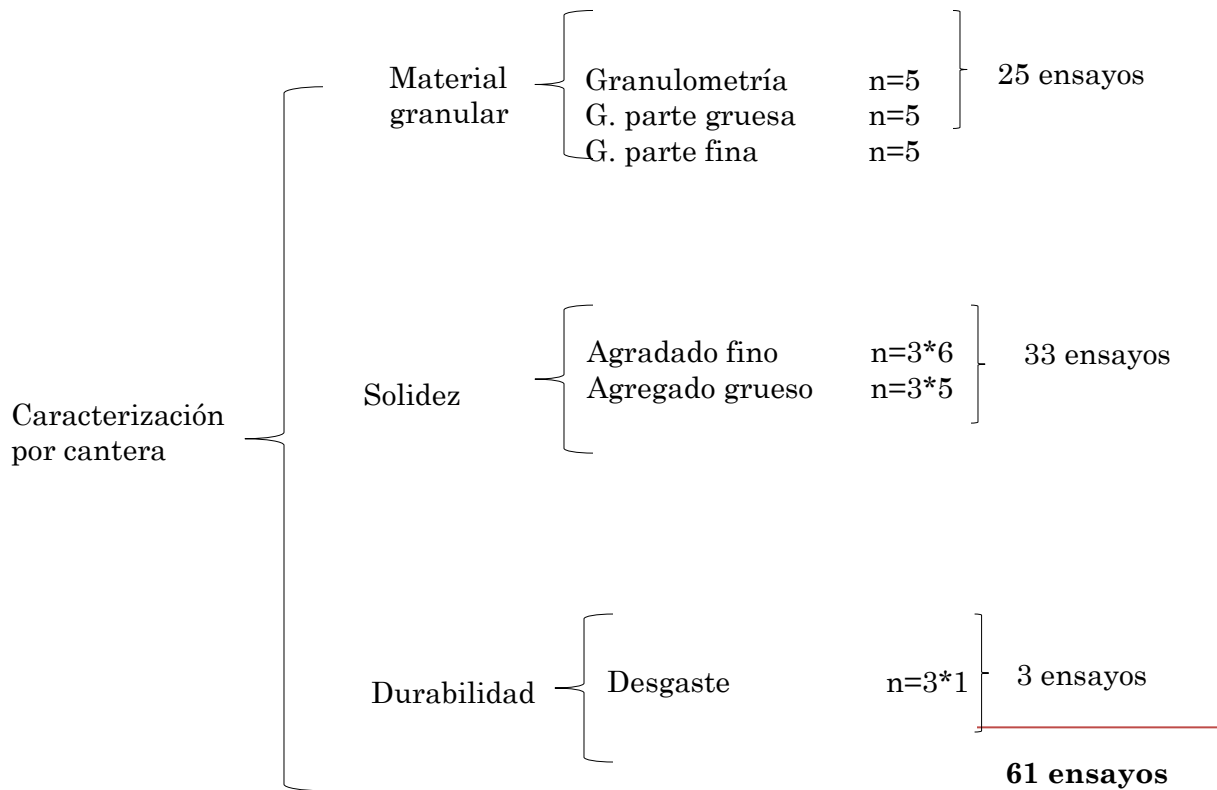
$q$ = Probabilidad de que no ocurra el suceso.

$E$ = Error de tolerancia (generalmente 5 %)

$z$ = Nivel de significancia 1.960

Aproximadamente se realizaron 384 ensayos durante la investigación.

Caracterización por sondeo en cada cantera



### Selección de las técnicas de muestreo

Mediante un muestreo sistemático en combinación con un muestreo simple no aleatorio.

Con el empleo de la combinación de estas dos técnicas, se establece un muestreo probabilístico de selección de muestras. La selección de cuadrícula por toda la superficie

de la cantera nos indica que se podrá obtener información de granulometrías, de una forma muy representativa a la zona que se quiere estudiar.

Se elegirán los lugares por conveniencia a criterio del investigador, cuando se crea que los lugares seleccionados puedan brindar mejor información a la investigación.

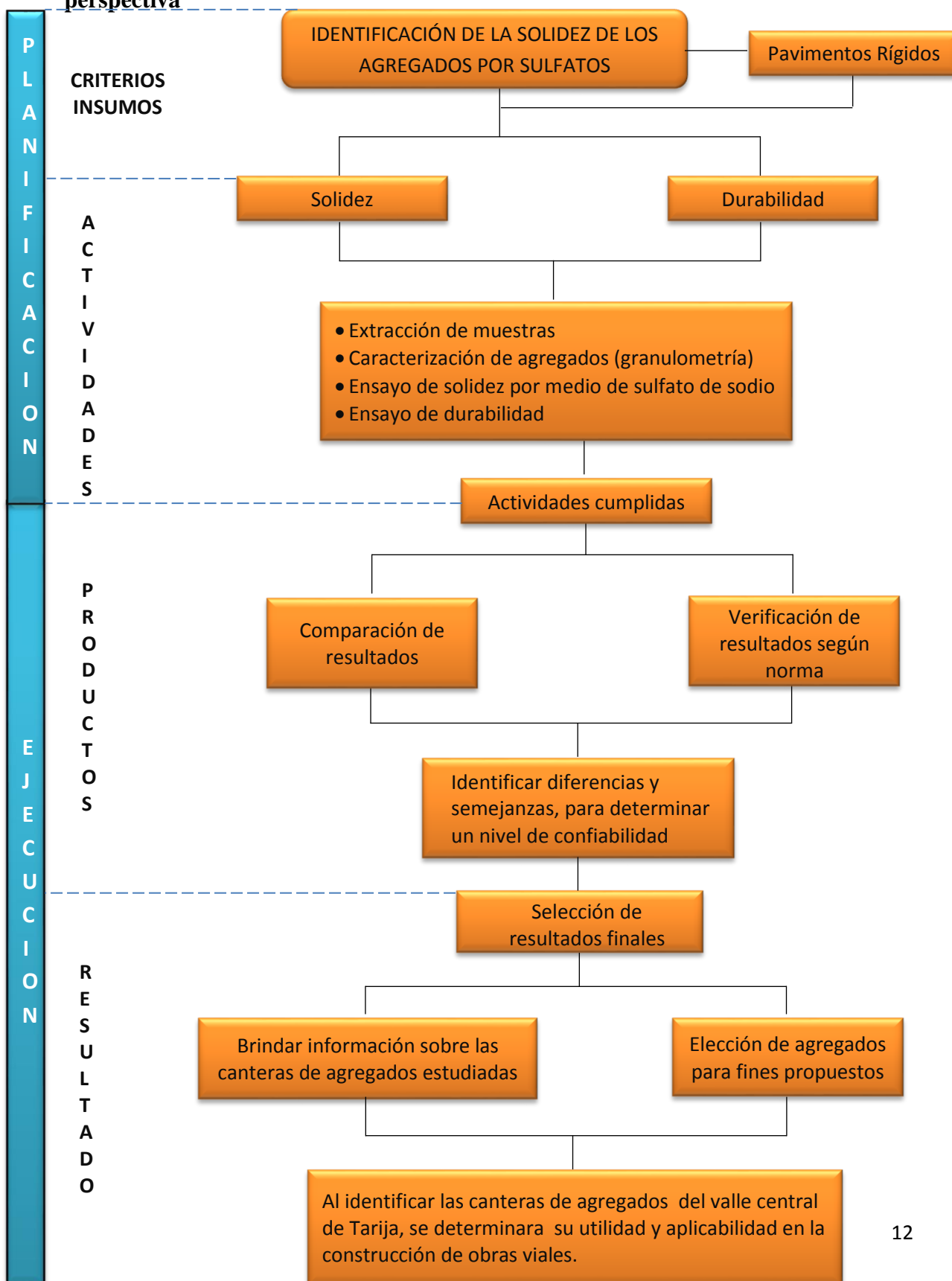
## **1.8. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS**

### **1.8.1. Listado de actividades a realizar**

1. Extracción de muestras.
2. Caracterización en laboratorio de los agregados (granulometría)
3. Ensayos de solidez por medio de sulfato de Sodio
4. Ensayos de durabilidad
5. Procesamiento de datos
6. Elaborar gráficos de granulometría integral
7. Realizar un análisis estadístico.
8. Elaboración de documento final.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	TIEMPO DÍAS	RECURSOS/ INSUMOS	CRITERIOS
1	Extracción de muestras.	6	Herramientas menores para muestreo preliminar: pala, pico, bolsas	Una vez identificados y seleccionados los áridos para trabajar, se podrá planificar y ejecutar los áridos mediante un muestreo definitivo.
2	Caracterización en laboratorio de los agregados (granulometría)	31	Equipo de laboratorio: juego de tamices, bandejas, platillos, horno	La caracterización se le hace una vez planificado sobre los ensayos que precisa el trabajo de investigación
3	Ensayos de solidez por medio de sulfato de Sodio	63	Se requiere un juego de tamices, Sulfato de sodio, platillos balanza	Método de los sulfatos para determinar la desintegración (ASTM C88)
4	Ensayos de durabilidad	3	Se requiere la máquina de desgaste de los ángeles	Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM C 131)
5	Procesamiento de datos	6	Software	Con la finalidad de centralizar los resultados de todos los resultados de ensayos
6	Elaborar gráficos de granulometría integral	6	Software	Organizar los resultados e identificar las características comunes entre ellos la solidez y durabilidad para su posterior clasificación.
7	Realizar un análisis estadístico.	6	Software	Con la finalidad de obtener el comportamiento de los valores obtenidos, por medio de la identificación de sus errores medios y probables.
8	Elaboración de documento final.	13	Material de escritorio	Con todos los productos ya concluidos mas sus resultados, se tiene que elaborar en funcion a formato oficial el documento a presentar

**1.8.2. Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva**





## 1.9. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Selección de programa a utilizar

Microsoft Excel, Microsoft Word

### Estadística descriptiva

Variable independiente

$X_1$  = Cantera de áridos. → Medidas de tendencia central y sus medias de dispersión.

Variables dependientes

$Y_1$  = Solidez de los agregados. → Medidas de tendencia central y sus medias de dispersión.

$Y_2$  = Durabilidad de los agregados. → Medidas de tendencia central y sus medias de dispersión.

### Estadística inferencial, seleccionada para comprobar la hipótesis formulada

Sirve para inducir lo que se tiene que hacer en la investigación, los métodos dependerán del número de ensayos.

Se divide en dos partes:

- Determinación de errores medios y valores aceptados.
- Prueba de hipótesis

$$\epsilon_{xi} = \sqrt{\frac{\sum (xi-x)^2}{n-1}} \quad \text{Error medio de serie de datos}$$

$$\epsilon_x = \frac{\epsilon_{xi}}{\sqrt{n}} \quad \text{Error medio de la media}$$

$$\epsilon_x = Z * \epsilon_x \quad \text{Error probable.}$$

$$Xa = x \pm \epsilon_p \quad \text{Error aceptado}$$

**CAPÍTULO II**

**ASPECTOS GENERALES DE LOS**

**AGREGADOS Y SU RELACIÓN CON LA**

**SOLIDEZ Y DURABILIDAD**



## **CAPÍTULO II. ASPECTOS GENERALES DE LOS AGREGADOS Y SU RELACIÓN CON LA SOLIDEZ Y DURABILIDAD**

En el desarrollo de este capítulo de investigación se ha tomado en cuenta la información y el conocimiento secundario disponible, ya que es necesario tener un concepto claro de los componentes y etapas que se tratarán en el presente estudio, referidos a la calidad de los agregados para su posterior uso en hormigones.

### **2.1. MARCO TEÓRICO**

#### **Marco conceptual**

Como se planteó en la introducción, el objeto de investigación del presente trabajo, se pretende visualizar desde la perspectiva del material, específicamente de los agregados, bajo esta óptica, los siguientes componentes ayudaran a analizar la solidez y durabilidad de los agregados.

Método de los sulfatos para determinar la desintegración ASTM C-88 AASHTO T-104 Este método suministrara una información útil para juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de agentes atmosféricos, sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear, en las condiciones climáticas de la obra.

Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles ASTM C-131 AASHTO T-96, en la mayoría de las normas sobre agregados a nivel internacional se establecen pruebas de desgaste o abrasión. En Norteamérica, la más generalizada es el denominado Ensayo de Los Ángeles, consistente en colocar una muestra de agregado con granulometría especificada en un cilindro rotatorio horizontal, conjuntamente con un número de bolas de acero, aplicando al tambor un número dado de vueltas. El porcentaje de material fragmentado constituye un indicador de calidad. El Ensayo de Los Ángeles está normalizado por el ASTM, Los resultados han evidenciado correlación con el comportamiento del concreto en pavimentos. Por otra parte, se estima como un indicador de la calidad del agregado.

Para el caso específico, y tema central de esta tesis, la investigación se centrara en el ataque a los agregados, especialmente el causado por los sulfatos solubles.

## **Marco referencial**

El método de prueba de la solidez de los Agregados mediante el Uso del Sulfato de Sodio o el Sulfato de Magnesio, ASTM C-88 AASHTO T-104.

Esta prueba está diseñada para simular la acción destructiva de la congelación y el deshielo a los que algunos agregados son vulnerables cuando están empapados en agua. En este caso, los agregados se empapan alternadamente en una solución saturada de sulfato de sodio o de magnesio y, a continuación, se secan en estufa para liberar el agua de cristalización. La re inmersión causa acción expansiva en los poros de la roca, debido a la hidratación de los cristales desecados, y es semejante a la acción destructiva de la formación de hielo durante la congelación. Cinco ciclos de la prueba del sulfato se consideran equivalente a muchos ciclos de congelación y deshielo.

Método de Prueba de la Resistencia a la Abrasión del Agregado Grueso de Tamaño Pequeño mediante el Uso de la Máquina de Los Ángeles, ASTM C-131 AASHTO T-96. El método utiliza la Máquina de los Ángeles, y consiste en colocar una cantidad especificada de agregado dentro de un tambor cilíndrico de acero que junto con cargas abrasivas (esferas) de una masa determinada y se le aplica un número determinado de revoluciones por minuto.

El choque entre el agregado y las bolas da por resultado la abrasión (desgaste del material), y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra (seca) y la masa del material desgastado (seca) expresándolo como porcentaje inicial.

## **2.2. CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LOS AGREGADOS COMO COMPONENTE DEL HORMIGÓN**

### **2.2.1. Resistencia y durabilidad de los agregados**

Por su propia naturaleza, la resistencia del concreto no puede ser mayor que la de sus agregados. Sin embargo, la resistencia a la compresión de los concretos convencionales, dista mucho de la que corresponde a la mayoría de las rocas empleadas como agregados. Lo expresado anteriormente es de fácil comprobación, si se observa la fractura de los especímenes de concreto sometidos a ensayos de compresión. En ellos, la rotura se

presenta en el mortero o en la zona de adherencia con el agregado grueso y, por excepción, en los agregados descompuestos o alterados. Pocas veces se determina la resistencia de compresión de los agregados; en estos casos, se evalúa la resistencia de la roca en probetas talladas para la prueba. Los resultados obtenidos no son indicativos, por la influencia intrínseca de los posibles planos débiles de la roca y lo incierto de extrapolar valores a las partículas fragmentadas.

### **2.2.2. La estabilidad de los agregados**

El comportamiento de los agregados en los concretos sujetos a la acción de las heladas se evalúa por el conocimiento de su comportamiento histórico en obras similares. Cuando esto no es posible, o se quiere una opinión más sustentada, se recomienda efectuar una de las pruebas siguientes: el ensayo de congelamiento o de inmersión en sulfato de magnesio o de sodio, En ambos casos se trata de establecer una similitud entre el ensayo y la realidad.

El comportamiento del concreto expuesto a la congelación guarda relación con la estructura de poros de los agregados. En efecto, si el agregado tiene un alto coeficiente de absorción, puede ocurrir que cuando el agua pasa del estado líquido al sólido por el congelamiento, la expansión de volumen provoca tensiones internas muy elevadas, que ocasionan el agrietamiento o desintegración del concreto.

Dentro de las pruebas de desgaste, en la mayoría de las normas sobre agregados a nivel internacional se establecen pruebas de desgaste o abrasión, en Norteamérica, la más generalizada es el denominado ensayo de Los Ángeles, consistente en colocar una muestra de agregado con granulometría especificada en un cilindro rotatorio horizontal, conjuntamente con un número de bolas de acero, aplicando al tambor un número dado de vueltas. El porcentaje de material fragmentado constituye un indicador de calidad.

El Ensayo de Los Ángeles está normalizado por el ASTM, los resultados han evidenciado relación con el comportamiento del concreto en pavimentos. Por otra parte, se estima como un indicador de la calidad del agregado.

### 2.2.3. Concepto general del hormigón

El hormigón es el producto resultante de la mezcla homogénea de pasta de un aglomerante, arena, grava o piedra y agua, que tiene la propiedad de endurecer con el tiempo adquiriendo su resistencia de trabajo a la edad de 28 días.

El concreto cuyas características de resistencia, versatilidad, durabilidad y economía, lo han convertido en el material de construcción más utilizado en el mundo, se puede definir como una piedra artificial formada por cemento portland, agregados, agua y aire.

Con una idea muy general se puede hablar de que los integrantes del concreto se encuentran distribuidos tomando como base su peso en los porcentajes siguientes:

Pasta (cemento + agua) de un 23 a un 25 %, agregados (grava y arena) de 73 a 75% y aire atrapado 2%

**Figura 2.1: Componentes del concreto en porcentaje**



**Fuente: Tecnología del concreto. Juan Luis. Cottier Caviedes**

El concreto es sin lugar a dudas el material mayormente empleado en la construcción, gracias a su fácil moldeo, su facilidad de incorporar otros materiales y su costo relativamente bajo, no ha perdido vigencia hasta la fecha y es considerado el material más popular y requiere de actividades bien definidas y cuidadosamente supervisadas

para lograr el éxito garantizando el cumplimiento de su resistencia a compresión simple, estabilidad volumétrica y durabilidad.

#### **2.2.4. Agregados**

Se define como agregados, a los materiales pétreos resultantes de la desintegración natural de rocas o que se obtienen de la trituración de las mismas, o de otros materiales inerte y suficientemente duros.

Los agregados son relativamente económicos y no entran en reacciones químicas complejas con el agua; por lo tanto, ha sido costumbre tratarlos como un relleno inerte en el concreto. Sin embargo, debido al creciente conocimiento del papel que juegan los agregados para determinar varias propiedades importantes del concreto, la idea tradicional del agregado como relleno inerte está siendo seriamente cuestionada.

Las características del agregado que son significativas para la tecnología del concreto incluyen la porosidad, la graduación o distribución de tamaños, la absorción de humedad, la forma y la textura de la superficie, la resistencia a la ruptura, el módulo de elasticidad y los tipos de sustancias nocivas presentes.

Estas características se derivan de la composición mineralógica de la roca original (que es afectada por los procesos de formación geológica), las condiciones de exposición a que la roca ha estado sujeta antes de formar el agregado y el tipo de operación y de equipo que se ha utilizado para producir el agregado.

Las características de los agregados que influyen en el concreto se evidencian en la siguiente tabla.

**Tabla 2.1: Características de los agregados que inciden en las propiedades del concreto**

<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS QUE INCIDEN EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO</b>	
<b>PROPIEDADES DEL CONCRETO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS</b>
Durabilidad Resistencia Cambio de volumen Peso específico Módulo de elasticidad Resistencia al desgaste Dosificación Trabajabilidad Bombeabilidad Acabado del concreto Tiempo de fraguado Exudación Economía	Composición mineralógica Textura superficial Módulo de elasticidad Coeficiente de dilatación térmica Resistencia a la tensión Absorción Permeabilidad Estructura de los poros Estabilidad de volumen Granulometría Tamaño máximo Finos Forma Estabilidad química Sales solubles Adherencia en los granos Partículas de arcilla Materia orgánica Sensibilidad al agua Solubilidad en agua

**Fuente: Tecnología del concreto. Juan Luis. Cottier Caviedes**

Los áridos constituyen el esqueleto del hormigón, y son responsables de buena parte de las características del mismo pues son un elemento mayoritario.

Los áridos deben estar constituidos por partículas duras, de formas adecuadas (sin formas lajosas o aciculares), además, no deben contener arcillas, limos ni materias orgánicas. No deben ser heladizos, es decir, no deben deteriorarse con los ciclos de heladas, en general los áridos de baja densidad son pocos resistentes y porosos.

Normalmente los áridos se clasifican en fracciones definidas por su tamaño máximo y su tamaño mínimo.

## 2.3. CONCEPTOS ESPECÍFICOS

### 2.3.1. Agregado grueso

La grava o agregado grueso es uno de los principales componentes del hormigón o concreto, por este motivo su calidad es sumamente importante para garantizar buenos resultados en la preparación de estructuras de hormigón. Existen diferentes tipos de gravas entre los cuáles se puede mencionar la gravilla, grava de río, grava de banco, asimismo existe la piedra triturada que es resultado del machaqueo mecánico de piedra sólida.

**Figura 2.2: Agregado grueso (grava), Río Sola**



**Fuente: Elaboración propia**

El agregado grueso estará formado por roca o grava triturada obtenida de las fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad, el tamaño mínimo o el punto de división generalmente es de 4,75 mm (malla N°4). El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado, como ser el lavado.

La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava triturada deberá ser generalmente cúbica y deberá estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños.

En general, el agregado grueso deberá estar de acuerdo con las especificaciones ASTM AASHTO, (El uso de la norma está sujeto al país en el cual se aplique la misma, ya que las especificaciones de cada una de estas varían de acuerdo con la región o país).

**Tabla 2.2: Requisitos de la norma ASTM para el agregado grueso**

SUSTANCIA	NORMA	LÍMITE MÁXIMO (%)
Material que pasa por el tamiz No. 200	(ASTM C 117)	Máx. 0.5
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	Máx. 1
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	Máx. 0.5
Pérdida por intemperismo	(ASTM C 88, método Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Máx. 12
Pérdida por abrasión en la máquina de Los Ángeles	ASTM C 131 y C 535	Máx. 40

Fuente: Elaboración propia

El agregado grueso debe estar bien graduado entre los límites fino y grueso y deben estar separados en tamaños normales cuyas granulometrías se indican a continuación:

**Tabla 2.3: Granulometría de la norma AASHTO T-27 para el agregado grueso**

GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO			
TAMIZ	TAMAÑO mm.	ESPECIFICACIONES	
		LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
2"	50.8	100	100
1 1/2"	38.1	95	100
1"	25.4		
3/4"	19.1	35	70
1/2"	12.7		
3/8"	9.5	10	30
Nº 4	4.75	0	5

Fuente: Norma AASHTO



### **Módulo de finura**

El módulo de finura del agregado grueso, es el índice aproximado que nos describe en forma rápida y breve la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que lo constituyen.

El módulo de finura para el agregado grueso se calcula sumando los porcentajes acumulados de los tamices 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4 + 500 y dividiendo el total entre 100.

Es un indicador de la finura de un agregado es: cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado. Por lo general, el rango del módulo de finura del agregado grueso es de 5.5 a 8.5

$$MF = \frac{(\%) \text{Ret. Acum} (1\frac{1}{2} + 3/4 + 3/8 + N^{\circ}4 + 500)}{100}$$

### **Tamaño Máximo (TM)**

Se define como la abertura del menor tamiz por el cual pasa el 100% de la muestra.

### **Tamaño Máximo Nominal (TMN)**

El tamaño máximo nominal es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y está definido como el tamiz que le sigue en abertura (mayor) a aquél cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. La mayoría de los especificadores granulométricos se dan en función del tamaño máximo nominal y comúnmente se estipula de tal manera que el agregado cumpla con los siguientes requisitos.

- El TMN no debe ser mayor que 1/5 de la dimensión menor de la estructura, comprendida entre los lados de una formaleta.
- El TMN no debe ser mayor que 1/3 del espesor de una losa.

El TMN no debe ser mayor que 3/4 del espaciamiento libre máximo

### **2.3.2. Agregado fino**

Es el material granular fino resultado de la desintegración natural de rocas o del triturado de agregado grueso. Existen varias definiciones de tamaños para partículas de arena, la

más común en nuestro medio explica a la arena como aquel material granular que pasa la malla N°4(malla con abertura 4.75 mm), y se retiene en la malla N°200.

**Figura 2.3: Agregado fino (arena), El Saire**



**Fuente: Elaboración propia**

El agregado fino consistirá en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos, durables.

En general, el agregado fino o arena deberá cumplir con los requisitos de calidad, establecidos en la norma ASTM AASTHO, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

**Tabla 2.4: Requisitos de la norma ASTM para el agregado fino**

SUSTANCIA	NORMA	LÍMITE MÁXIMO (%)
Material que pasa por el tamiz No. 200	(ASTM C 117)	Máx. 3
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	Máx. 1
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	Máx. 1
Pérdida por intemperismo	(ASTM C 88, método Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Máx. 12

Fuente: Norma ASTM

El agregado fino deberá estar bien gradado entre los límites fino y grueso y tendrá la siguiente granulometría:

**Tabla 2.5: Granulometría de la norma AASHTO T-27 para el agregado fino**

GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO			
TAMIZ	TAMAÑO mm.	ESPECIFICACIONES	
		LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
3/8"	9.50	100	100
Nº 4	4.75	95	100
Nº 8	2.36		
Nº 16	1.18	45	80
Nº 30	0.60		
Nº 50	0.30	10	30
Nº 100	0.15	2	10
Nº 200	0.075	0	5

Fuente: Norma ASTM

### **Módulo de finura agregado fino**

El módulo de finura del agregado fino, es el índice aproximado que nos describe en forma rápida y breve la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que lo constituyen.

El módulo de finura de la arena se calcula sumando los porcentajes acumulados en las mallas siguientes: Número 4, 8, 16, 30, 50 y 100 y dividiendo el total entre 100. Un indicador de la finura de un agregado es: cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado.

$$MF = \frac{(\%)Ret.Acum(3/8 + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

Es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

El rango del módulo de finura de la arena es de 2.3 a 3.1

Si el módulo de finura de una arena es de 2.3 se trata de una arena fina; y si el modulo se encuentra entre 2.3 a 3.1 se trata de una arena mediana. Y si el módulo es mayor que 3.1 se trata de una arena gruesa.

### **2.3.3. Propiedades de los agregados**

#### **2.3.3.1. Propiedades físicas**

##### **Densidad**

Depende de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo. La densidad de los agregados es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario.

Las bajas densidades indican también que el material es poroso y débil y de alta absorción.

##### **Porosidad**

La palabra porosidad viene de poro que significa espacio no ocupado por materia sólida en la partícula de agregado es una de las más trascendentales propiedades del agregado por su influencia en las otras propiedades de éste, puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad.

### **Porcentaje de vacíos**

Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. Se evalúa usando la siguiente expresión recomendada por ASTM C 29.

### **Humedad**

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla.

### **2.3.3.2. Propiedades resistentes**

#### **Resistencia**

La resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados; la textura la estructura y composición de las partículas del agregado influyen sobre la resistencia.

Si los granos de los agregados no están bien cementados unos a otros consecuentemente serán débiles. La resistencia al chancado o compresión del agregado deberá ser tal que permita la resistencia total de la matriz cementante.

#### **Dureza**

Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión abrasión o en general al desgaste. La consistencia de las partículas depende de sus constituyentes.

Entre las rocas a emplear en concretos éstas deben ser resistentes a procesos de abrasión o erosión y pueden ser el cuarzo, la cuarcita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas silicosas.

#### **2.3.4. Teoría estadística que utiliza la investigación**

La estadística es una ciencia matemática que se utiliza para describir, analizar e interpretar ciencias características de un conjunto de individuos llamado población. La estadística se divide en dos ramas:

##### **Estadística descriptiva**

Se dedica a los métodos de recolección, descripción, visualización y resumen de datos originados a partir de los fenómenos en estudio. Además, calcula parámetros estadísticos como las medidas de centralización y de dispersión que describen el conjunto estudiado.

##### **Estadística inferencial**

Es una parte de la estadística que comprende los métodos y procedimientos que por medio de la inducción determina propiedades de una población estadística, a partir de una parte de esta. Su objetivo es obtener conclusiones útiles para hacer deducciones sobre una totalidad, basándose en la información numérica de la muestra.

Estas inferencias pueden tomar la forma de respuestas a preguntas sí/no (prueba de hipótesis), estimaciones de unas características numéricas (estimación), pronósticos de futuras observaciones, descripciones de asociación (correlación) o modelamiento de relaciones entre variables (análisis de regresión).

Estos principios son utilizados en los sistemas de control de calidad, en los laboratorios de ensayo se generan valores numéricos y/o características particulares referentes a un individuo (muestra u objeto de evaluación de la conformidad) y luego se realiza una inferencia para caracterizar y/o asignar un valor numérico que describa a la población en relación con valores esperados.

##### **Parámetros estadísticos muestrales**

Los parámetros muestrales son resúmenes de la información contenida en la muestra que determinan su estructura.

Los parámetros muestrales son variables aleatorias (no son constantes) pues sus valores dependen de la estructura de la muestra que no es siempre la misma. Como consecuencia de la naturaleza aleatoria del muestreo. A estos parámetros se los suele llamar estadísticos.

### **Máximo**

El máximo es el valor de datos más grande en la muestra. Utilice el máximo para identificar un posible valor atípico o un error de entrada de datos. Una de las maneras más sencillas de evaluar la dispersión de los datos consiste en comparar el mínimo y el máximo.

### **Mínimo**

El mínimo es el valor de datos más pequeño en la muestra. Utilice el mínimo para identificar un posible valor atípico o un error de entrada de datos. Una de las maneras más sencillas de evaluar la dispersión de los datos consiste en comparar el mínimo y el máximo.

### **La media aritmética**

En matemáticas y estadística, la media aritmética, también llamada promedio o media, de un conjunto finito de números es el valor característico de una serie de datos cuantitativos, objeto de estudio que parte del principio de un valor esperado, se obtiene a partir de la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos. Cuando el conjunto es una muestra aleatoria recibe el nombre de media muestral siendo uno de los principales estadísticos muestrales.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

La media aritmética es la media de tendencia central que posee menor varianza. Engloba toda la información de la muestra, supone una cierta desventaja pues los valores muy extremos en muestras pequeñas afectan significativamente el valor de la media.

### **Desviación estándar de una muestra**

Una desviación estándar de una muestra estima la desviación estándar de una población basada en una muestra aleatoria. La desviación estándar de la muestra, a diferencia de la desviación estándar de la población, es una estadística que mide la dispersión de los datos alrededor de la media de muestra. En las estadísticas, la "media" es igual a la media de un conjunto de números; para obtenerla, los investigadores suman una lista de números y dividen el total por la cantidad de números en la lista. Para calcular la

desviación estándar de la muestra, los investigadores dividen las desviaciones al cuadrado por el número de conjuntos de datos menos 1, luego toman la raíz cuadrada.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{x})^2}{n}}$$

### **Desviación estándar de una población**

La desviación estándar de una población les da a los investigadores la cantidad de dispersión de los datos de una población entera de los encuestados. Una desviación estándar de la población representa un parámetro, no una estadística. Los parámetros se refieren a una propiedad numérica de una población. Una estadística, por el contrario, significa que un número se puede calcular a partir de los datos. Los investigadores utilizan las estadísticas para estimar parámetros.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

## **2.4. MARCO NORMATIVO**

### **2.4.1. Normas para el control de calidad de agregados pétreos**

Los agregados pétreos, requieren de un control de calidad adecuado para lograr con ello la realización de concretos con propiedades de estándares elevados, definiendo también el costo y trabajabilidad de dichas mezclas. Por lo que es importante y necesario efectuar los ensayos respectivos, que logren determinar los aspectos físicos, mecánicos y químicos de los agregados.

Las especificaciones normadas de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM por sus siglas en inglés) establece los parámetros necesarios, que deben cumplir los agregados para ser considerados apropiados para su utilización en mezclas de concreto. Por lo que a continuación se menciona cada uno de los ensayos y sus respectivas normas.

Análisis granulométrico	(AASHTO T-27 ASTM C-136)
Durabilidad con sulfato de sodio	(AASHTO T-104 ASTM C-88)
Abrasión “Prueba de Los Ángeles”	(AASHTO T-96 ASTM C-131)



### 2.4.2. Solidez de los agregados frente a la acción de soluciones de sulfato de sodio o de magnesio

La solidez de los agregados se refiere a su capacidad para soportar cambios excesivos en volumen, debido a cambios en las condiciones ambientales como congelamiento-deshielo, calentamiento-enfriamiento, humedecimiento-secado, los agregados afectan la durabilidad del concreto y pueden no sólo comprometer su aspecto superficial (descaramientos) sino también la estabilidad de una estructura (agrietamientos internos). La capacidad de los agregados para soportar estos cambios desde luego depende de la procedencia, granulometría, forma, textura, porosidad y propiedades mecánicas de sus partículas.

La norma AASTHO T-104 describe el procedimiento a seguir para determinar la resistencia de los agregados pétreos cuando deben soportar la intemperie en concretos y otras aplicaciones. Este efecto se simula sometiendo los agregados a inmersión repetida en soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio, seguida de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables de las partículas del agregado, la fuerza de expansión interna derivada de la rehidratación de la sal después de re inmersión, simula la expansión del agua por congelamiento.

Mediante este método se puede obtener información útil para juzgar la resistencia de los agregados a la acción de los agentes atmosféricos, cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear, en las condiciones climatológicas reales de servicio.

Las pérdidas de ensayo de solidez (norma de ensayo AASHTO T-104), no podrán superar el doce por ciento (12%) o dieciocho por ciento (18%), según se utilice sulfato de sodio o de magnesio, respectivamente.

**Tabla 2.6: Requisitos de la norma ASTM para ensayos de solidez**

AGREGADO GRUESO / FINO		
ENSAYO	NORMA	LÍMITE MÁXIMO %
Sulfato de sodio	AASHTO T-104 ASTM C-88	12
Sulfato de magnesio	AASHTO T-104 ASTM C-88	18

Fuente: Norma ASTM

## **Importancia y uso**

Este método de ensayo brinda un procedimiento para hacer una valoración preliminar de la solidez de los agregados previstos para la elaboración de concretos y para otros propósitos. Los valores obtenidos se pueden comparar con los indicados en las especificaciones, con el fin de establecer la aptitud de un agregado para un determinado uso. Dado que la precisión de este método de ensayo es baja, el rechazo de los agregados que no cumplan las especificaciones pertinentes no se puede dar sin confirmar los resultados de otros ensayos mejor relacionados con el uso que se le va a dar al material. Los valores de las pérdidas resultantes al aplicar este método son, generalmente, diferentes para agregados finos y agregados gruesos. Además, se llama la atención sobre el hecho de que los resultados que se obtienen, varían según la sal que se emplee y que hay que ser cuidadoso al fijar los límites de cualquier especificación que incluya un requisito en relación con este ensayo. Normalmente, el ensayo es más severo cuando se usa sulfato de magnesio; por lo tanto, los porcentajes de pérdida permitidos cuando se usa sulfato de magnesio suelen ser mayores que cuando se usa sulfato de sodio.

### **2.4.2.1. Sanidad de los agregados**

El agregado es considerado insano cuando los cambios de su volumen causados por el clima, como los ciclos alternados de mojado y secado, o de congelamiento y descongelamiento, resultan en el deterioro del concreto. La falta de sanidad se muestra generalmente en las rocas que tienen una estructura característica de poros. Los concretos que contienen pizarras, rocas calizas y rocas areniscas, han sido hallados susceptibles de daño por congelación y por cristalización de sales dentro de los agregados. Aunque se utiliza a menudo la alta absorción de humedad como un índice de falta de sanidad, muchos agregados como la roca pómez y las arcillas expandidas, pueden absorber grandes cantidades de agua y permanecer sanas.

La falta de sanidad está relacionada por lo tanto con la distribución del tamaño de los poros, más que con la porosidad total del agregado. La distribución del tamaño de poros, que permite a las partículas del agregado saturarse al mojarse (o a descongelarse en el caso de congelación), pero evita el fácil drenado al secarse (o congelarse), es capaz

de causar altas presiones hidráulicas dentro del agregado. La sanidad del agregado al desgaste por la acción ambiental es determinada por el Método ASTM C-88, AASHTO T104, que describe un procedimiento estándar para determinar directamente la resistencia del agregado a la desintegración al exponerlo a cinco ciclos de humedecimiento y secado; se utiliza solución saturada de sodio o de sulfato de magnesio para el ciclo de humedecimiento.

### **2.4.3. Resistencia a la degradación de los agregados por medio de la máquina de los ángeles**

La norma AASTHO T- 96 describe el procedimiento para medir la degradación de un agregado pétreo con una composición granulométrica definida, como resultado de una combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y molienda en un tambor de acero rotatorio que contiene un número determinado de esferas metálicas, el cual depende de la granulometría de la muestra de ensayo. A medida que gira el tambor, una pestaña de acero recoge la muestra y las esferas de acero y las arrastra hasta que caen por gravedad en el extremo opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración, entonces la muestra y las esferas ruedan dentro del tambor, hasta que la pestaña las levanta y se repite el ciclo.

Tras el número especificado de revoluciones, se retira el contenido del tambor y se tamiza la porción de agregado para medir la degradación, como un porcentaje de pérdida.

#### **Importancia y uso**

En cuanto a su importancia y uso, de este ensayo se ha usado ampliamente como un indicador de la calidad relativa o la competencia de diferentes fuentes de agregados pétreos de similares composiciones mineralógicas. Los resultados no brindan automáticamente comparaciones válidas entre fuentes marcadamente diferentes en origen, composición o estructura. Los límites de las especificaciones deben ser

asignados con extrema precaución, considerando los tipos de agregados disponibles y su comportamiento histórico en aplicaciones específicas.

**Tabla 2.7: Requisitos de la norma ASTM para ensayos de durabilidad**

<b>ENSAYO DE CONTROL DE CALIDAD</b>		
Abrasión (Los Ángeles)	AASHTO T-96 ASTM C-131	40% máx.

Fuente: Norma ASTM

## **2.5. MARCO LEGAL**

Actualmente el órgano legislativo del gobierno municipal autónomo de la ciudad de Tarija y la provincia cercado sanciona la ley municipal N°039 “MANEJO Y APROVECHAMIENTO DE ÁRIDOS Y AGREGADOS, EN CAUSES Y RÍOS, POZOS Y CANTERAS”

## **2.6. ANTECEDENTES DE EXPLOTACIÓN**

Los depósitos aluviales de agregados o más conocidas en nuestro medio como canteras, ya identificados son fuentes de explotación continua para su uso dentro de las distintas obras civiles en nuestro medio, se pudo observar tres formas de explotación de áridos.

### **Aprovechamiento familiar, comunitario y de orden social**

Es aquella operación que, sin fines comerciales, cumple con las necesidades de áridos y agregados para la construcción de viviendas familiares propias, obras que benefician a las comunidades colindantes con los ríos, pozos, canteras.

### **Aprovechamiento artesanal o actividad menor de áridos y agregados**

Es aquella operación que utiliza métodos de extracción manual, consiste en la extracción ejecutada mediante simple excavación en forma personal, a base de cuadrillas reducidas de dos a cuatro hombres mediante palas y picos, siendo muy baja la producción de áridos por hombre/día, no se utiliza maquinaria industrial.

### **Aprovechamiento industrial o actividad mayor de áridos y agregados.**

En las seis canteras de estudio se pudo identificar plantas procesadoras de áridos las cuales consisten en la extracción mediante excavación en gran volumen ejecutada a base de equipos mecanizados como volquetas, excavadoras, cargadores frontales cernidores vibratorios, chancadoras.

**Figura 2.4: Planta procesadora de áridos ubicada en Santa Ana**



**Fuente: Elaboración propia**

**CAPÍTULO III**

**RELEVAMIENTO Y MANEJO DE LA  
INFORMACIÓN DE LAS CANTERAS EN  
ESTUDIO**

## **CAPÍTULO III. RELEVAMIENTO Y MANEJO DE LA INFORMACIÓN DE LAS CANTERAS EN ESTUDIO**

El proyecto de investigación, utilizará el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y como objeto de estudio, las canteras de agregados de la ciudad de Tarija, en las provincias (Avilés, Méndez, Cercado y Arce), por lo tanto esta investigación contiene el estudio de la solidez de los agregados pétreos extraídos de las canteras de las ciudad de Tarija, este método de ensayo cubre los procedimientos de prueba para evaluar la solidez de muestras de agregados por los efectos de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

La prueba de solides mediante sulfato de sodio o sulfato de magnesio es un método por el cual es posible estimar cualitativamente la durabilidad de roca bajo condiciones de intemperie.

Los resultados de este método de prueba no se van a utilizar como la única base para la determinación de la durabilidad de roca, sino que siempre se debe utilizar en combinación con los resultados de otras pruebas.

### **3.1. ENFOQUE DE TRABAJO**

De acuerdo a los objetivos de la investigación se busca determinar la posible potencialidad reactiva de agregados de algunas canteras de agregados de la región que generalmente podrían ser usados para la construcción de pavimentos rígidos, para ello se desarrollarán los siguientes dos métodos:

- Método de los sulfatos para determinar la desintegración. Norma **ASTM C-88, AASHTO T-104.**
- Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles. Noma **ASTM C-131, AASHTO T-96.**

Los cuáles se desarrollaron en el laboratorio de Suelos y Hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho-Tarija.

Los agregados naturales que se emplearon para la investigación son de la región:

- Río Camacho
- Río Erquis

- Río Santa Ana
- Río Sola
- Río la Victoria
- Quebrada Saire

Con los cuáles se obtendrán:

- Caracterización de cada banco de agregado.
- Ensayos de solidez por medio de sulfatos
- Ensayos de durabilidad, desgaste de los ángeles.

Tomando en cuenta todas las características de los agregados, para realizar una comparación entre resistencias adquiridas.





El nombre apropiado de los ríos y quebradas fue tomado de las cartas del Instituto Geográfico Militar, de la siguiente manera:

<b>NOMBRE</b>	<b>CARTA</b>	<b>HOJA</b>
Río Camacho	Rosillas	6628-III
Río Erquis	Iscayachi	6629-IV
Río Santa Ana	Tarija	6629-II
Río Sola	Tolomosa	6629-III
Río Victoria	Iscayachi	6629-IV
Quebrada Saire	Padcaya	6628-II

## **3.2. CRITERIOS DE MUESTREO**

### **3.2.1. Muestreo de agregados para construcción de carreteras**

El propósito de muestreo de agregados gruesos y finos con los siguientes propósitos:

- Investigación preliminar de las fuentes de suministro de materiales.
- Inspección de los materiales en la fuente.
- aceptación o rechazo de los materiales.

Los ensayos de aceptación y control varían con el tipo de construcción en el cual se va a emplear el material. Las investigaciones preliminares y la toma de muestras de posibles yacimientos o fuentes y tipos de agregados, son factores de gran importancia para determinar las disponibilidades y las cualidades de los materiales, en relación con la futura construcción.

#### **Importancia y uso**

La toma de muestras es tan importante como los mismos ensayos, por lo tanto, el encargado de hacerla debe tomar todas las precauciones necesarias, para obtener muestras que indiquen la verdadera naturaleza y las características reales de los materiales representados por ellas.

La investigación preliminar y el muestreo de las fuentes y los tipos potenciales de agregados, ocupan un lugar muy importante en la determinación de la disponibilidad y

conveniencia de los principales componentes de una construcción vial. Esta investigación afecta la construcción desde el punto de vista económico y determina el control que requieren los materiales para asegurar la durabilidad de las obras.

### **3.2.2. Exploración de fuentes potenciales de agregados pétreos**

La exploración de fuentes potenciales de agregados pétreos debe ser dirigida por una persona responsable, con la experiencia requerida por este tipo de trabajo. Debido a la diversidad de condiciones bajo las cuales se debe hacer el muestreo, es imposible describir procedimientos detallados aplicables a todos los casos.

#### **3.2.2.1. Muestreo en canteras y vetas**

Ante todo se debe inspeccionar el frente de la cantera o veta para determinar su estratificación. Se deberán anotar todos los cambios de color y estructura que se observen.

#### **Muestreo y tamaño de las muestras**

De cada estrato distinguible se deberá tomar una muestra de no menos de 25 kg. La muestra no deberá contener material intemperizado en una cuantía tal, que no resulte adecuada para los fines para los cuales se obtuvo. Se deben tomar muestras de cada estrato que resulte distinguible. Si el depósito se ha venido trabajando mediante un frente abierto o un pozo, las muestras se deberán tomar haciendo un pozo de exploración de aproximadamente 0.80 m x 0.80 m y descartando una altura de 0.40 m.

#### **3.2.2.2. Muestreo en zonas de préstamo lateral o en depósitos aluviales**

Se debe realizar una inspección en las fuentes conocidas de material aluvial, sus características y posibilidades se pueden establecer a partir de pozos hechos con anterioridad, en los cuales se puedan apreciar los posibles frentes de explotación. La fotointerpretación, la exploración geológica u otros tipos de investigación de campo, también permiten identificar la existencia de posibles depósitos de agregados pétreos.

### **Muestreo y tamaño de las muestras**

Se deben tomar muestras de cada estrato que resulte distinguible. Si el depósito se ha venido trabajando mediante un frente abierto o un pozo, las muestras se deberán tomar haciendo un pozo de exploración de aproximadamente 0.80 m x 0.80 m y descartando una altura de 0.40 m. Este material descartado podría tener presencia de impurezas y a la vez ser un material sometido a la intemperie por lo cual no es un material apto para los propósitos de investigación, a partir del material descartado se toma la muestra para el ensayo a realizar. En la muestra no deberá quedar incluido el material de descapote. Conviene hacer sondeos en distintos sitios del depósito, con el fin de establecer su calidad y extensión, más allá de lo que permite apreciar el frente de explotación. El número y la profundidad de las perforaciones dependerán de la cantidad de material requerido, de la naturaleza del depósito, de las características de los materiales y del valor potencial del material. Si la inspección visual indica que los materiales son muy variables, se deberán tomar muestras seleccionadas de cada estrato identificable. Cada muestra se deberá mezclar completamente y cuartear, si es necesario, para obtener al menos 12 kg si la fuente es de material arenoso y 35 kg si el depósito contiene una cantidad apreciable de agregado grueso.

### **Registro**

Además de la información general que suele acompañar a todas las muestras, se requiere adjuntar los siguientes datos a las muestras provenientes de fuentes aluviales:

- Ubicación de la fuente.
- Distancia de acarreo hasta el sitio de la obra y condiciones del camino.
- Detalle sobre la ubicación y representatividad de cada muestra. Para este propósito es recomendable adjuntar fotografías, esquemas y planos que muestren la ubicación.

### **3.3. MUESTREO DE LOS MATERIALES PARA LA INVESTIGACIÓN**

#### **Agregados**

Los agregados empleados para la investigación se seleccionaron tomando en cuenta los más usuales para la construcción y tratando de abarcar diferentes cuencas de Tarija las más cercanas a la ciudad.

#### **Criterios para el muestreo de los agregados**

Los agregados fueron extraídos de acuerdo con el método para extraer y preparar muestras (ASTM C 75 AASHTO T2)<sup>1</sup>, el cual establece los procedimientos que se deben seguir para preparar muestras representativas de áridos finos, gruesos e integrales para fines de ensayos.

Las muestras extraídas son de yacimiento sin frente descubierto de árido en su sitio de depósito natural, no sometido a tratamiento alguno.

#### **3.3.1. Codificación de los sondeos y toma de muestra**

Se realizaron cinco sondeos a cielo abierto en las seis canteras ya mencionadas, cada sondeo está referenciado mediante coordenadas Geográficas, se describe el perfil de cada cantera. Simultáneamente se obtuvo muestras a diferentes distancias, dependiendo de los estratos encontrados.

En las figuras: 3.1, 3.3, 3.5, 3.7, 3.9, 3.11. Se Detalle del número de sondeos de investigación en cada cantera

La identificación de las muestras se lo realizó con la siguiente codificación, se tomará por ejemplo Camacho:

**CAM:S1:M1**

#### **Donde:**

**CAM=** Es el nombre específico del lugar de estudio Camacho.

**S=** Es el nombre genérico de Sondeo que va acompañado de un numero correlativo de cada sondeo.

**M=** Es el nombre genérico de Muestra que va acompañado del numeral 1; es decir de cada sondeo se tomó una sola muestra.

---

<sup>1</sup> Manuales de Ensayos de Suelos y Materiales\*Hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras

### 3.3.2. Ubicación y descripción del lugar

#### 3.3.2.1. Río Camacho

Figura 3.1: Ubicación de los sondeos para la investigación, cantera de Camacho



Fuente: Google earth

SONDEO	CODIFICACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS UTM		
		LATITUD (S)	LONGITUD (O)	ZONA	C. ESTE	C. NORTE
1	CAM:S1:M1	21°41'14.2"	64°36'41.0"	20 K	333292.79	7600919.90
2	CAM:S2:M1	21°41'23.0"	64°36'35.5"	20 K	333453.69	7600650.91
3	CAM:S3:M1	21°41'44.75"	64°36'26.46"	20 K	333720.46	7599984.71
4	CAM:S4:M1	21°41'7.69"	64°36'45.10"	20 K	333172.89	7601118.92
5	CAM:S5:M1	21°41'10.35"	64°37'10.57"	20 K	332443.98	7601029.08

## **Camacho**

La cantera de Camacho se encuentra ubicada en la provincia Avilés de la ciudad de Tarija, más propiamente en la provincia de Uriondo. La extracción de los agregados del Río Camacho se efectuó a 27 Km aproximadamente de la ciudad de Tarija, entre 21°41´ latitud sur y 64°36´ latitud oeste, a este contribuyen los ríos de Chaguaya, Juntas, Barrancas, Camacho. Los áridos de este río son de canto rodado, material aprovechable por su buena consistencia y homogeneidad.

En cuanto a la formación geológica son depósitos de origen fluvial y aluvial, formado por gravas de edad precámbrica y rocas compuestas de cuarcitas y lutitas.

La identificación de las muestras se lo realizó con la siguiente codificación:

**CAM:S1:M1**

**CAM=** Es el nombre específico del lugar Camacho.

**S=** Es el nombre genérico de Sondeo que va acompañado de un número correlativo de cada sondeo.

**M=** Es el nombre genérico de Muestra que va acompañado del numeral 1; es decir de cada sondeo se tomó una sola muestra.

**Figura 3.2: Árido Río Camacho, sondeo 2**

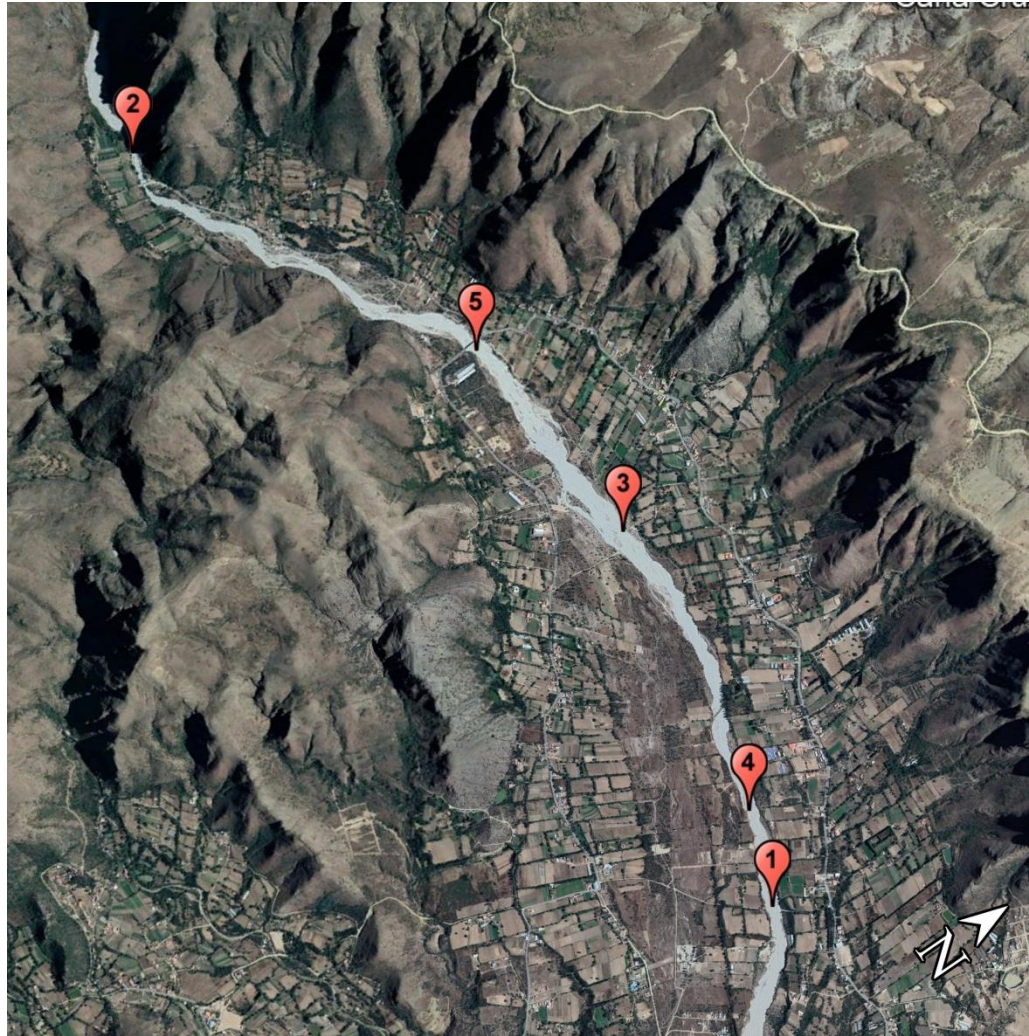


**Fuente: Elaboración propia**



### 3.3.2.2. Río Erquis

Figura 3.3: Ubicación de los sondeos para la investigación, cantera de Erquis



Fuente: Google earth

SONDEO	CODIFICACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS UTM		
		LATITUD (S)	LONGITUD (O)	ZONA	C. ESTE	C. NORTE
1	ERQ:S1:M1	21°28'28.50"	64°47'0.80"	20 K	315207.45	7624274.27
2	ERQ:S2:M1	21°28'44.82"	64°49'46.22"	20 K	310451.31	7623717.36
3	ERQ:S3:M1	21°28'14.8"	64°48'07.8"	20 K	313273.86	7624673.52
4	ERQ:S4:M1	21°28'23.01"	64°47'16.65"	20 K	314749.25	7624437.91
5	ERQ:S5:M1	21°28'17.91"	64°48'46.93"	20 K	312148.48	7624564.86

## **Erquis**

La cantera de Erquis encuentra ubicada la provincia Méndez al Noreste de la ciudad de Tarija aproximadamente a 13 Km entre 21°28´ latitud sur y 64°47´ latitud oeste, los agregados provienen del río Erquis son de la cordillera biológica de Sama.

En cuanto a las características a simple vista se puede notar que algunas piedras tienen formas lajosas y por la cercanía a la ciudad son muy empleados, de acuerdo a la formación existe un material semi-consolidado de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas.

La identificación de las muestras se lo realizó con la siguiente codificación:

### **ERQ:S1:M1**

**ERQ**= Es el nombre específico del lugar, Erquis.

**S**= Es el nombre genérico de Sondeo que va acompañado de un número correlativo de cada sondeo.

**M**= Es el nombre genérico de Muestra que va acompañado del numeral 1; es decir de cada sondeo se tomó una sola muestra.

**Figura 3.4: Árido Río Erquis, sondeo 1**

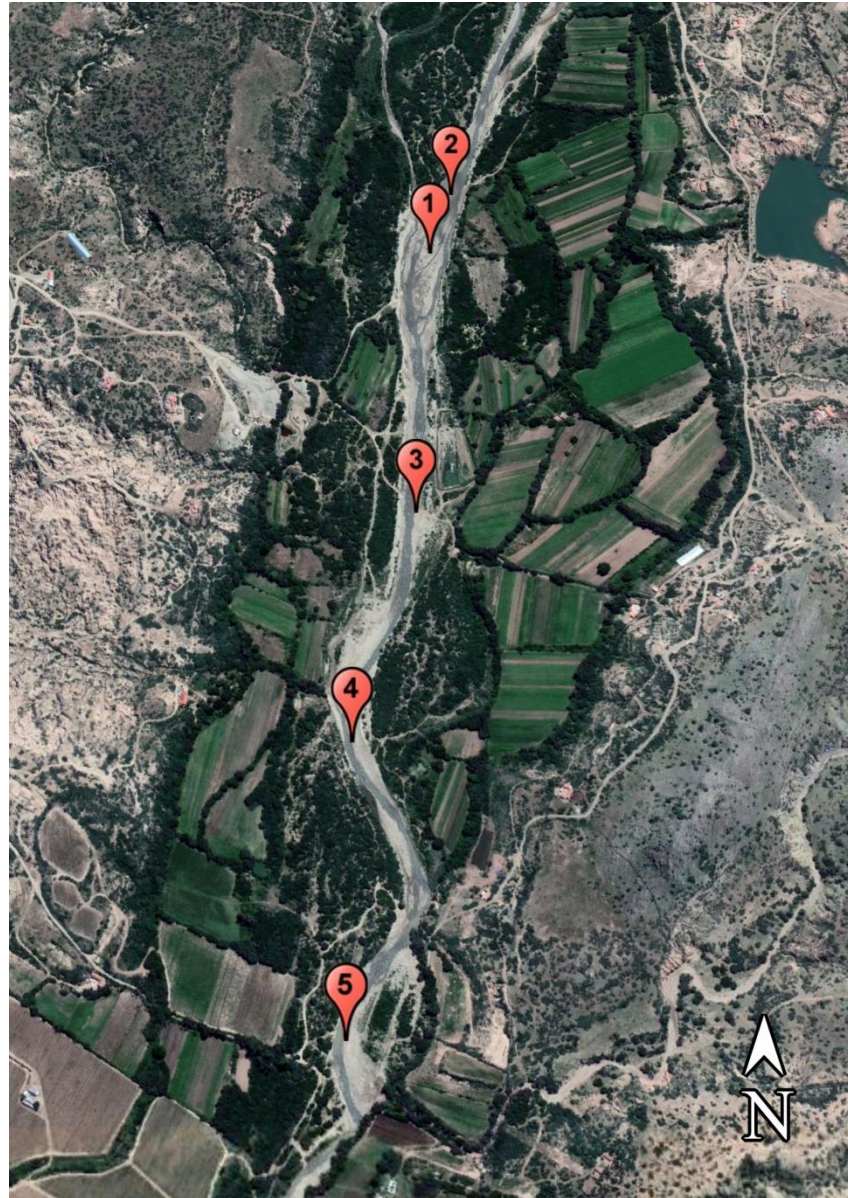


**Fuente: Elaboración propia**



### 3.3.2.3. Río Santa Ana

Figura 3.5: Ubicación de los sondeos para la investigación, cantera de Santa Ana



Fuente: Google earth

SONDEO	CODIFICACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS UTM		
		LATITUD (S)	LONGITUD (O)	ZONA	C. ESTE	C. NORTE
1	SAN:S1:M1	21°33'35.0"	64°34'55.1"	20 K	336192.96	7615073.17
2	SAN:S2:M1	21°33'31.75"	64°34'53.63"	20 K	336234.23	7615173.55
3	SAN:S3:M1	21°33'48.75"	64°34'57.14"	20 K	336138.57	7614649.72
4	SAN:S4:M1	21°34'00.2"	64°35'01.5"	20 K	336016.72	7614296.32
5	SAN:S5:M1	21°34'14.10"	64°35'2.99"	20 K	335978.20	7613868.42

### **Santa Ana**

Santa Ana se localiza en la provincia Cercado de la ciudad de Tarija, a unos 19 Km al Oeste de la ciudad de Tarija, al lado de la carretera Panamericana Tarija-Padcaya, sobre el río Santa Ana, entre 21°33' latitud sur y 64°34' latitud oeste, al cual aporta el río Carlaso. El material es ampliamente usado en la región como árida fina limpio. Los bancos se ubican en los meandros (curvas) del curso del río, que son los lugares donde se acumula mayor cantidad de material.

Los depósitos cuaternarios de Santa Ana, están compuestos de material semi-consolidado de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas, formados a partir de la destrucción de las rocas, compuestos de lutitas y areniscas.

La identificación de las muestras se lo realizó con la siguiente codificación:

#### **SAN:S1:M1**

**SAN**= Es el nombre específico del lugar, Santa Ana.

**S**= Es el nombre genérico de Sondeo que va acompañado de un número correlativo de cada sondeo.

**M**= Es el nombre genérico de Muestra que va acompañado del numeral 1; es decir de cada sondeo se tomó una sola muestra.

**Figura 3.6: Árido Río Santa Ana, sondeo 4**



**Fuente: Elaboración propia**



### 3.3.2.4. Río Sola

Figura 3.7: Ubicación de los sondeos para la investigación, cantera de Sola



Fuente: Google earth

SONDEO	CODIFICACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS UTM		
		LATITUD (S)	LONGITUD (O)	ZONA	C. ESTE	C. NORTE
1	SOL:S1:M1	21°38'29.9"	64°50'01.1"	20 K	310234.66	7605717.59
2	SOL:S2:M1	21°38'15.9"	64°49'05.5"	20 K	311828.38	7606166.98
3	SOL:S3:M1	21°38'25.49"	64°50'17.43"	20 K	309763.49	7605847.68
4	SOL:S4:M1	21°38'21.30"	64°49'19.30"	20 K	311433.51	7605996.24
5	SOL:S5:M1	21°38'12.16"	64°48'56.2"	20 K	312094.46	7606285.13

## **Sola**

La cantera de San Pedro de Sola se encuentra situada en la provincia Cercado al Sudoeste de la ciudad de Tarija, aproximadamente a 20 Km entre 21° 38´ latitud sur y 64°49´ latitud oeste, los materiales provenientes del río Sola, son de la cordillera biológica de Sama. La explotación actual se extiende desde San Pedro de Sola hasta la comunidad de San Andrés.

Los áridos de esta zona son aprovechables por su buena consistencia y homogeneidad, los áridos finos son homogéneos y a simple vista se ve una arena gruesa no muy fina, de acuerdo a la formación geológica en la zona de San Pedro de Sola, existen depósitos de carácter aluvial, de material suelto, de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas producto de la destrucción de rocas de la formación cienaguillas.

La identificación de las muestras se lo realizó con la siguiente codificación:

### **SOL:S1:M1**

**SOL**= Es el nombre específico del lugar, Río Sola.

**S**= Es el nombre genérico de Sondeo que va acompañado de un número correlativo de cada sondeo.

**M**= Es el nombre genérico de Muestra que va acompañado del numeral 1; es decir de cada sondeo se tomó una sola muestra.

**Figura 3.8: Árido Río Sola, sondeo 2**

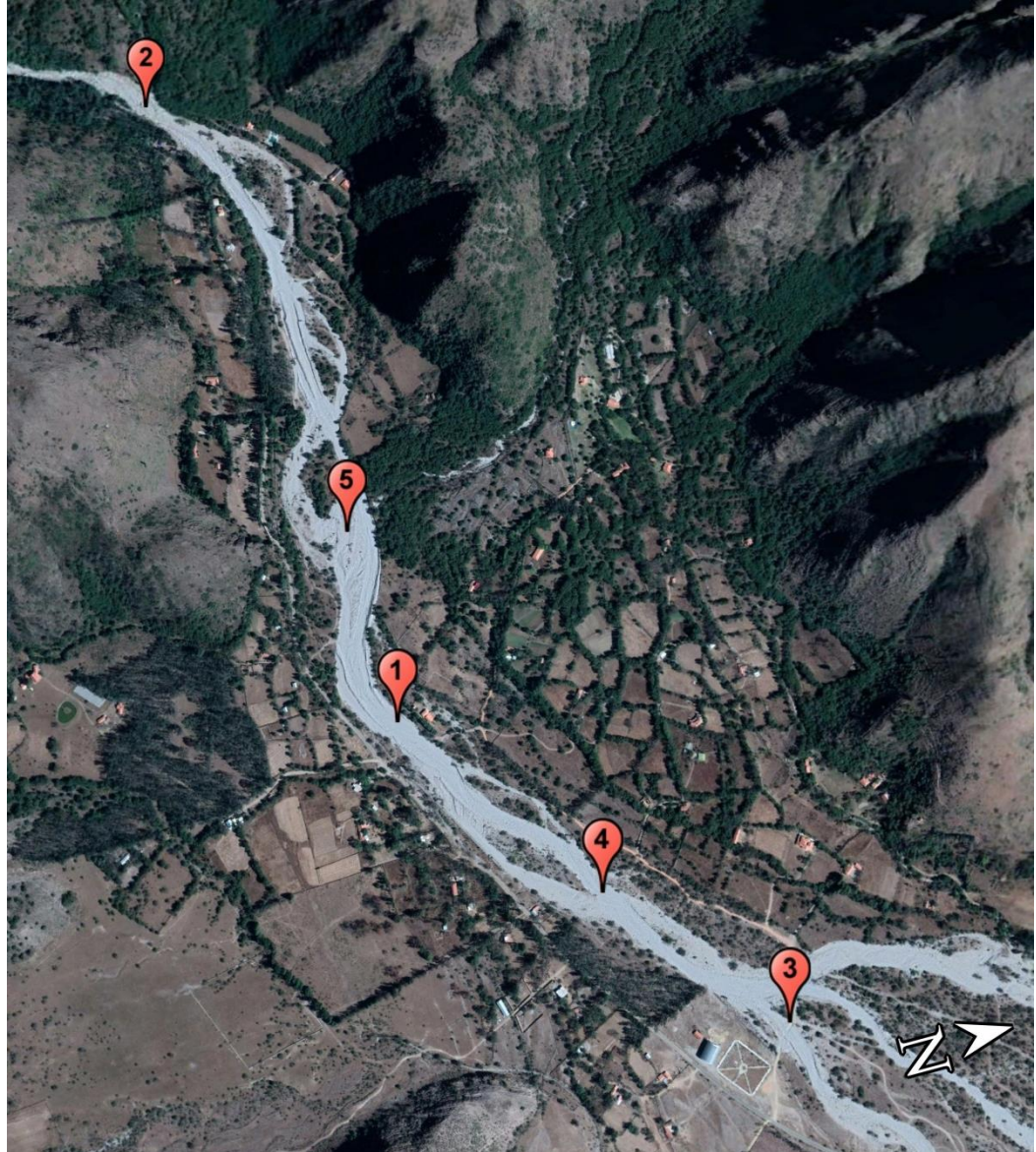


**Fuente: Elaboración propia**



### 3.3.2.5. Río Victoria

Figura 3.9: Ubicación de los sondeos para la investigación, cantera de La Victoria



Fuente: Google earth

SONDEO	CODIFICACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS UTM		
		LATITUD (S)	LONGITUD (O)	ZONA	C. ESTE	C. NORTE
1	VIC:S1:M1	21°32'27.01"	64°49'32.29"	20 K	310932.18	7616888.41
2	VIC:S2:M1	21°32'30.57"	64°50'10.60"	20 K	309831.11	7616765.98
3	VIC:S3:M1	21°32'12.17"	64°49'11.1"	20 K	311536.58	7617351.95
4	VIC:S4:M1	21°32'19.39"	64°49'20.40"	20 K	311271.57	7617126.77
5	VIC:S5:M1	21°32'26.63"	64°49'43.36"	20 K	310613.50	7616896.37

### **La Victoria**

La cantera de la Victoria se encuentra ubicada en la provincia Méndez al Noreste de la ciudad de Tarija, aproximadamente a 17 Km entre 21° 32' latitud sur y 64°49' latitud oeste, los materiales provenientes del Río Victoria, son de la cordillera biológica de Sama. La explotación actual se extiende desde el rincón de la Victoria hasta el callejón de la Victoria.

Los áridos de esta zona son aprovechables por su buena consistencia y homogeneidad, los áridos finos son homogéneos y a simple vista se ve una arena gruesa no muy fina.

De acuerdo a la formación geológica en la zona de La Victoria, existen depósitos de carácter aluvial de canto rodado, de material suelto, de cantos, gravas, arenas, limos y arcillas producto de la destrucción y de rocas, formados con lutitas de color gris oscura.

La identificación de las muestras se lo realizó con la siguiente codificación:

#### **VIC:S1:M1**

**VIC**= Es el nombre específico del lugar, Río Sola.

**S**= Es el nombre genérico de Sondeo que va acompañado de un número correlativo de cada sondeo.

**M**= Es el nombre genérico de Muestra que va acompañado del numeral 1; es decir de cada sondeo se tomó una sola muestra.

**Figura 3.10: Árido Río Victoria, sondeo 2**

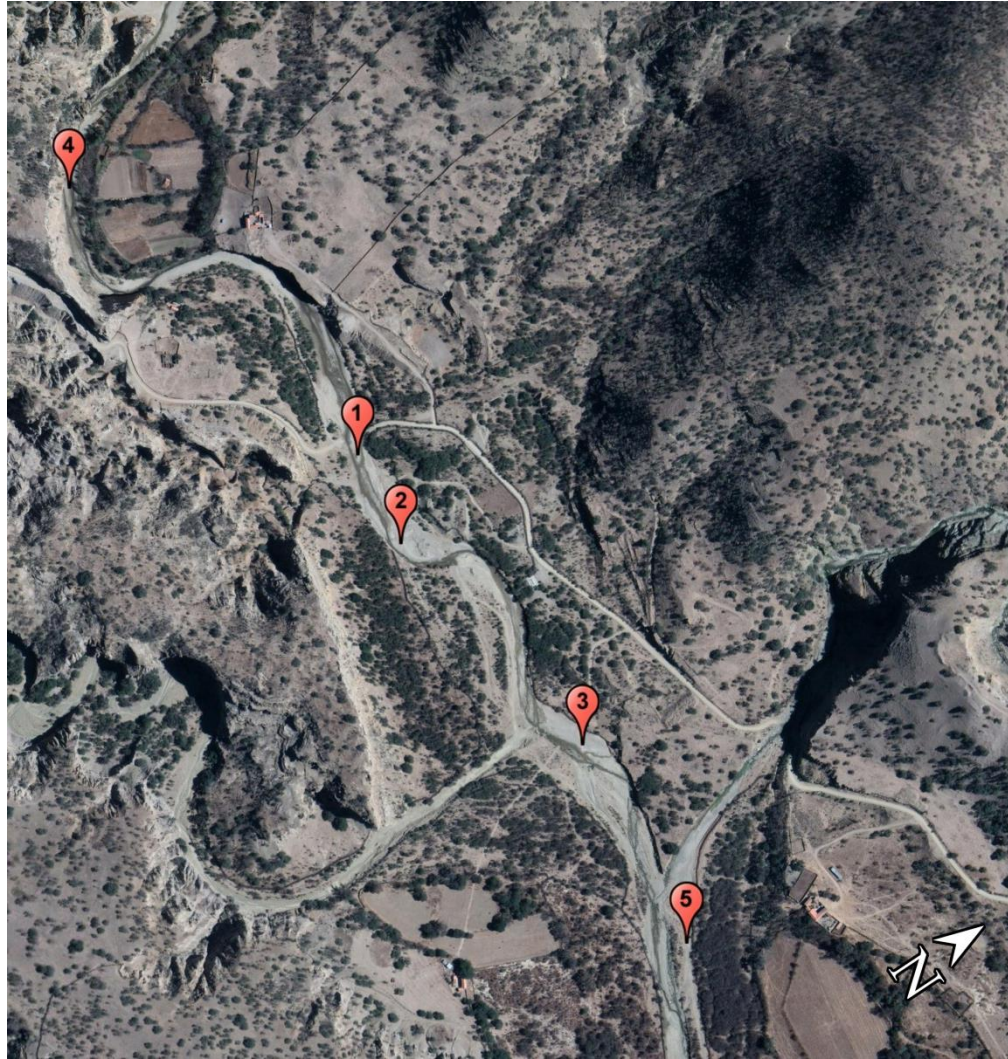


**Fuente: Elaboración propia**



### 3.3.2.6. Quebrada Saire

Figura 3.11: Ubicación de los sondeos para la investigación, cantera el Saire



Fuente: Google earth

SONDEO	CODIFICACIÓN	COORDENADAS GEOGRÁFICAS		COORDENADAS UTM		
		LATITUD (S)	LONGITUD (O)	ZONA	C. ESTE	C. NORTE
1	SAIS1:M1	21°55'42.7"	64°42'32.2"	20 K	323494.06	7574100.75
2	SAIS2:M1	21°55'43.3"	64°42'27.8"	20 K	323620.52	7574083.70
3	SAIS3:M1	21°55'41.8"	64°42'15.9"	20 K	323961.49	7574133.64
4	SAIS4:M1	21°55'46.6"	64°42'49.5"	20 K	322998.95	7573975.26
5	SAIS5:M1	21°55'42.91"	64°42'6.28"	20 K	324237.93	7574102.56

## **Saire**

La cantera del Saire se encuentra ubicada en la provincia Arce municipio de Padcaya de la ciudad de Tarija. Aproximadamente a 60 Km entre 21°55' latitud sur y 64°42' latitud oeste.

Los áridos de la quebrada El Saire son de canto rodado y es un material aprovechable por su buena consistencia y homogeneidad.

En cuanto a la formación geológica son depósitos de origen fluvial y aluvial, formado por gravas sedimentarias, y rocas ígneas compuestas de cuarcitas y lutitas.

La identificación de las muestras se lo realizó con la siguiente codificación:

### **SAI:S1:M1**

**SAI**= Es el nombre específico del lugar, Río Saire.

**S**= Es el nombre genérico de Sondeo que va acompañado de un número correlativo de cada sondeo.

**M**= Es el nombre genérico de Muestra que va acompañado del numeral 1; es decir de cada sondeo se tomó una sola muestra.

**Figura 3.12: Árido Río Saire, sondeo 2**



**Fuente: Elaboración propia**



### 3.4. FICHA TÉCNICA DEL SULFATO DE SODIO

El sulfato empleado para la investigación es el sulfato de sodio anhidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) al 99%, el cual cuenta con las siguientes características:

#### Identificación del producto

Tipo: Sulfato de sodio anhidro ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )

Presentación: Bolsas de 1 Kg.

Peso molecular: 142.06 g/mol

#### Descripción

Sal inorgánica, cristalina, blanca e inodora cuando está en forma anhidra, y se conoce como sal Glauber cuando está en forma deca-hidratada con fórmula:  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$

#### Especificaciones del producto

Pureza % mín.	99
Cloruros % máx.	0.2
Hierro (mg/Kg) máx.	100
Calcio (mg/Kg) máx.	500
Magnesio (mg/Kg) máx.	20
Humedad % máx.	0.2
Insolubles en HCl % máx.	0.05

#### Propiedades físicas y químicas

Apariencia:	Sólido cristalino
Color	Blanco
Olor:	Inodoro
Punto de Fusión:	884°C
Punto de Inflamación:	No es inflamable
pH(10g/l en $\text{H}_2\text{O}$ ):	Aprox. 7.6

pH	Solución Saturada: 9.8
Densidad:	2.67 g/cm <sup>3</sup>
Solubilidad en Agua:	Aprox.180 g/l a 20°C / aprox. 400 g/l a 35°C
Peso molecular:	142.04 g/mol

### **Estabilidad y reactividad**

- Reactividad: No se conoce ninguna reacción peligrosa en condiciones normales de almacenamiento y uso.
- Estabilidad química: El producto es estable a temperatura ambiente, en condiciones normales de almacenamiento y uso.
- Posibilidad de reacciones peligrosas Riesgo de explosión con: Aluminio en condiciones extremas y anómalas el Aluminio en polvo a altas temperaturas podría reaccionar con el Sulfato Sódico reduciéndose a SO<sub>2</sub> siendo el gas que advertiría del riesgo de explosión.
- Condiciones que deben evitarse: Calentamiento
- Estabilidad química: Estable bajo condiciones ordinarias de uso y almacenamiento.
- Productos Peligrosos de descomposición: Cuando se calienta hasta temperatura de descomposición (1100°C), el sulfato de sodio produce óxidos de sodio y azufre.
- Incompatibilidad: Aluminio o magnesio. A elevadas temperaturas puede formar mezclas explosivas con aluminio.
- Polimerización Peligrosa: No ocurrirá.

### **3.5. CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS**

#### **3.5.1. Ensayos**

Los ensayos fueron realizados en los ambientes del laboratorio de suelos y hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y de acuerdo a los manuales técnicos, ensayos de suelos y hormigones de la ABC (Administradora Boliviana de Carreteras).

Las especificaciones para la caracterización de los agregados se encuentran en el ANEXO N°5.

#### **Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM C 136 AASHTO T27)<sup>2</sup>**

Este método de ensayo establece el procedimiento para tamizar y delimitar la granulometría (distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituyen un árido).

#### **Método para el cuarteo de muestras (ASTM C 702 AASHTO T248)<sup>3</sup>**

Este método de ensayo establece el procedimiento los diferentes tipos y tamaños de áridos que requiere la muestra para que sea representativa, para cualquier tipo de ensayo.

#### **Método de los sulfatos para determinar la desintegración (ASTM C 88 AASHTO T-104)<sup>4</sup>**

Este método establece el procedimiento para determinar la desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Este método se aplica a los áridos que se utilizan en la elaboración de morteros, hormigones y mezclas asfálticas.

#### **Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM C 131 AASHTO T96)<sup>5</sup>**

Este método de ensayo establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2.5 mm, mediante la máquina de los ángeles.

---

<sup>2</sup> Manuales de Ensayos de Suelos y Materiales\*Hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras

<sup>3</sup> Manuales de Ensayos de Suelos y Materiales\*Hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras

<sup>4</sup> Manuales de Ensayos de Suelos y Materiales\*Hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras

<sup>5</sup> Manuales de Ensayos de Suelos y Materiales\*Hormigones. Administradora Boliviana de Carreteras

### 3.6. RESULTADOS

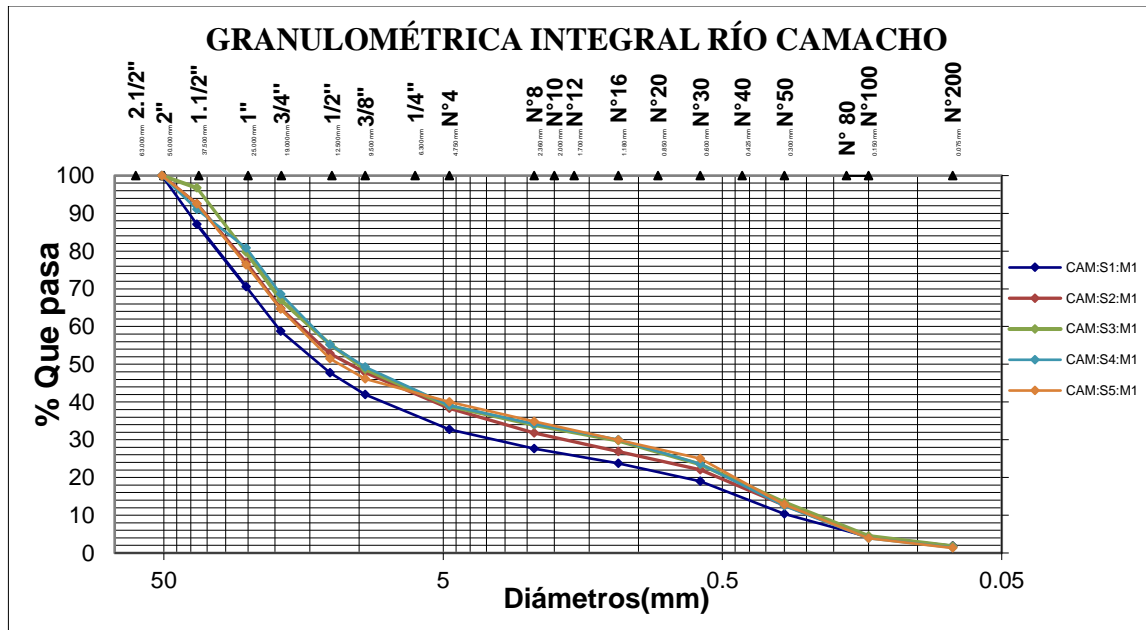
#### 3.6.1. Granulometrías de las seis canteras

Tabla 3.1: Granulometría integral Río Camacho

	PORCENTAJE QUE PASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
CAM:S1:MI	100.0	87.1	70.6	58.8	47.8	42.0	32.7	27.6	23.7	19.0	10.3	4.2	1.9
CAM:S2:MI	100.0	92.5	77.0	64.8	52.8	47.9	38.3	31.8	26.9	22.0	12.6	4.3	1.7
CAM:S3:MI	100.0	96.8	79.7	67.1	55.3	48.7	38.9	34.0	29.8	23.5	13.4	4.5	1.8
CAM:S4:MI	100.0	91.1	80.8	68.6	55.2	49.3	39.1	34.2	30.0	23.6	12.5	3.9	1.4
CAM:S5:MI	100.0	92.5	76.3	64.6	51.5	46.1	40.0	34.9	30.0	25.0	12.8	3.9	1.3

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.13: Curva granulométrica integral Río Camacho



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.2: Resumen granulometría

DESIGNACIÓN	%
Grava > 4,75 mm	62.2
Arena gruesa: 4,75-1,18 mm	9.7
Arena media: 1,18-0,30 mm	15.7
Arena fina: 0,30-0,075 mm	10.7
Pasa Nº 200	1.6
Total	100.0
Pasante Nº 4-Retenido Nº 200	36.2

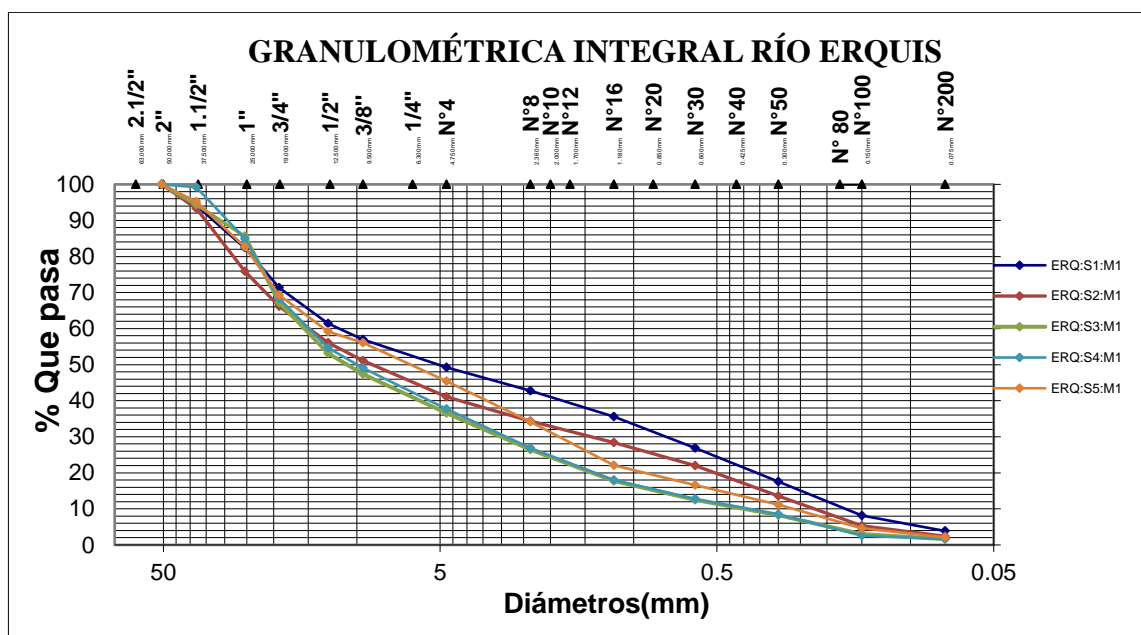
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.3: Granulometría integral Río Erquis**

	PORCENTAJE QUE PASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
ERQ:S1:MI	100.0	94.3	82.5	71.4	61.4	56.9	49.2	42.8	35.6	26.9	17.5	8.1	3.9
ERQ:S2:MI	100.0	93.3	75.9	66.2	56.1	51.1	41.1	34.3	28.4	22.0	13.6	5.3	2.4
ERQ:S3:MI	100.0	94.4	85.6	67.3	53.2	47.3	36.5	26.4	17.7	12.5	8.2	3.0	1.6
ERQ:S4:MI	100.0	99.2	85.0	68.3	54.7	49.1	37.7	26.9	18.0	12.8	8.5	2.6	1.6
ERQ:S5:MI	100.0	95.2	82.6	69.3	59.2	56.1	45.4	34.2	22.1	16.6	11.2	4.6	2.1

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.14: Curva granulométrica integral Río Erquis**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.4: Resumen granulométría**

DESIGNACIÓN	%
Grava > 4,75 mm	58.0
Arena gruesa: 4,75-1,18 mm	17.6
Arena media: 1,18-0,30 mm	12.5
Arena fina: 0,30-0,075 mm	9.5
Pasa Nº 200	2.3
Total	100.0
Pasante Nº 4-Retenido Nº200	39.7

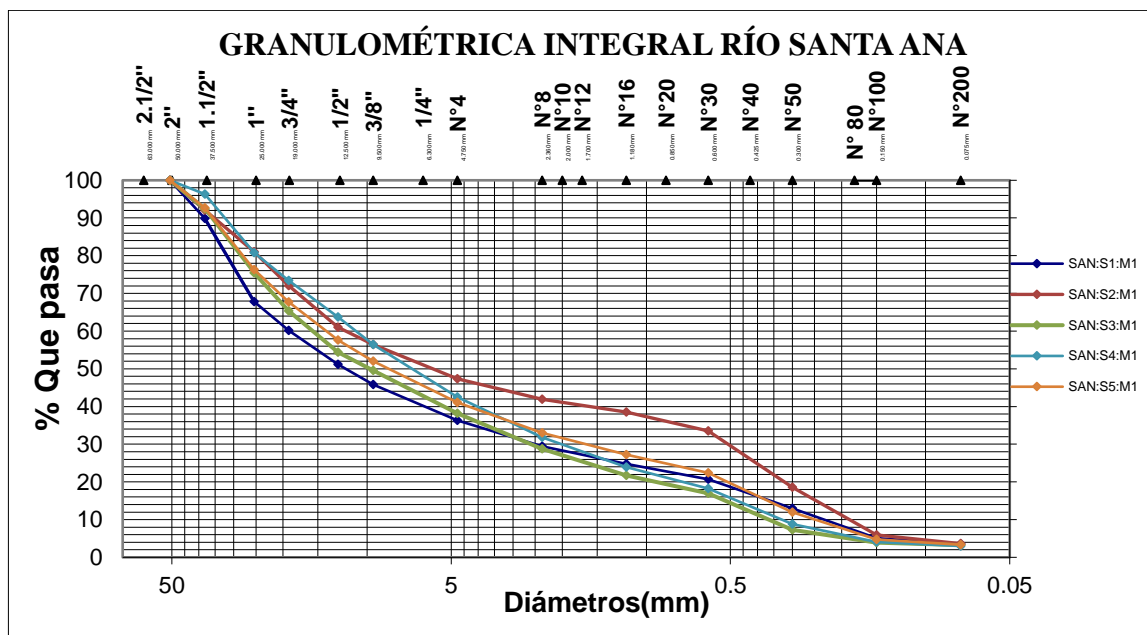
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.5: Granulometría integral Río Santa Ana**

	PORCENTAJE QUE PASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
SAN:S1:MI	100.0	89.8	67.8	60.1	51.2	45.8	36.4	29.4	24.7	20.7	13.0	5.1	3.5
SAN:S2:MI	100.0	92.1	81.0	72.0	61.0	56.4	47.3	41.9	38.5	33.5	18.6	5.9	3.6
SAN:S3:MI	100.0	92.4	75.4	65.3	54.4	49.6	38.2	28.8	21.7	16.9	7.3	3.9	3.2
SAN:S4:MI	100.0	96.3	80.8	73.4	63.8	56.4	42.5	31.9	23.9	18.3	8.8	4.1	3.0
SAN:S5:MI	100.0	92.7	76.3	67.7	57.6	52.1	41.1	33.0	27.2	22.4	11.9	4.8	3.3

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.15: Curva granulométrica integral Río Santa Ana**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.6: Resumen granulométría**

DESIGNACIÓN	%
Grava > 4,75 mm	58.9
Arena gruesa: 4,75-1,18 mm	13.9
Arena media: 1,18-0,30 mm	15.3
Arena fina: 0,30-0,075 mm	8.6
Pasa Nº 200	3.3
Total	100.0
Pasante Nº 4-Retenido Nº200	37.8

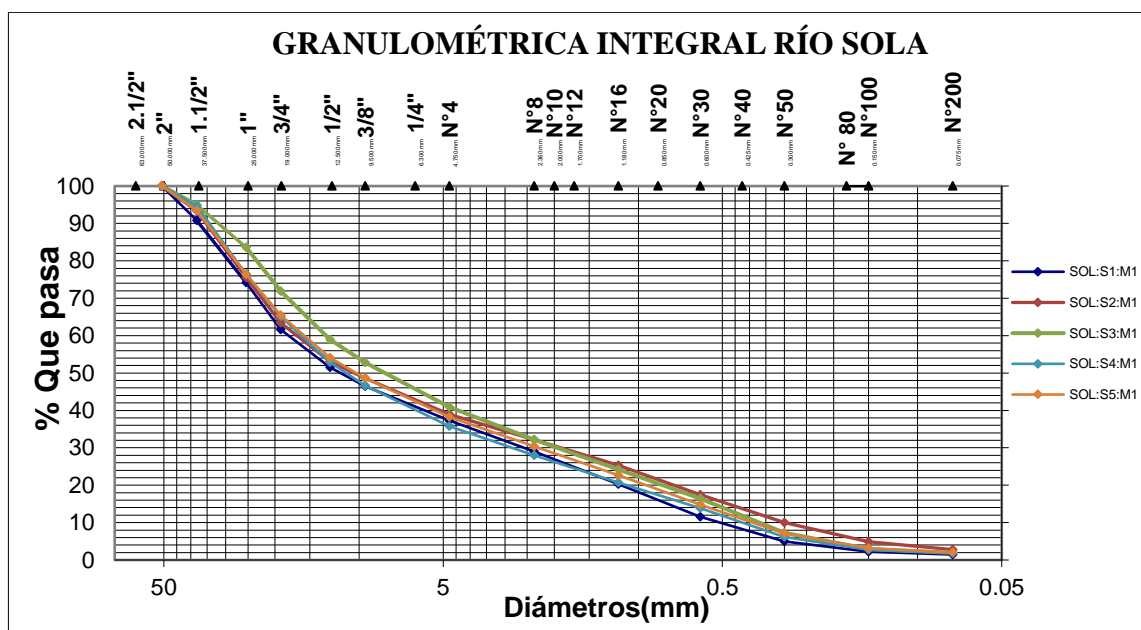
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.7: Granulometría integral Río Sola**

	PORCENTAJE QUE PASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
SOL:S1:MI	100.0	90.8	74.2	61.6	51.6	46.5	37.3	29.0	20.2	11.5	5.0	2.2	1.5
SOL:S2:MI	100.0	93.3	75.5	63.4	53.0	48.6	39.0	32.2	25.4	17.5	10.0	4.9	2.8
SOL:S3:MI	100.0	95.0	83.6	71.8	59.0	52.8	40.9	32.2	24.2	16.5	7.2	2.9	1.9
SOL:S4:MI	100.0	94.6	76.4	65.1	52.9	46.6	35.7	28.0	20.7	13.9	6.1	2.7	1.9
SOL:S5:MI	100.0	93.4	76.4	65.5	54.1	48.6	38.2	30.3	22.6	14.8	7.1	3.2	2.0

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.16: Curva granulométrica integral Río Sola**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.8: Resumen granulometría**

DESIGNACIÓN	%
Grava > 4,75 mm	61.8
Arena gruesa: 4,75-1,18 mm	15.6
Arena media: 1,18-0,30 mm	15.6
Arena fina: 0,30-0,075 mm	5.1
Pasa Nº 200	2.0
Total	100.0
Pasante Nº 4-Retenido Nº200	36.2

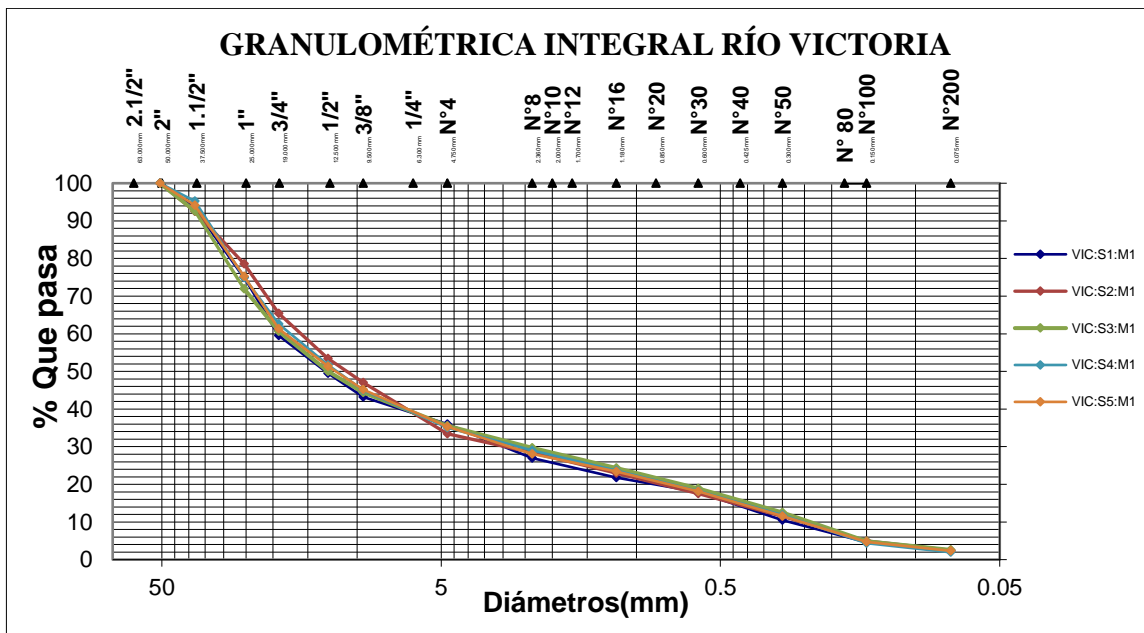
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.9: Granulometría integral Río Victoria**

	PORCENTAJE QUE PASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
VIC:S1:M1	100.0	93.5	75.0	59.5	49.5	43.2	36.0	27.0	21.8	18.0	10.5	4.6	2.3
VIC:S2:M1	100.0	92.5	78.6	65.4	53.4	47.0	33.4	28.4	23.0	17.5	11.5	5.0	2.5
VIC:S3:M1	100.0	92.6	72.0	60.6	50.0	44.4	35.5	29.7	24.3	18.9	12.5	4.8	2.6
VIC:S4:M1	100.0	95.2	74.9	62.6	51.7	45.0	35.1	29.0	23.7	18.2	11.9	4.4	1.9
VIC:S5:M1	100.0	94.1	75.3	61.3	51.4	45.2	35.3	28.1	23.4	18.1	11.6	4.7	2.3

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.17: Curva granulométrica integral Río Victoria**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.10: Resumen granulometría**

DESIGNACIÓN	%
Grava > 4,75 mm	64.9
Arena gruesa: 4,75-1,18 mm	11.8
Arena media: 1,18-0,30 mm	11.6
Arena fina: 0,30-0,075 mm	9.3
Pasa Nº 200	2.3
Total	100.0
Pasante Nº 4-Retenido Nº200	32.7

Fuente: Elaboración propia

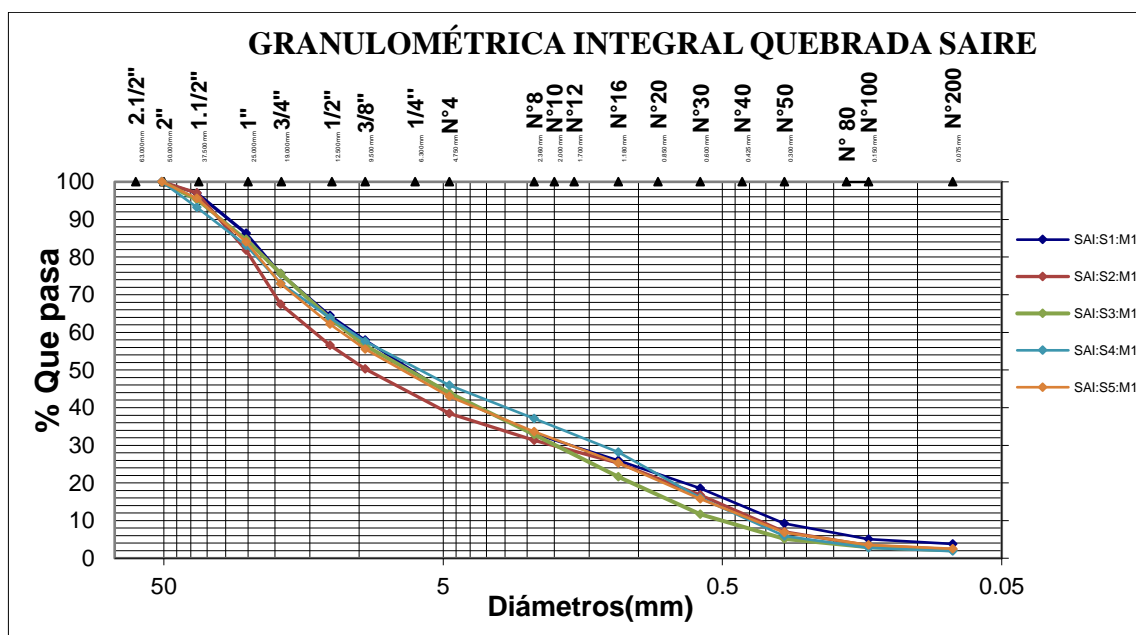


**Tabla 3.11: Granulometría integral Quebrada Saire**

	PORCENTAJE QUE PASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
SAI:S1:MI	100.0	97.0	86.3	75.6	64.5	57.9	43.6	33.1	26.0	18.5	9.2	5.0	3.8
SAI:S2:MI	100.0	97.0	81.9	67.5	56.6	50.3	38.5	31.4	25.3	16.8	7.0	3.4	2.3
SAI:S3:MI	100.0	95.2	84.7	75.6	63.7	56.5	43.9	32.8	21.7	11.7	5.2	2.9	2.1
SAI:S4:MI	100.0	93.2	83.1	73.0	63.9	57.6	45.9	37.1	28.2	16.0	5.9	2.8	1.9
SAI:S5:MI	100.0	95.6	84.0	72.9	62.2	55.6	43.0	33.6	25.3	15.8	6.8	3.5	2.5

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.18: Curva granulométrica integral quebrada Saire**



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.12: Resumen granulometría**

DESIGNACIÓN	%
Grava > 4,75 mm	57.0
Arena gruesa: 4,75-1,18 mm	17.7
Arena media: 1,18-0,30 mm	18.4
Arena fina: 0,30-0,075 mm	4.3
Pasa Nº 200	2.5
Total	100.0
Pasante Nº 4-Retenido Nº200	40.4

Fuente: Elaboración propia

### 3.6.2. Solidez de los agregados de las seis canteras

Para determinar la desintegración de los áridos gruesos y finos mediante soluciones de sulfato de sodio, se deben encontrar previamente lavados y ya con una gradación adecuada como lo exige la especificación, la densidad (g/ml) de la solución debe estar entre un rango de 1.151 y 1.174 a  $20 \pm 3$  °C

Las muestras se deben saturar entre un periodo  $17 \pm 1$  horas, posteriormente se debe retirar la solución de la muestra con mucho cuidado evitando la pérdida de material para proceder el secado en el horno hasta que seque a masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C, se debe repetir cinco veces el ciclo de inmersión y secado, para finalizar se debe lavar el material con agua caliente hasta retirar por completo la solución del sulfato de sodio

$$Pn(\%) = \frac{m_{INICIAL} - m_{FINAL}}{m_{INICIAL}} * ppr * 100$$

Donde:

Pn= Porcentaje ponderado de pérdida de masa de cada fracción de muestra (%).

mi= Masa inicial de la fracción (g).

mf:=Masa final de la fracción (g).

ppr= Porcentaje parcial retenido correspondiente a la fracción según el análisis granulométrico.

Se presenta un resumen de las pérdidas de material correspondiente a cada cantera y sondeo.

**Figura 3.19: Ensayo por sulfato de sodio**



**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 3.13: Resultado de la desintegración por sulfato Río Camacho**

N° DE ENSAYO	RÍO CAMACHO		ESPECIFICACIÓN ASTM
	GRUESO	FINO	
CAM:S1:MI	6.15	5.62	12% MAX
CAM:S2:MI	5.86	5.74	12% MAX
CAM:S3:MI	5.91	5.67	12% MAX

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.14: Resultado de la desintegración por sulfato Río Erquis**

N° DE ENSAYO	RÍO ERQUIS		ESPECIFICACIÓN ASTM
	GRUESO	FINO	
ERQ:S1:MI	5.17	4.65	12% MAX
ERQ:S2:MI	5.59	5.02	12% MAX
ERQ:S3:MI	5.39	4.79	12% MAX

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.15: Resultado de la desintegración por sulfato Río Santa Ana**

N° DE ENSAYO	RÍO SANTA ANA		ESPECIFICACIÓN ASTM
	GRUESO	FINO	
SAN:S1:MI	9.89	10.73	12% MAX
SAN:S2:MI	9.79	10.87	12% MAX
SAN:S3:MI	10.04	10.50	12% MAX

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.16: Resultado de la desintegración por sulfato Río Sola**

N° DE ENSAYO	RÍO SOLA		ESPECIFICACIÓN ASTM
	GRUESO	FINO	
SOL:S1:MI	3.67	2.81	12% MAX
SOL:S2:MI	3.90	2.90	12% MAX
SOL:S3:MI	3.82	2.93	12% MAX

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.17: Resultado de la desintegración por sulfato Río Victoria**

N° DE ENSAYO	RÍO VICTORIA		ESPECIFICACIÓN ASTM
	GRUESO	FINO	
VIC:S1:MI	4.37	2.99	12% MAX
VIC:S2:MI	4.68	3.44	12% MAX
VIC:S3:MI	4.49	3.15	12% MAX

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.18: Resultado de la desintegración por sulfato Quebrada Saire

N° DE ENSAYO	QUEBRADA SAIRE		ESPECIFICACIÓN ASTM
	GRUESO	FINO	
SAI:S1:MI	7.76	6.30	12% MAX
SAI:S2:MI	7.31	6.55	12% MAX
SAI:S3:MI	7.43	6.36	12% MAX

Fuente: Elaboración propia

La grava y la arena cumplen con la especificación de desintegración del material, actividad que consistió en someter a cinco ciclos de inmersión en sulfato de sodio y su posterior secado, se lo volvió a zarandear por su respectivo tamiz, de esta forma el material pasante es la pérdida o desgaste del agregado, el material que acepta las especificaciones es aquél que no sobrepase el 12% del total de pérdidas.

### 3.6.3. Desgaste de los Ángeles de las seis canteras

El Desgaste se realiza previamente lavando el material con el apoyo del ensayo de granulometría, con el fin de identificar cuál se asemeja más en el tipo de método según la norma para Pavimento Rígido.

Conociendo el método que corresponde a nuestro material, se podrá determinar el número de ciclos de la máquina de los Ángeles y el número de esferas a usar para realizar el desgaste al material.

**Tabla 3.19: Método de desgaste en función a la granulometría de la grava**

MÉTODO		A	B	C	D
DIÁMETRO		CANTIDAD DE MATERIAL AEMPLEAR (gr)			
PASA	RETENIDO				
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±10	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±10	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
<b>PESO TOTAL</b>		<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>
NÚMERO DE ESFERAS		12	11	8	6
N°DE REVOLUCIONES		500	500	500	500
TIEMPO DE ROTACIÓN		30	15	15	15

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.20: Máquina del desgaste los ángeles**



Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{ DESGASTE} = \frac{P_{INICIAL} - P_{FINAL}}{P_{INICIAL}} * 100$$

**Tabla 3.20: Planilla de resultado del desgaste Río Camacho**

Nº SONDEO	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACIÓN ASTM
CAM:S1:M1	5001.0	3709.4	25.83	40% MAX
CAM:S2:M1	5000.4	3671.2	26.58	40% MAX
CAM:S3:M1	5000.4	3713.2	25.74	40% MAX

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.21: Planilla de resultado del desgaste Río Erquis**

Nº SONDEO	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACIÓN ASTM
ERQ:S1:M1	5000.0	3708.4	25.83	40% MAX
ERQ:S2:M1	5000.5	3812.2	23.77	40% MAX
ERQ:S3:M1	5000.4	3796.4	24.08	40% MAX

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.22: Planilla de resultado del desgaste Río Santa Ana**

Nº SONDEO	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACIÓN ASTM
SAN:S1:M1	5001.8	3262.0	34.80	40% MAX
SAN:S2:M1	5000.8	3219.4	35.63	40% MAX
SAN:S3:M1	5000.7	3244.2	35.13	40% MAX

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.23: Planilla de resultado del desgaste Río Sola**

Nº SONDEO	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACIÓN ASTM
SOL:S1:M1	5000.0	4000.2	20.00	40% MAX
SOL:S2:M1	5000.8	3969.2	20.63	40% MAX
SOL:S3:M1	5000.8	3919.8	21.62	40% MAX

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.24: Planilla de resultado del desgaste Río La Victoria**

Nº SONDEO	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACIÓN ASTM
VIC:S1:M1	5000.0	3935.0	21.30	40% MAX
VIC:S2:M1	5000.5	3928.2	21.45	40% MAX
VIC:S3:M1	5000.6	3931.2	21.39	40% MAX

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 3.25: Planilla de resultado del desgaste Quebrada Saire**

Nº SONDEO	PESO INICIAL	PESO FINAL	% DE DESGASTE	ESPECIFICACIÓN ASTM
SAI:S1:M1	5000.4	3630.0	27.41	40% MAX
SAI:S2:M1	5000.4	3533.6	29.34	40% MAX
SAI:S3:M1	5000.5	3593.6	28.14	40% MAX

**Fuente: Elaboración propia**

La grava cumple con la especificación de desgaste del material, actividad que consistió en introducir a la máquina de los Ángeles el material, se lo zarandó por el tamiz 12, de esta forma, el material de desgaste es aquel que no debe pasar el 40% del total del material.

### 3.7. GUÍA DE ENSAYO DE LA SOLIDEZ DE LOS AGREGADOS FRENTE A LA ACCIÓN DE SOLUCIONES DE SULFATO DE SODIO

#### OBJETO

Este método describe el procedimiento que se debe seguir, para determinar la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio, seguido de secado al horno para deshidratar parcial o completamente la sal precipitada en los poros permeables, la fuerza de expansión interna derivada de la rehidratación de la sal después de re inmersión simula la expansión del agua por congelamiento.

Mediante este método se puede obtener una información útil para juzgar la calidad de los agregados que han de estar sometidos a la acción de los agentes atmosféricos, sobre todo cuando no se dispone de datos sobre el comportamiento de los materiales que se van a emplear, en las condiciones climatológicas de la obra.

#### EQUIPO Y MATERIALES

##### Tamices

Se Utilizan tamices con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños, para tamizar muestras de acuerdo a una granulometría ya determinada.

SERIE DE TAMICES PARA HORMIGÓN			
TAMICES SERIE FINA		TAMICES SERIE GRUESA	
TAMICES	TAMAÑO (mm)	TAMICES	TAMAÑO (mm)
2 1/2	63.00	Nº8	2.36
2	50.80	Nº16	1.18
1 1/2	38.10	Nº30	0.60
1	25.40	Nº50	0.30
3/4	19.05	Nº100	0.15
1/2	12.50		
3/8	9.50		
Nº4	4.75		

##### Balanzas

Las balanzas deben tener una capacidad suficiente, no superior a los 7000 g. y una precisión de 0.1 g, para pesar el agregado fino y para agregado grueso.

##### Horno

Con circulación de aire y temperatura regulable, capaz de mantener una temperatura a  $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$



### **Termómetro**

Termómetro con el intervalo de temperatura recomendado para la solución durante la realización del ensayo, con una precisión de 0.1° C.

### **Medidores de gravedad específica**

Hidrómetros, o una combinación apropiada de probeta graduada y balanza capaz de medir la gravedad específica de la solución con una aproximación de ± 0.01.

### **Recipientes para muestras**

Recipientes o bandejas para sumergir las muestras de los agregados en la solución, de acuerdo con el procedimiento descrito en este método.

Los recipientes deben de tener el tamaño adecuado a la porción a ensayar de tal manera que la solución quede un centímetro por encima del agregado.

Nota 1.- Se consideran recipientes adecuados para utilizar en este ensayo, los platillos y fuentes que no tengan ningún tipo de abertura para que no se produzca pérdida de partículas de agregados.

### **Solución necesaria**

Disuelva aproximadamente 350 g de sulfato de sodio anhidro (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), por litro de agua a una temperatura no mayor de 50 ° C, revuelva completamente durante la adición de la sal y a intervalos regulares hasta su uso, Se enfría la solución entre 20 ±5 °C.

Nuevamente se revuelve y permite que la solución permanezca a esta temperatura por lo menos durante 48 horas antes de emplearla. Previo a cada uso se rompe la pasta de sal si la hay en el recipiente, se revuelve la solución y determina la gravedad específica de la misma.

Al momento del empleo, la solución debe tener una densidad (g/ml), no menor de 1.154 y no mayor de 1.171. a 20 ±5 °C, con la siguiente formula:

$$Densidad = \frac{C}{D} = \frac{\text{peso de la solución (g)}}{\text{volumen de la muestra(ml)}}$$

A: Peso del matraz

B: Peso del matraz mas solución

C=B-A: Peso de la solución

D: Vol. de muestra, (se recomienda usar probetas de 100, 50 y 10 ml.)

Nota 2.- Es recomendable usar sal anhidra por tener mayor solubilidad que el producto hidratado.

Nota 3.- El ajuste de la densidad se logra disolviendo más o menos sal, según corresponda.

## EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Extraiga y prepare la muestra de acuerdo al método para extraer y preparar muestras (ASTM C-75 AASHTO T-2) y el método para el cuarteo de muestras (ASTM C-702 AASHTO T-248)

### Agregado fino

La muestra del agregado fino debe pasar toda por el tamiz de 4.75 mm (N°4), deberá ser de cantidad suficiente para poder obtener 100 g de cada una de las fracciones que se indican a continuación.

TAMICES	TAMAÑO (mm)	PESO REQUERIDO DE ENSAYO (gr)
N°8	2.36	100.0
N°16	1.18	100.0
N°30	0.60	100.0
N°50	0.30	100.0
N°100	0.15	100.0

Si la muestra contiene menos del 5% de alguno de los tamaños especificados anteriormente, ese tamaño no debe ser ensayado.

### Agregado grueso

La muestra del agregado grueso debe ser un material del que se han eliminado todas las fracciones inferiores al tamiz de 4.75 mm (No.4). La muestra debe tener como mínimo el tamaño suficiente para obtener de ella, las cantidades de las fracciones indicadas en la siguiente tabla.

TAMICES	TAMAÑO (mm)	PESO REQUERIDO DE ENSAYO (gr)
1 1/2	38.10	1000.0
1	25.40	1000.0
3/4	19.05	670.0
1/2	12.50	670.0
3/8	9.50	330.0
N°4	4.75	330.0

Se tomara tamaños de muestras considerando el porcentaje parcial retenido (Ppr) de cada fracción, de una granulometría ya definida mediante tamizado.

## **Preparación de las muestras**

### **Agregado fino**

Para la muestra de agregado fino se lava bien el material pasante el tamiz 4.75 mm (No.4), tratando de eliminar la mayor cantidad de limo y suciedad; luego se seca hasta masa constante, a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$ . (Por tratarse de pesos pequeños, recomendable cinco horas)

se separa en las diferentes fracciones por medio de un tamizado realizado de la siguiente manera:

Se efectúa primero una separación aproximada, por medio de la serie de los tamices indicados en la sección de (extracción y preparación de muestras para agregado fino.)

De cada una de las fracciones obtenidas de esta forma se separa la suficiente cantidad de muestra para poder obtener 100 g, Las partículas de agregado fino que quedan atrapadas en la malla del tamiz, no se emplean en la preparación de la muestra. Las muestras de 100 g, de cada una de las fracciones, después del tamizado final, se pesan y colocan por separado en los recipientes para ensayo.

### **Agregado grueso**

Para la muestra de agregado grueso se lava bien el material hasta retenido hasta el tamiz 4.75 mm (No.4), se seca hasta peso constante, a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5^{\circ} \text{C}$  y se separa en las diferentes fracciones indicadas en la sección de (extracción y preparación de muestras para agregado fino.)

De cada una de las fracciones obtenidas por tamizado se separa la cantidad requerida de cada una de estas fracciones, se pesa y se coloca, por separado, en los recipientes para ensayo.

## **CICLOS DE INMERSIÓN Y SECADO**

- Sumerja las fracciones de agregados en la solución de sulfato de sodio a una temperatura aproximada de  $20 \pm 5^{\circ} \text{C}$ . Por un periodo de  $17 \pm 1$  hora, de modo que los áridos queden cubiertos por una capa de solución superior a 1,5 cm. Se debe de cubrir los recipientes con algún material aislante para evitar la evaporación y contaminación.

- Después del ciclo de 17 horas, retire la solución de la muestra con mucho cuidado evitando perder material al escurrir la solución
- Seque las muestras hasta masa constante en horno a una temperatura de  $110^{\circ} \pm 5$  °C, deje enfriar a temperatura ambiente, (Por tratarse de pesos pequeños, recomendable cinco horas)
- Repita cinco veces el ciclo de inmersión y secado
- Después del quinto ciclo de inmersión retire la solución y lave las muestras con agua caliente a una temperatura aproximada de 40 °C, hasta eliminar completamente la presencia del sulfato de sodio para que no influya en el peso final



Nota 4.- el sulfato de sodio se caracteriza por cristalizarse a temperaturas no muy bajas, es decir a una temperatura ambiente de 19 °C empieza a cristalizarse (efecto similar al hielo), una vez se cumpla el ciclo de las 17 horas de inmersión y se encuentra la presencia del sulfato cristalizado, se debe de someter las fuentes de las muestras a un baño maría o calentarlas en una hornilla hasta que cambie de estado sólido a líquido la solución de sulfato de sodio

Seque las muestras hasta masa constante en el horno para luego determinar la masa final de las fracciones de acuerdo con el siguiente procedimiento:

Árido fino y árido grueso

- Tamice cada fracción de árido fino y grueso en el tamiz que fue retenido al iniciar el ensayo
- Pese y registre la masa del material retenido como la masa final de la fracción correspondiente como (mf)



Nota 5.- el material que pasa el tamiz en el que fue retenido al iniciar el ensayo, es el desgaste o pérdida de masa de ensayo de la muestra.

**Cálculos:**

$$Pn(\%) = \frac{mi - mf}{mi} * ppr$$

Dónde:

*pn*= Porcentaje ponderado de pérdida de masa de fracción de muestra (%).

*mi*= Masa inicial de la fracción (g)

*mf*= Masa final de la fracción (g)

*ppr*= Porcentaje parcial retenido correspondiente a la fracción según el análisis granulométrico (%)

Nota 6.-según las especificaciones ASTM C-88 AASHTO T-104 el desgaste o pérdida de material no debe de superar el 12% con el empleo del sulfato de sodio, es decir el 12% de pérdidas no debe de ser mayor para al agregado grueso y tampoco el 12% debe ser mayor para el agregado fino.

**INFORME**

El informe debe de contener los siguientes datos

- a) Nombre del contrato y contratista
- b) Procedencia de la muestra
- c) Sal con la que se efectuó el ensaye
- d) Resultado del ensaye
- e) Fecha de ensaye
- f) Referencia o especificación de este método
- g) Cualquier otra especificación específica relativa al ensayo o al árido.

**CAPÍTULO IV**  
**TRATAMIENTO DE RESULTADOS**  
**OBTENIDOS DE LAS CANTERAS EN**  
**ESTUDIO**

## **CAPÍTULO IV: TRATAMIENTO DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS CANTERAS EN ESTUDIO**

### **4.1. CRITERIOS GENERALES**

El presente capítulo, contiene los resultados de las pruebas realizadas a los agregados de las seis diferentes canteras en estudio, es decir, resultados de ensayos a agregados de extracción natural sin procesamiento alguno.

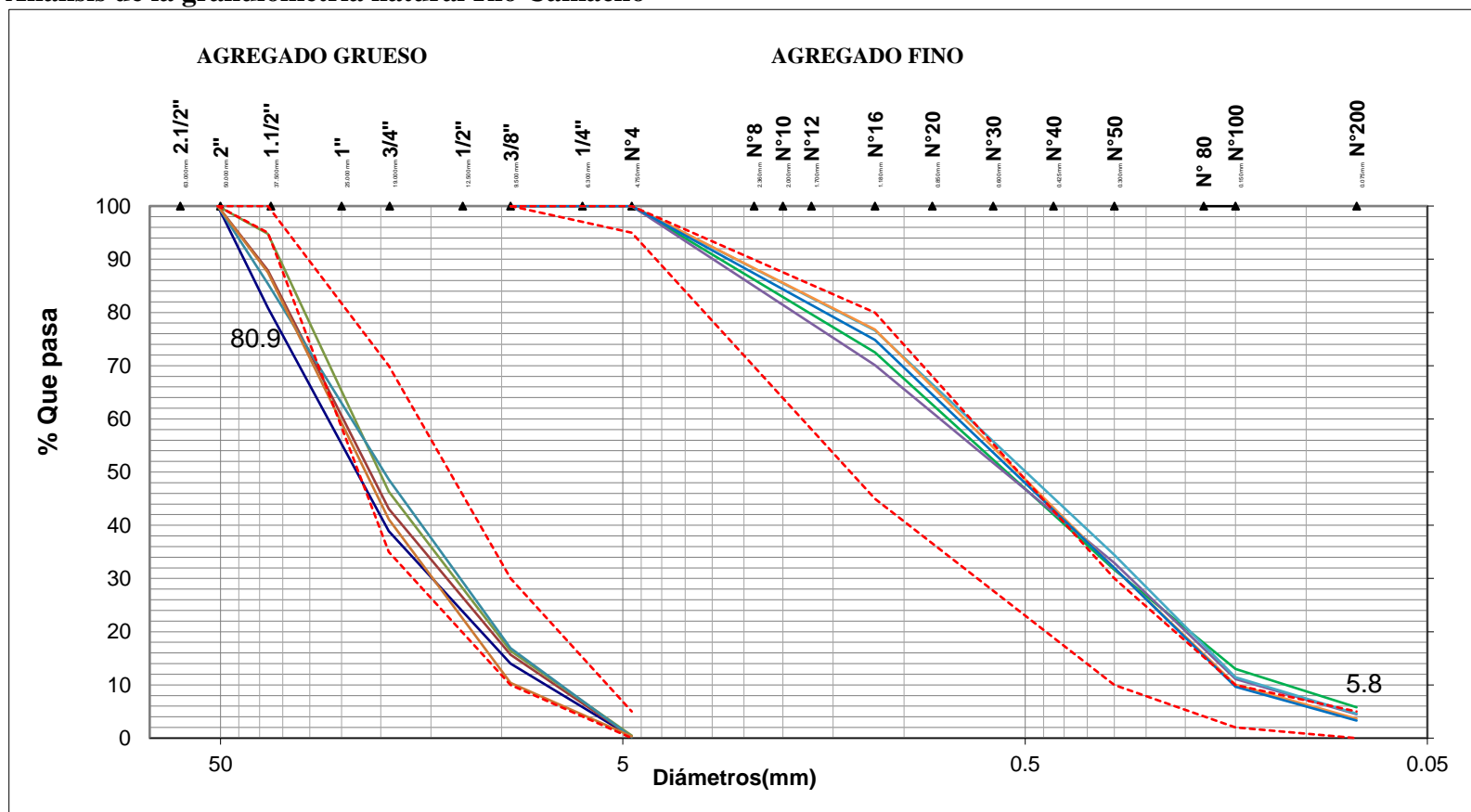
En este capítulo está diseñado en tres partes:

- La primera parte está referida a los resultados obtenidos de los ensayos complementarios y su tratamiento estadístico.
- La segunda parte está referida a la prueba de hipótesis de la investigación.
- La tercera parte se realiza una propuesta de aplicación de la investigación.

## PRIMERA PARTE

### 4.2. ANÁLISIS DE LAS GRANULOMETRÍAS SEGÚN AASHTO T-27, EN ESTADO NATURAL Y MEJORADO EN LABORATORIO

#### 4.2.1. Análisis de la granulometría natural Río Camacho

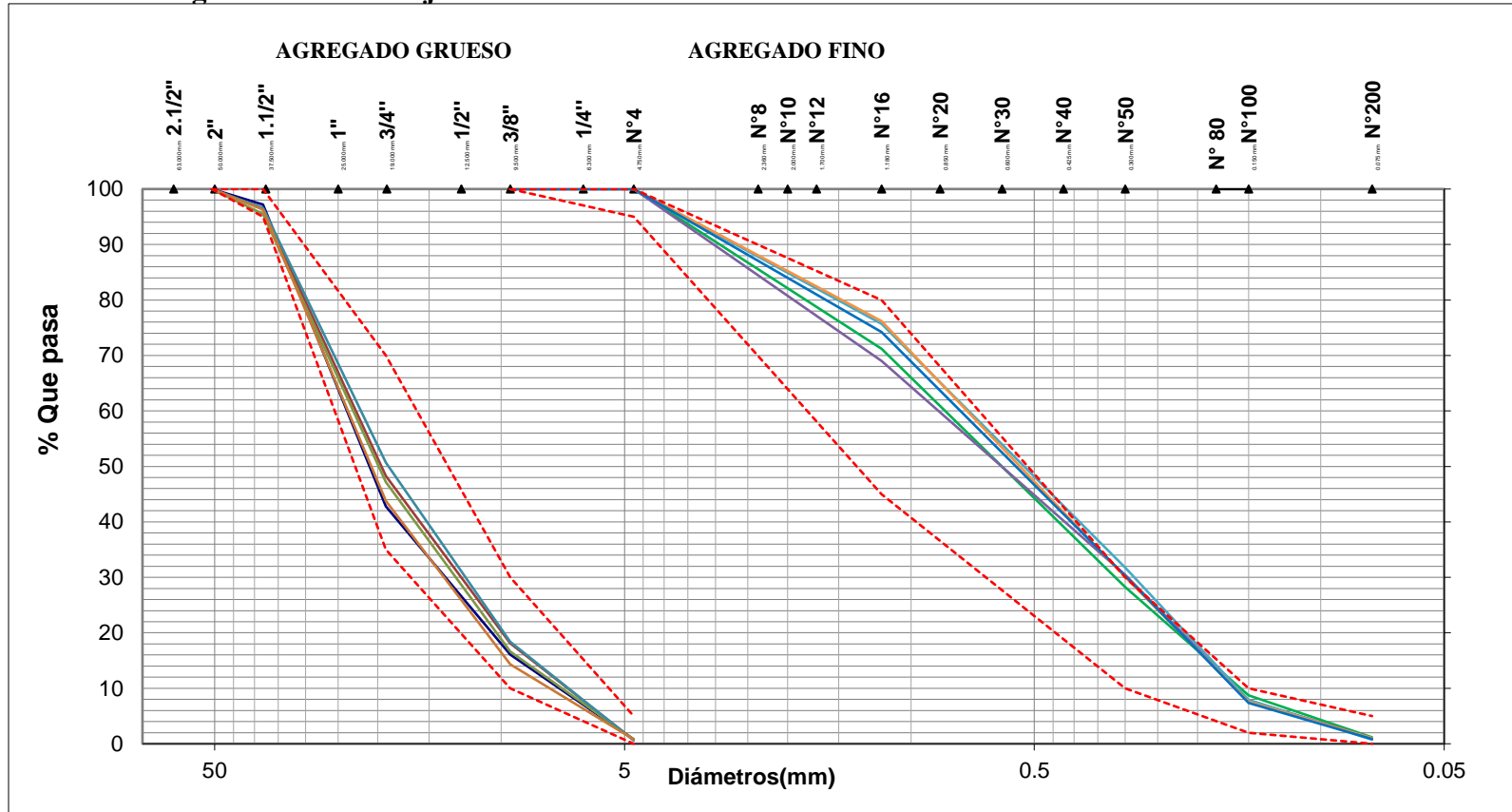


La grava del Río Camacho se cortó por los tamices de 2" y 4" para ser seleccionada en la curva de granulometría según especificaciones AASHTO T-27, verificando los ensayos presenta una grava mal graduada exceso en el corte de 1 1/2", presentando hasta un 80.9 % (esp. 95%-100%) en los cortes más finos presenta una grava un poco gruesa y cumpliendo con la faja.

La arena se cortó por el tamiz N°4, se verificó teniendo una arena mal graduada y fina, no cumple en algunos cortes observando mucho material limoso y sucio presentando un 5.8 % (esp. 0%-5%).



#### 4.2.2. Análisis de la granulometría mejorada en laboratorio Río Camacho



##### Grava mejorada en laboratorio

El material se hizo Pasar por el tamiz de 2", luego se separó el material que se encuentra en exceso en el corte 1 1/2", dejando un porcentaje mínimo de 0-5% de retenido para poder cumplir en el corte de tamaño nominal.

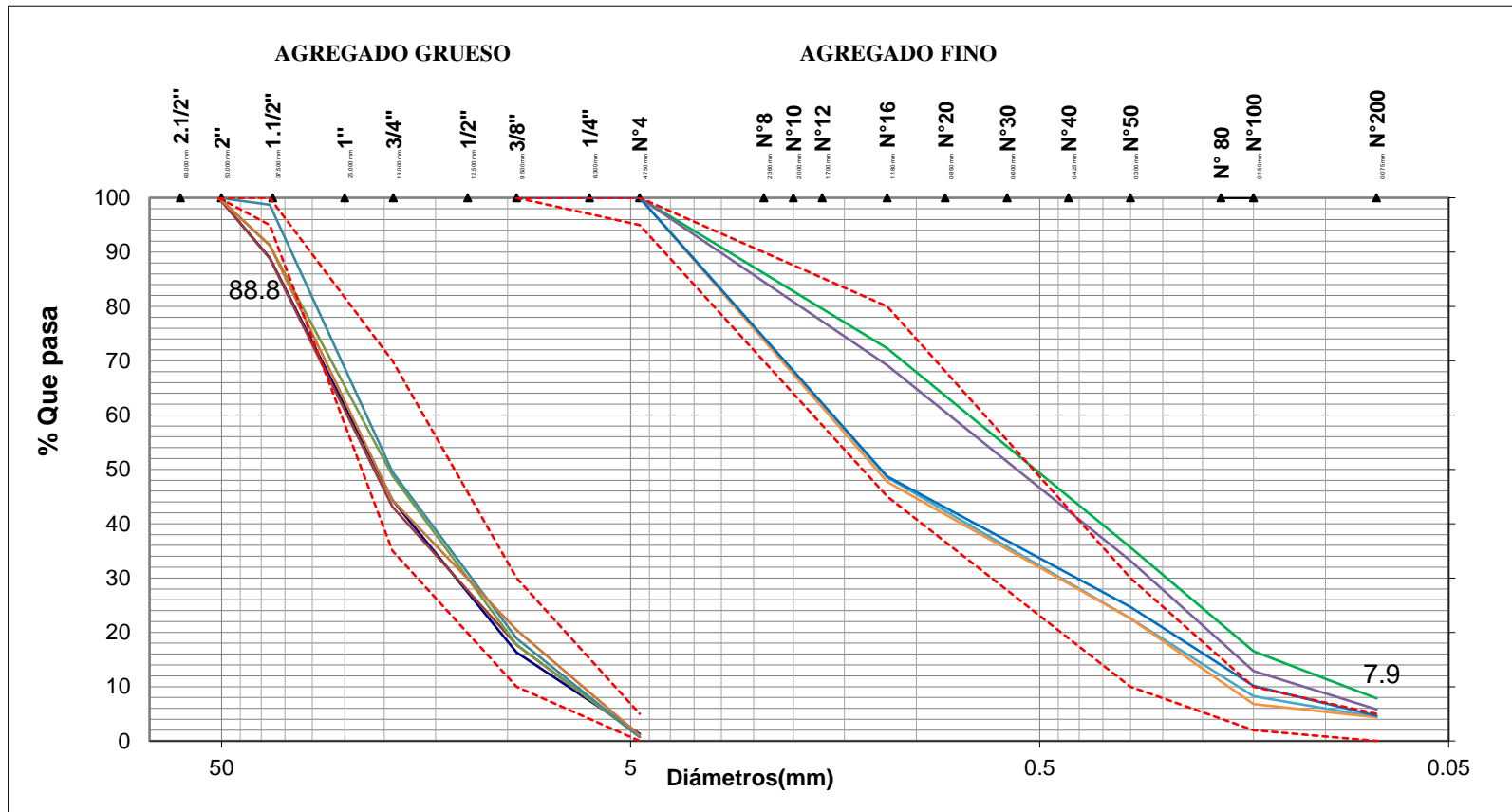
Teniendo el material separado en exceso en 1<sup>1/2</sup>", se procedió a pesar (peso seco) y luego a tamizar en los cortes de la gradación de acuerdo al tamaño máximo de las especificaciones, realizando esta corrección mejora la gradación del material, de esta manera cumple dentro de la faja.

##### Arena mejorada en laboratorio

Se cortó por el tamiz N°4 y se procedió a lavar la arena unas tres veces para poder separar un poco de material limoso y suciedad, ya que se encuentra por encima de las especificaciones en el tamiz N°200.

Realizando el lavado de la arena se hizo la granulometría, se verifica que se pudo mejorar la gradación en los cortes más finos cumpliendo el rango de las especificaciones (0%-5%). en el tamiz N°200, de esta manera cumple dentro de la faja.

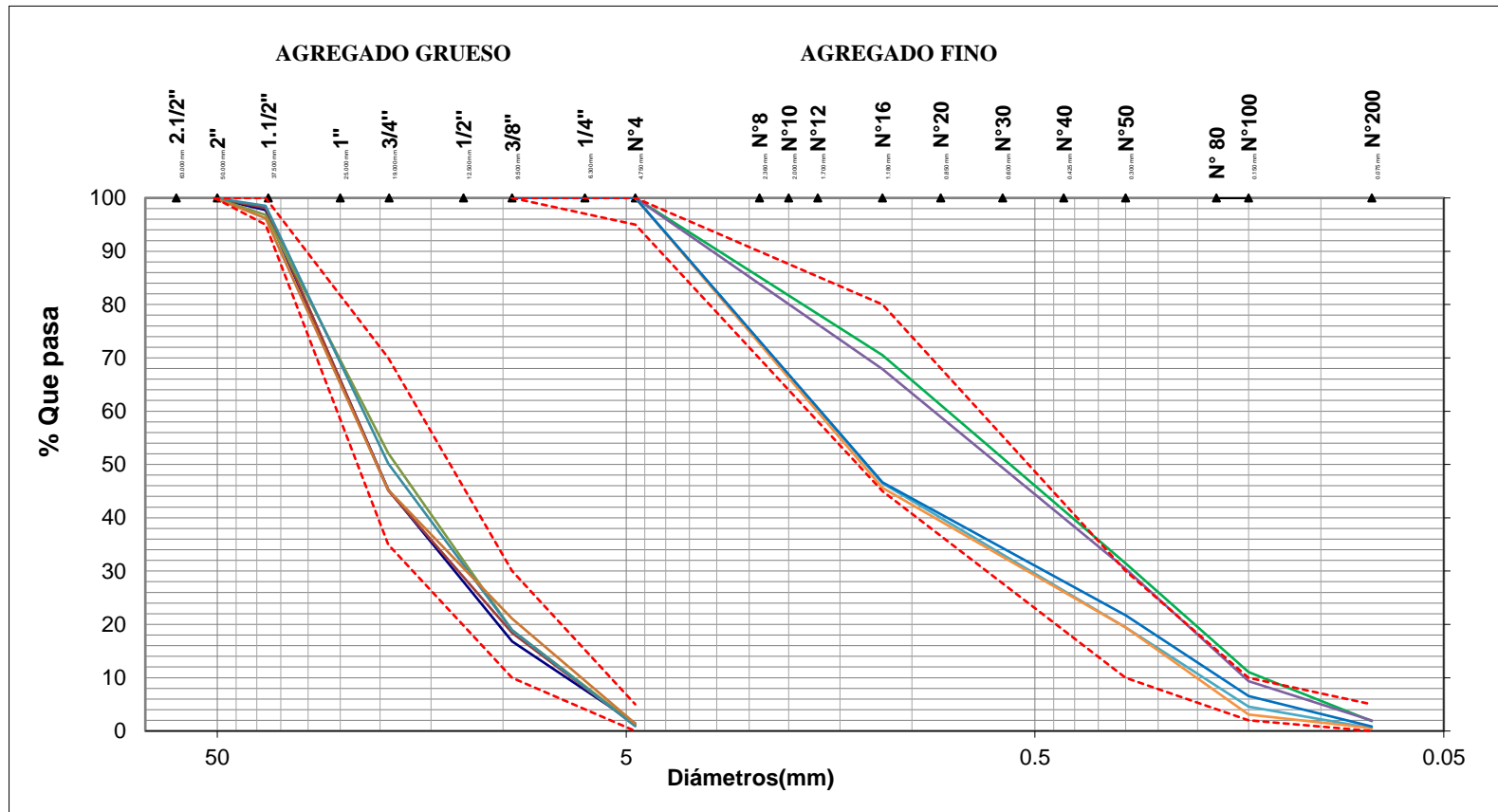
### 4.2.3. Análisis de la granulometría natural Río Erquis



La grava de Erquis se cortó por los tamices de 2" y 4" para ser seleccionada en la curva de granulometría según especificaciones AASHTO T-27, verificando los ensayos presenta una grava mal graduada exceso en el corte de 1 1/2", presentando hasta un 88.8 % (esp. 95%-100%) en los cortes más finos presenta una grava un poco gruesa y cumpliendo con la faja.

La arena se cortó por el tamiz N°4, se verificó teniendo una arena mal graduada y fina, no cumple en algunos cortes observando mucho material limoso y sucio presentando un 7.9 % (esp. 0%-5%).

#### 4.2.4. Análisis de la granulometría mejorada en laboratorio Río Erquis



##### Grava mejorada en laboratorio

El material se hizo Pasar por el tamiz de 2", luego se separó el material que se encuentra en exceso en el corte 1 1/2", dejando un porcentaje mínimo de 0-5% de retenido para poder cumplir en el corte de tamaño nominal.

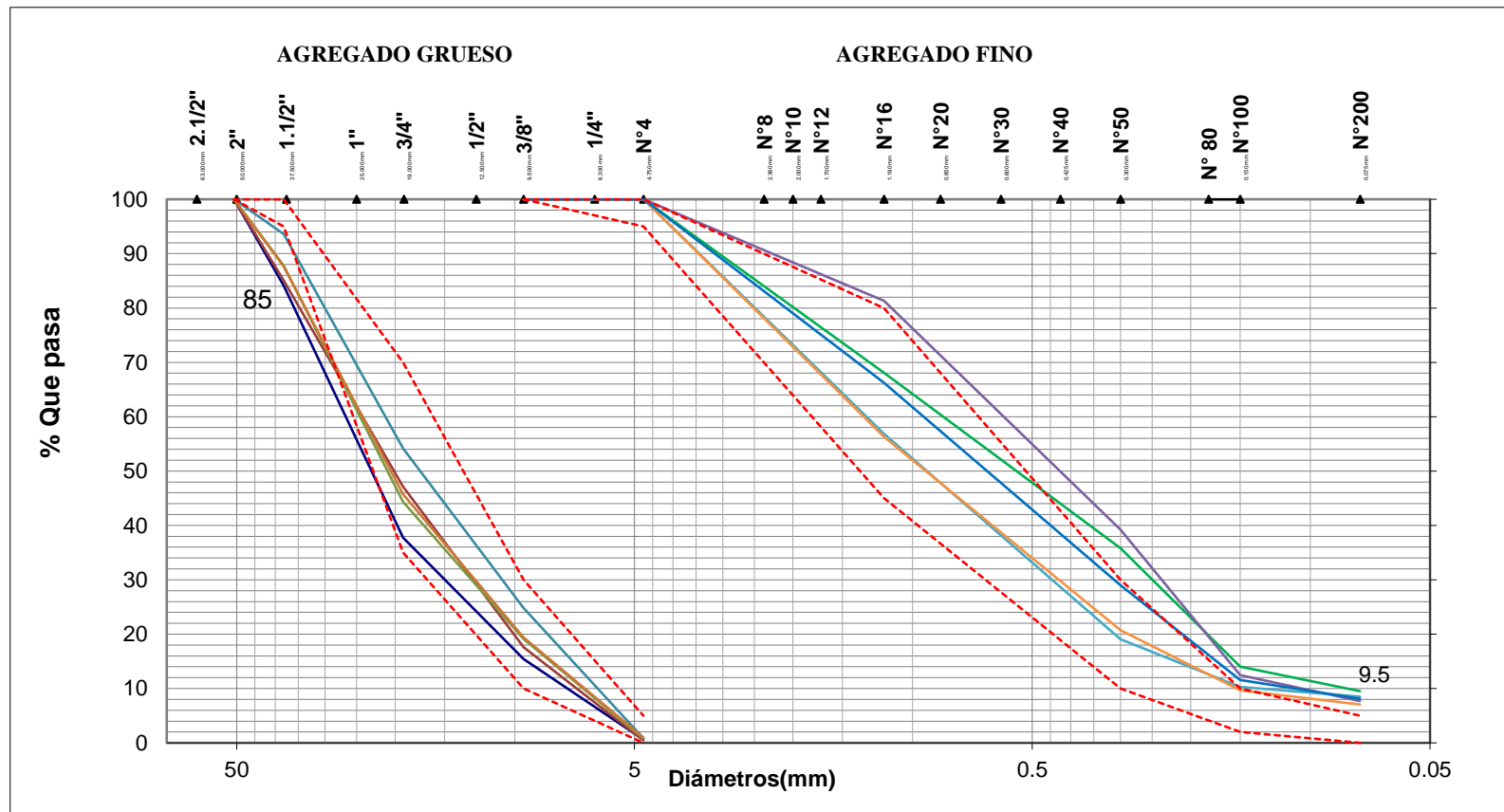
Teniendo el material separado en exceso en 1 1/2", se procedió a pesar (peso seco) y luego a tamizar en los cortes de la gradación de acuerdo al tamaño máximo de las especificaciones, realizando esta corrección mejora la gradación del material, de esta manera cumple dentro de la faja.

##### Arena mejorada en laboratorio

Se cortó por el tamiz N°4 y se procedió a lavar la arena unas tres veces para poder separar un poco de material limoso y suciedad, ya que se encuentra por encima de las especificaciones en el tamiz N°200.

Realizando el lavado de la arena se hizo la granulometría, se verifica que se pudo mejorar la gradación en los cortes más finos cumpliendo el rango de las especificaciones (0%-5%) en el tamiz N°200, de esta manera cumple dentro de la faja.

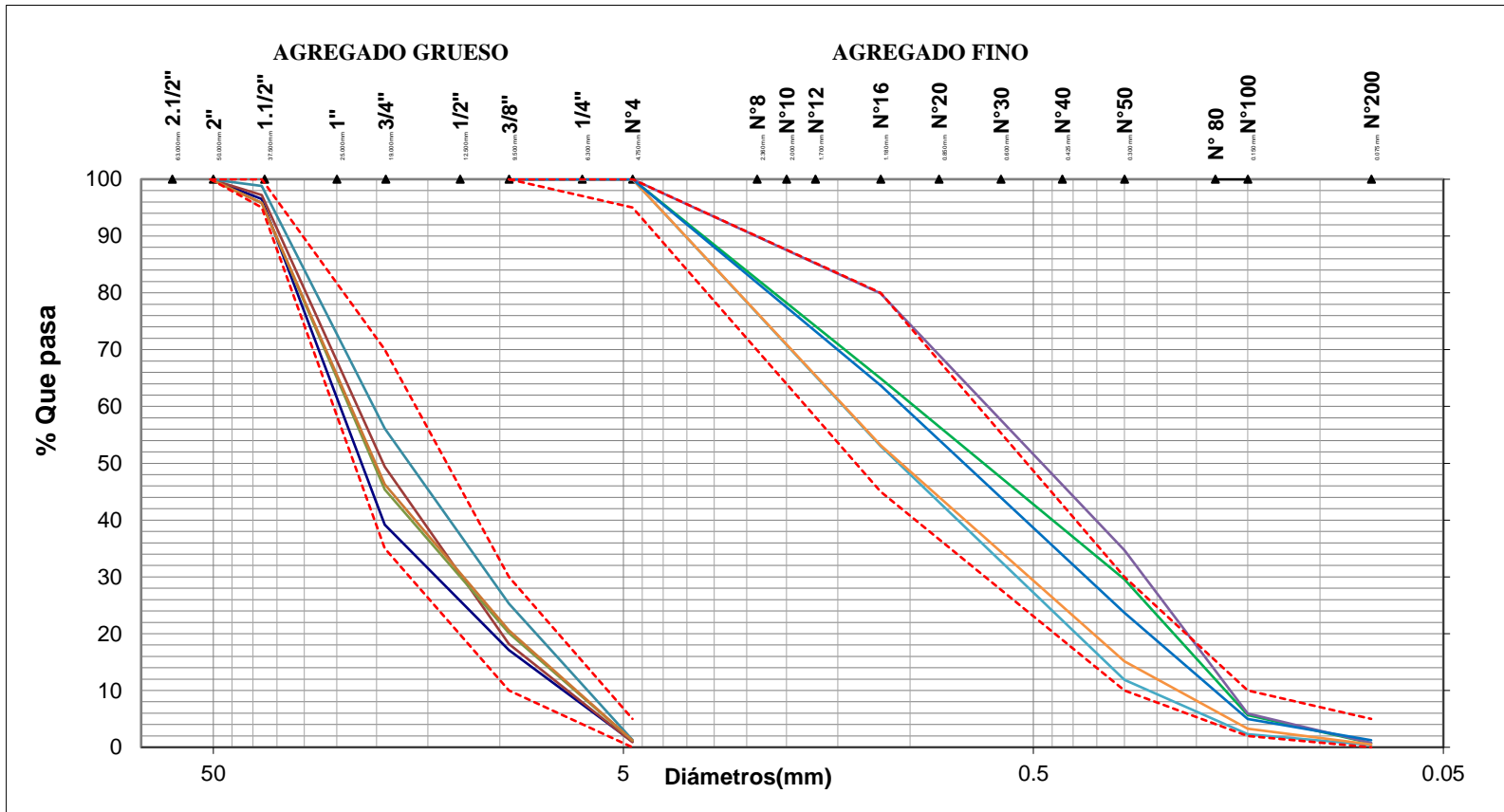
#### 4.2.5. Análisis de la granulometría natural Río Santa Ana



La grava de Santa Ana se cortó por los tamices de 2" y 4 " para ser seleccionada en la curva de granulometría según especificaciones AASHTO T-27, verificando los ensayos presenta una grava mal graduada exceso en el corte de 1<sup>1/2</sup>", presentando un 85 % (esp. 95%-100%) en los cortes más finos presenta una grava un poco gruesa y cumpliendo con la faja.

La arena se cortó por el tamiz N°4, se verificó teniendo una arena mal graduada y fina, no cumple en algunos cortes observando mucho material limoso y sucio presentando cerca del 9.5 % (esp. 0%-5%).

#### 4.2.6. Análisis de la granulometría mejorada en laboratorio Río Santa Ana



##### Grava mejorada en laboratorio

El material se hizo Pasar por el tamiz de 2", luego se separó el material que se encuentra en exceso en el corte 1 1/2", dejando un porcentaje mínimo de 0-5% de retenido para poder cumplir en el corte de tamaño nominal.

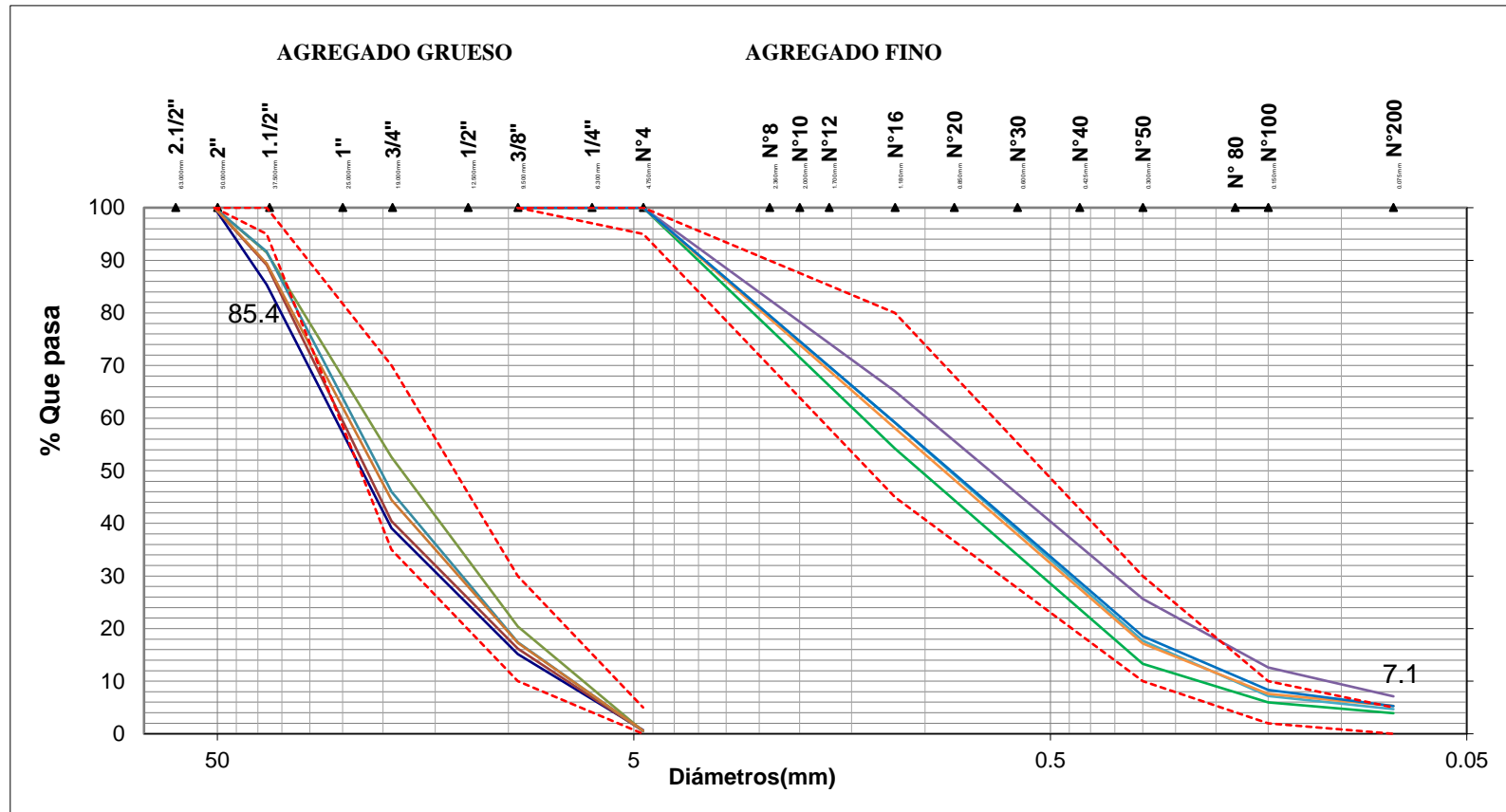
Teniendo el material separado en exceso en 1 1/2", se procedió a pesar (peso seco) y luego a tamizar en los cortes de la gradación de acuerdo al tamaño máximo de las especificaciones, realizando esta corrección mejora la gradación del material, de esta manera cumple dentro de la faja.

##### Arena mejorada en laboratorio

Se cortó por el tamiz N°4 y se procedió a lavar la arena unas tres veces para poder separar un poco de material limoso y suciedad, ya que se encuentra por encima de las especificaciones en el tamiz N°200.

Realizando el lavado de la arena se hizo la granulometría, se verifica que se pudo mejorar la gradación en los cortes más finos cumpliendo el rango de las especificaciones (0%-5%). en el tamiz N°200, de esta manera cumple dentro de la faja.

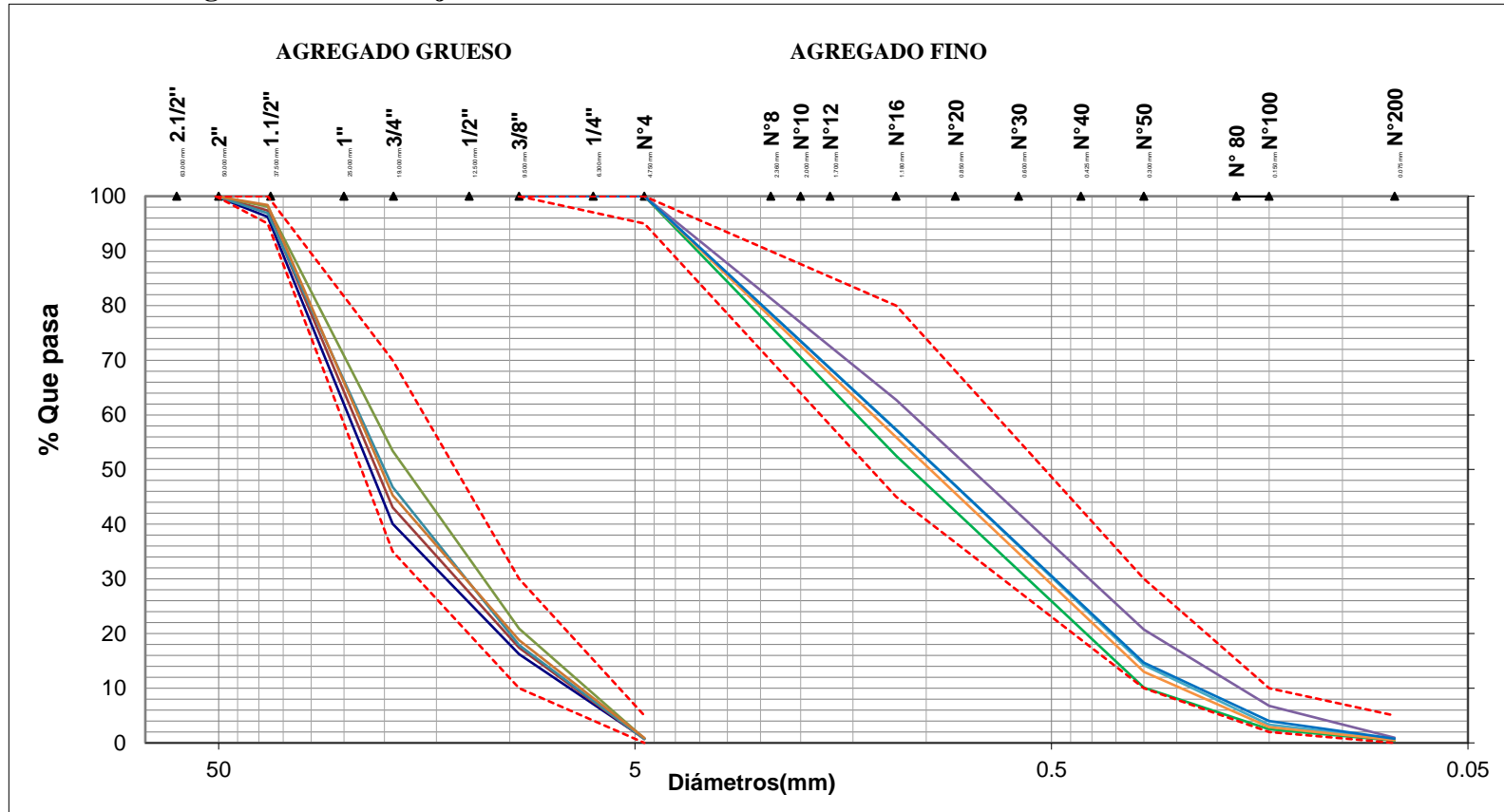
#### 4.2.7. Análisis de la granulometría natural Río Sola



La grava de Sola se cortó por los tamices de 2" y 4" para ser seleccionada en la curva de granulometría según especificaciones AASHTO T-27, verificando los ensayos presenta una grava mal graduada exceso en el corte de 1 1/2", presentando hasta un 85.4 % (esp. 95%-100%) en los cortes más finos presenta una grava un poco gruesa y cumpliendo con la faja.

La arena se cortó por el tamiz N°4, se verificó teniendo una arena mal graduada y fina, no cumple en algunos cortes observando mucho material limoso y sucio presentando más del 7.1 % (esp. 0%-5%).

#### 4.2.8. Análisis de la granulometría mejorada en laboratorio Río Sola



##### Grava mejorada en laboratorio

El material se hizo Pasar por el tamiz de 2", luego se separó el material que se encuentra en exceso en el corte 1 1/2", dejando un porcentaje mínimo de 0-5% de retenido para poder cumplir en el corte de tamaño nominal.

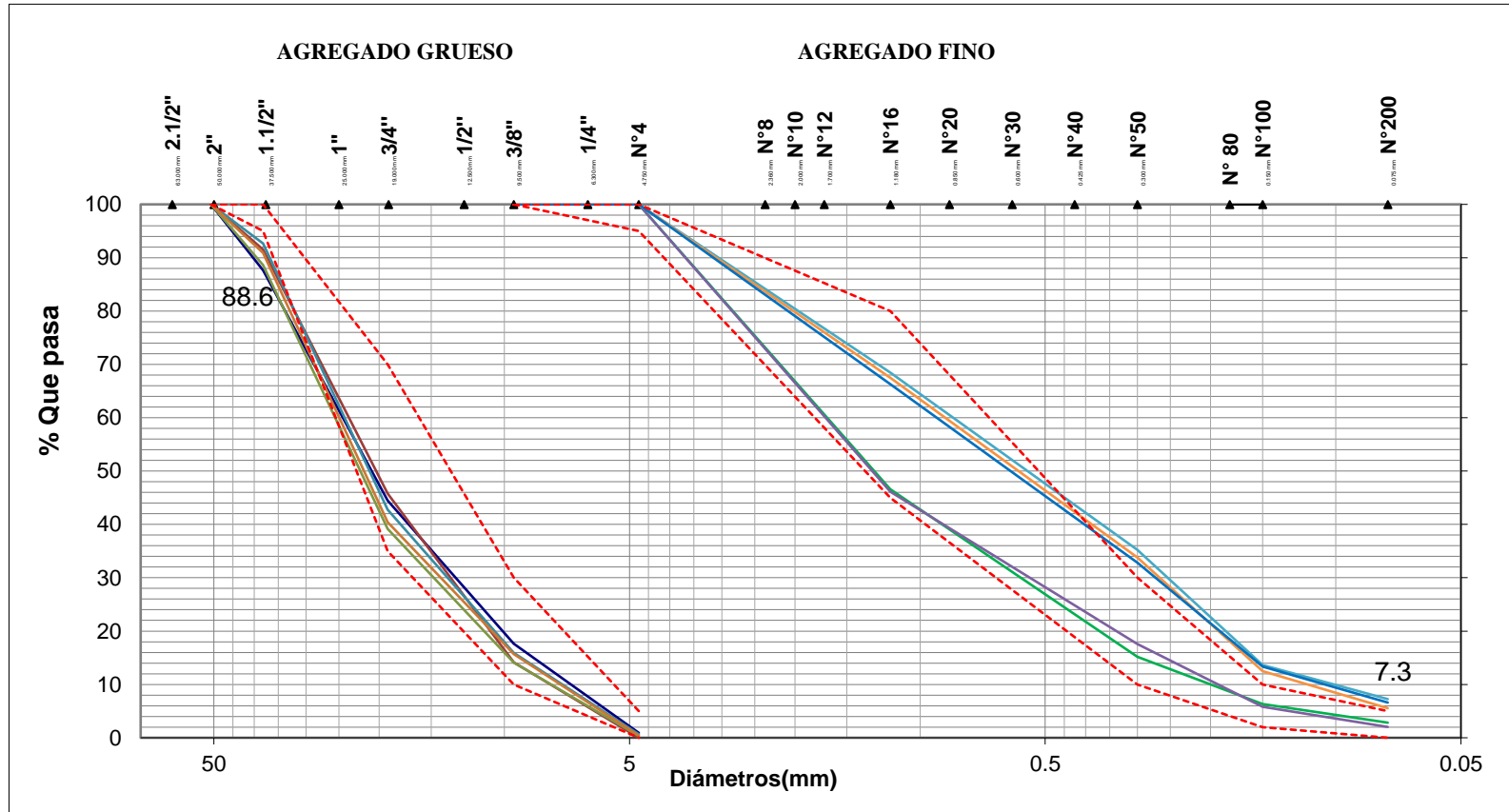
Teniendo el material separado en exceso en 1 1/2", se procedió a pesar (peso seco) y luego a tamizar en los cortes de la gradación de acuerdo al tamaño máximo de las especificaciones, realizando esta corrección mejora la gradación del material, de esta manera cumple dentro de la faja.

##### Arena mejorada en laboratorio

Se cortó por el tamiz N°4 y se procedió a lavar la arena unas tres veces para poder separar un poco de material limoso y suciedad, ya que se encuentra por encima de las especificaciones en el tamiz N°200.

Realizando el lavado de la arena se hizo la granulometría, se verifica que se pudo mejorar la gradación en los cortes más finos cumpliendo el rango de las especificaciones (0%-5%). en el tamiz N°200, de esta manera cumple dentro de la faja.

#### 4.2.9. Análisis de la granulometría natural Río Victoria

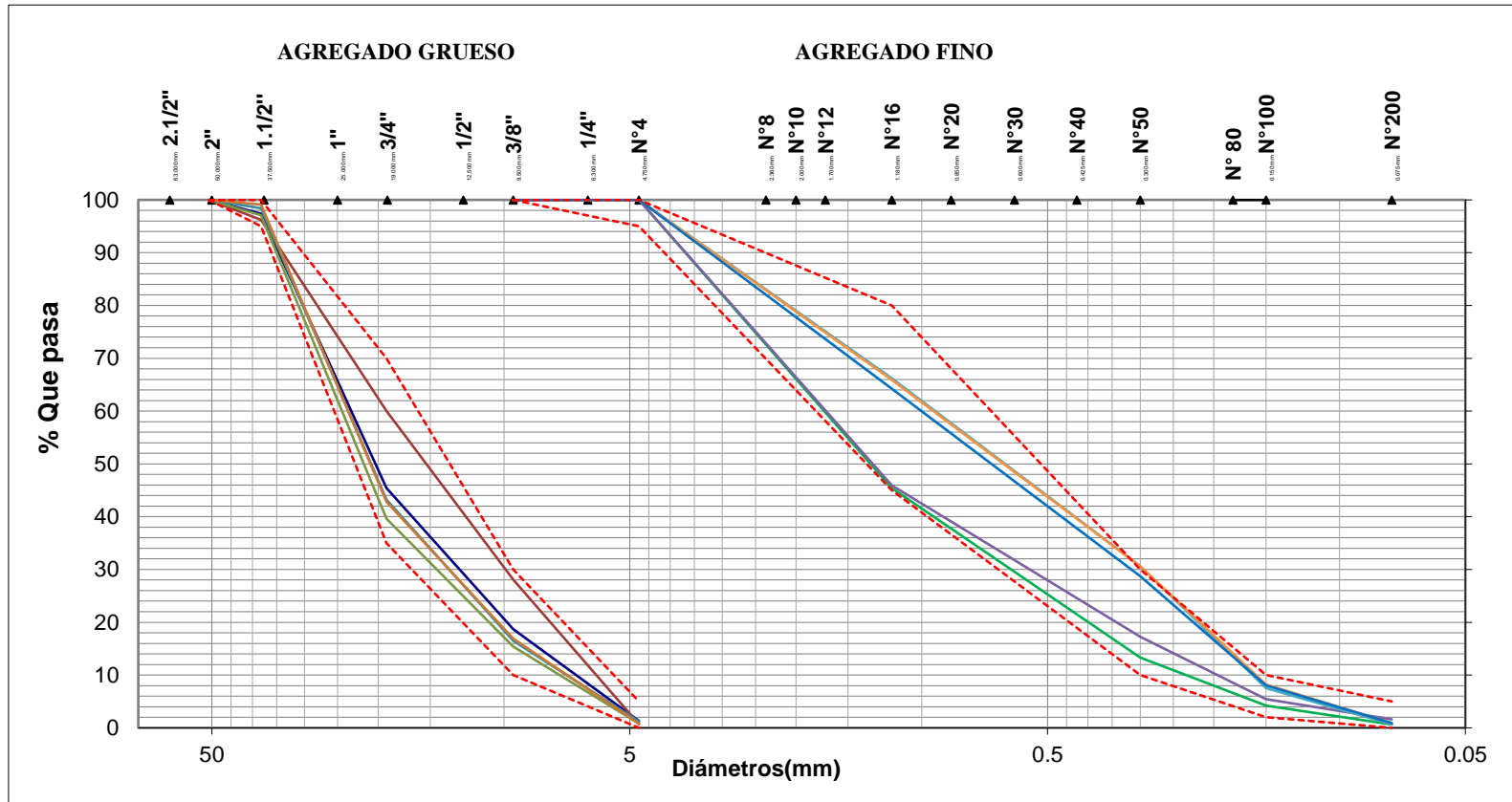


La grava de La Victoria se cortó por los tamices de 2" y 4" para ser seleccionada en la curva de granulometría según especificaciones AASHTO T-27, verificando los ensayos presenta una grava mal graduada exceso en el corte de 1 1/2", presentando hasta un 88.6 % (esp. 95%-100%) en los cortes más finos presenta una grava un poco gruesa y cumpliendo con la faja.

La arena se cortó por el tamiz N°4, se verificó teniendo una arena mal graduada y fina, no cumple en algunos cortes observando mucho material limoso y sucio presentando más del 7.3 % (esp. 0%-5%).



#### 4.2.10. Análisis de la granulometría mejorada en laboratorio Río Victoria



##### Grava mejorada en laboratorio

El material se hizo Pasar por el tamiz de 2", luego se separó el material que se encuentra en exceso en el corte 1 1/2", dejando un porcentaje mínimo de 0-5% de retenido para poder cumplir en el corte de tamaño nominal.

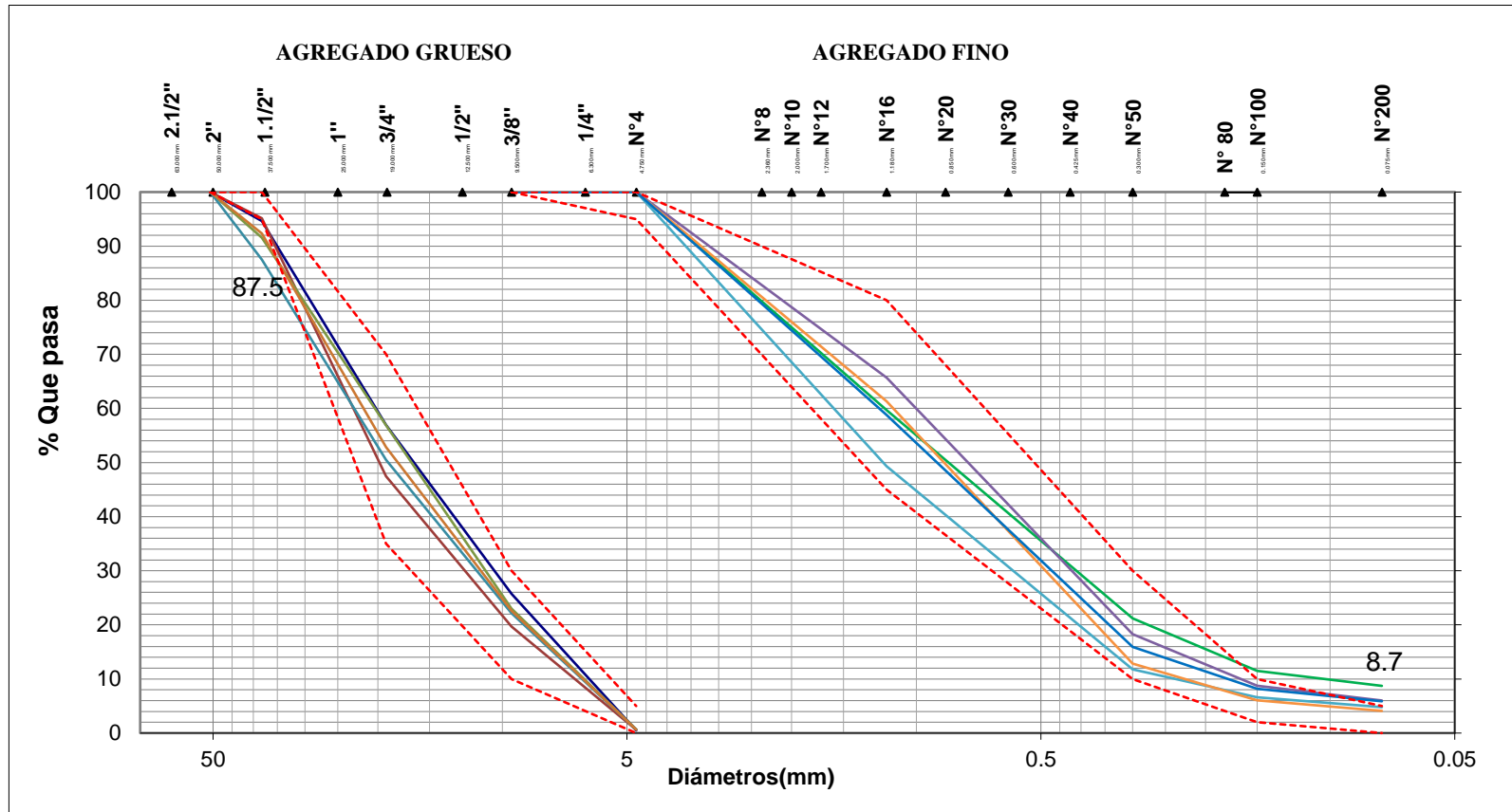
Teniendo el material separado en exceso en 1 1/2", se procedió a pesar (peso seco) y luego a tamizar en los cortes de la gradación de acuerdo al tamaño máximo de las especificaciones, realizando esta corrección mejora la gradación del material, de esta manera cumple dentro de la faja.

##### Arena mejorada en laboratorio

Se cortó por el tamiz N°4 y se procedió a lavar la arena unas tres veces para poder separar un poco de material limoso y suciedad, ya que se encuentra por encima de las especificaciones en el tamiz N°200.

Realizando el lavado de la arena se hizo la granulometría, se verifica que se pudo mejorar la gradación en los cortes más finos cumpliendo el rango de las especificaciones (0%-5%). en el tamiz N°200, de esta manera cumple dentro de la faja.

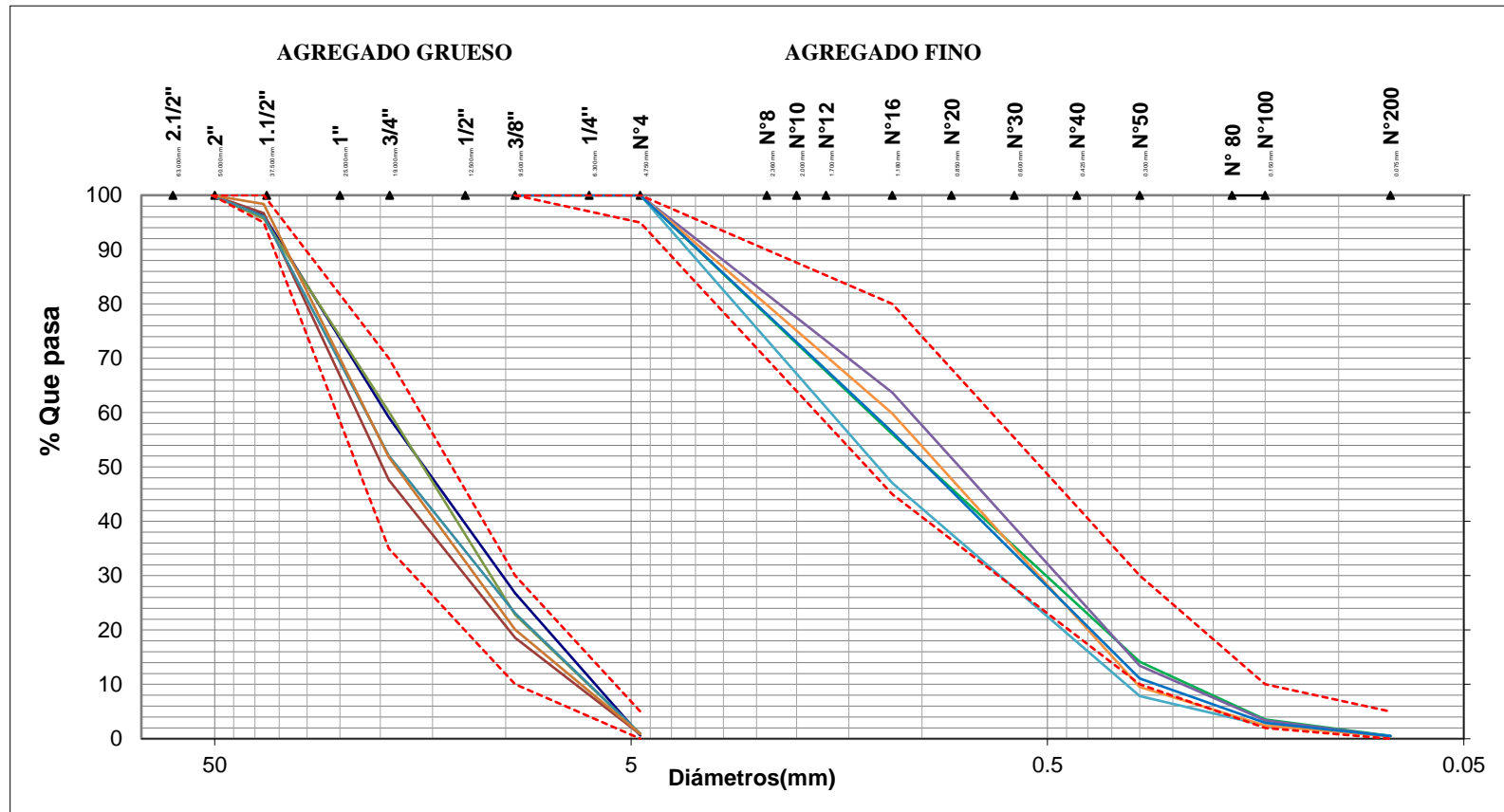
#### 4.2.11. Análisis de la granulometría natural Quebrada Saire



La grava del Saire se cortó por los tamices de 2" y 4 " para ser seleccionada en la curva de granulometría según especificaciones AASHTO T-27, verificando los ensayos presenta una grava mal graduada exceso en el corte de 1<sup>1/2</sup>", presentando hasta un 87.5 % (esp. 95%-100%) en los cortes más finos presenta una grava un poco gruesa y cumpliendo con la faja.

La arena se cortó por el tamiz N°4, se verificó teniendo una arena mal graduada y fina, no cumple en algunos cortes observando mucho material limoso y sucio presentando más del 8.7 % (esp. 0%-5%).

#### 4.2.12. Análisis de la granulometría mejorada en laboratorio Quebrada Saire



##### Grava mejorada en laboratorio

El material se hizo Pasar por el tamiz de 2", luego se separó el material que se encuentra en exceso en el corte 1 1/2", dejando un porcentaje mínimo de 0-5% de retenido para poder cumplir en el corte de tamaño nominal.

Teniendo el material separado en exceso en 1 1/2", se procedió a pesar (peso seco) y luego a tamizar en los cortes de la gradación de acuerdo al tamaño máximo de las especificaciones, realizando esta corrección mejora la gradación del material, de esta manera cumple dentro de la faja.

##### Arena mejorada en laboratorio

Se cortó por el tamiz N°4 y se procedió a lavar la arena unas tres veces para poder separar un poco de material limoso y suciedad, ya que se encuentra por encima de las especificaciones en el tamiz N°200.

Realizando el lavado de la arena se hizo la granulometría, se verifica que se pudo mejorar la gradación en los cortes más finos cumpliendo el rango de las especificaciones (0%-5%). en el tamiz N°200, de esta manera cumple dentro de la faja.

### 4.3. RESULTADOS COMPLEMENTARIOS Y TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LA GRANULOMETRÍA

#### 4.3.1. Análisis estadístico de la granulometría integral Río Camacho

Tabla 4.1: Estadística descriptiva Río Camacho

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUEPASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
POBLACIÓN (N)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
MÁXIMO	100.0	96.8	80.8	68.6	55.3	49.3	40.0	34.9	30.0	25.0	13.4	4.5	1.9
MÍNIMO	100.0	87.1	70.6	58.8	47.8	42.0	32.7	27.6	23.7	19.0	10.3	3.9	1.3
MEDIA	100.0	92.0	76.9	64.8	52.5	46.8	37.8	32.5	28.1	22.6	12.3	4.1	1.6
DESVIACIÓN MUESTRAL	0.00	3.47	4.00	3.75	3.11	2.94	2.92	2.95	2.78	2.30	1.16	0.25	0.24
DESVIACIÓN POBLACIONAL	0.00	3.11	3.57	3.35	2.78	2.63	2.61	2.64	2.48	2.05	1.04	0.22	0.22

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2: Estadística inferencial Río Camacho

PARÁMETROS	PORCENTAJE QUEPASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
ERROR DE VARIABLES	0.00	3.11	3.57	3.35	2.78	2.63	2.61	2.64	2.48	2.05	1.04	0.22	0.22
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.00	1.39	1.60	1.50	1.24	1.17	1.17	1.18	1.11	0.92	0.46	0.10	0.10
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.00	2.72	3.13	2.94	2.44	2.30	2.29	2.32	2.18	1.80	0.91	0.19	0.19

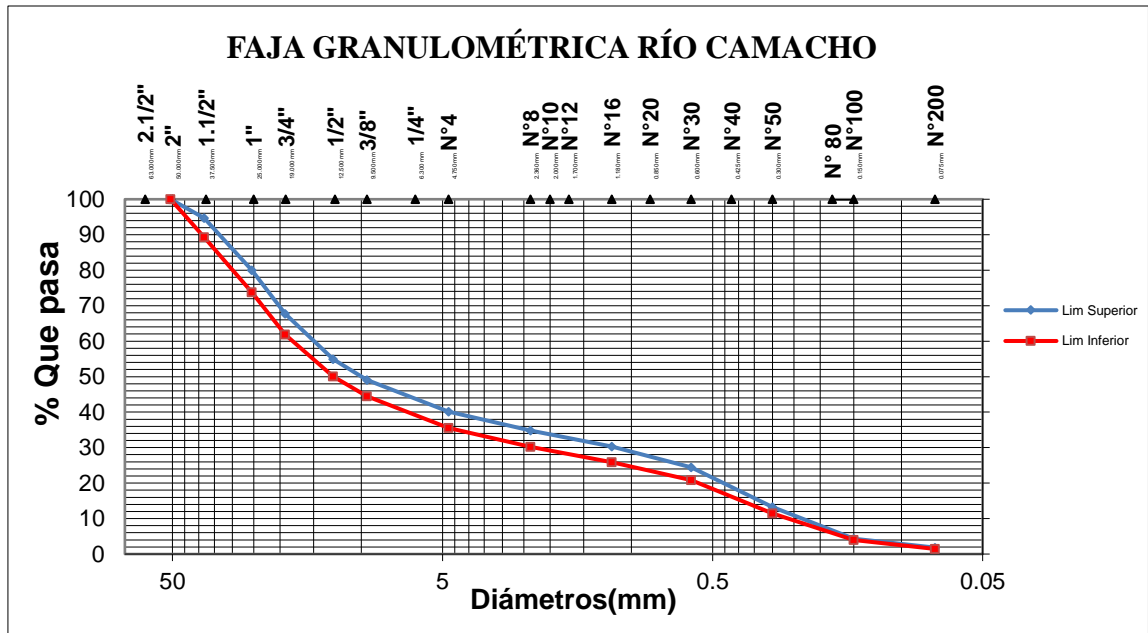
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.3: Intervalos de confianza Río Camacho

TAMIZ	TAMAÑO mm	VALORES ACEPTADOS %		
2"	50.8	100.0	±	0.00
1 1/2"	38.1	92.0	±	2.72
1"	25.4	76.9	±	3.13
3/4"	19.1	64.8	±	2.94
1/2"	12.7	52.5	±	2.44
3/8"	9.5	46.8	±	2.30
Nº 4	4.75	37.8	±	2.29
Nº 8	2.36	32.5	±	2.32
Nº 16	1.18	28.1	±	2.18
Nº 30	0.6	22.6	±	1.80
Nº 50	0.3	12.3	±	0.91
Nº 100	0.15	4.1	±	0.19
Nº 200	0.075	1.6	±	0.19

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.1: Faja de la curva granulométrica integral Río Camacho



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4: Intervalo de confianza Río Camacho

TAMIZ	TAMAÑO mm	LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
2"	50.8	100.00	100.00
1 1/2"	38.1	94.72	89.28
1"	25.4	80.02	73.75
3/4"	19.1	67.71	61.84
1/2"	12.7	54.95	50.07
3/8"	9.5	49.08	44.48
N° 4	4.75	40.10	35.52
N° 8	2.36	34.81	30.18
N° 16	1.18	30.25	25.90
N° 30	0.6	24.43	20.83
N° 50	0.3	13.24	11.42
N° 100	0.15	4.34	3.96
N° 200	0.075	1.82	1.44

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.2. Análisis estadístico de la granulometría integral Río Erquis

**Tabla 4.5: Estadística descriptiva Río Erquis**

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
POBLACIÓN (N)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
MÁXIMO	100.0	99.2	85.6	71.4	61.4	56.9	49.2	42.8	35.6	26.9	17.5	8.1	3.9
MÍNIMO	100.0	93.3	75.9	66.2	53.2	47.3	36.5	26.4	17.7	12.5	8.2	2.6	1.6
MEDIA	100.0	95.3	82.3	68.5	56.9	52.1	42.0	32.9	24.4	18.2	11.8	4.7	2.3
DESVIACIÓN MUESTRAL	0.00	2.27	3.85	1.98	3.36	4.25	5.32	6.71	7.62	6.22	3.88	2.21	0.92
DESVIACIÓN POBLACIONAL	0.00	2.03	3.44	1.77	3.00	3.80	4.76	6.00	6.81	5.56	3.47	1.98	0.83

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.6: Estadística inferencial Río Erquis**

PARÁMETROS	PORCENTAJE QUE PASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
ERROR DE VARIABLES	0.00	2.03	3.44	1.77	3.00	3.80	4.76	6.00	6.81	5.56	3.47	1.98	0.83
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.00	0.91	1.54	0.79	1.34	1.70	2.13	2.68	3.05	2.49	1.55	0.88	0.37
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.00	1.78	3.02	1.55	2.63	3.33	4.17	5.26	5.97	4.88	3.04	1.73	0.73

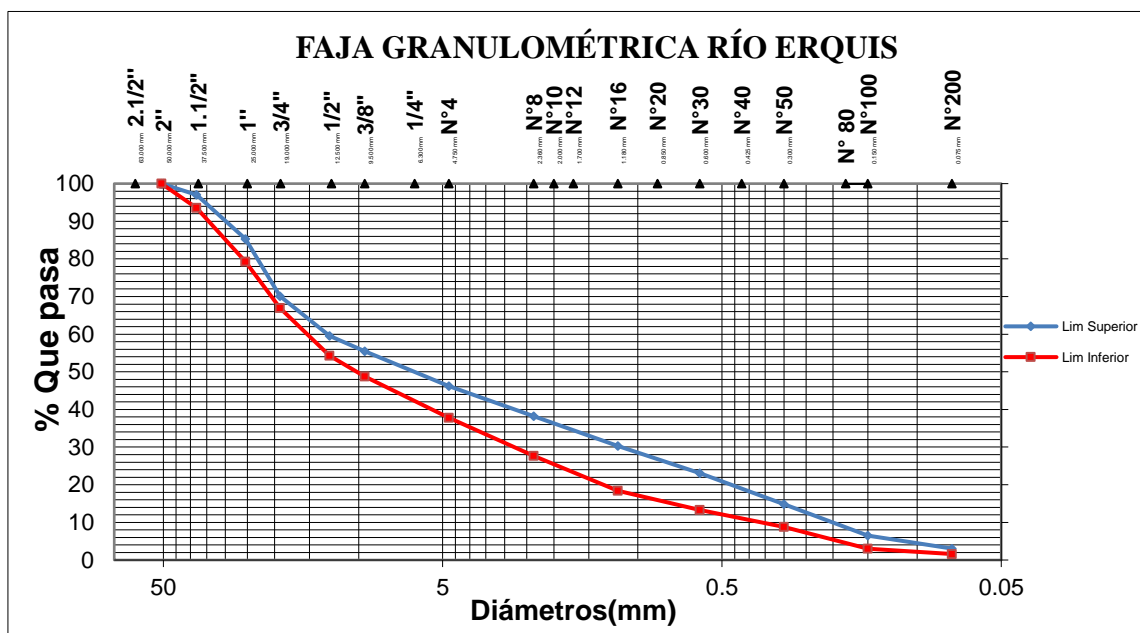
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.7: Intervalos de confianza Río Erquis**

TAMIZ	TAMAÑO mm	VALORES ACEPTADOS %		
2"	50.8	100.0	±	0.00
1 1/2"	38.1	95.3	±	1.78
1"	25.4	82.3	±	3.02
3/4"	19.1	68.5	±	1.55
1/2"	12.7	56.9	±	2.63
3/8"	9.5	52.1	±	3.33
Nº 4	4.75	42.0	±	4.17
Nº 8	2.36	32.9	±	5.26
Nº 16	1.18	24.4	±	5.97
Nº 30	0.6	18.2	±	4.88
Nº 50	0.3	11.8	±	3.04
Nº 100	0.15	4.7	±	1.73
Nº 200	0.075	2.3	±	0.73

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.2: Faja de la curva granulométrica integral Río Erquis



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.8: Intervalo de confianza Río Erquis

TAMIZ	TAMAÑO mm	LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
2"	50.8	100.00	100.00
1 1/2"	38.1	97.07	93.51
1"	25.4	85.33	79.29
3/4"	19.1	70.06	66.95
1/2"	12.7	59.54	54.27
3/8"	9.5	55.44	48.78
Nº 4	4.75	46.16	37.81
Nº 8	2.36	38.19	27.67
Nº 16	1.18	30.33	18.39
Nº 30	0.6	23.04	13.29
Nº 50	0.3	14.86	8.78
Nº 100	0.15	6.45	2.99
Nº 200	0.075	3.04	1.59

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.3. Análisis estadístico de la granulometría integral Río Santa Ana

**Tabla 4.9: Estadística descriptiva Río Santa Ana**

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
POBLACIÓN (N)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
MÁXIMO	100.0	96.3	81.0	73.4	63.8	56.4	47.3	41.9	38.5	33.5	18.6	5.9	3.6
MÍNIMO	100.0	89.8	67.8	60.1	51.2	45.8	36.4	28.8	21.7	16.9	7.3	3.9	3.0
MEDIA	100.0	92.7	76.3	67.7	57.6	52.1	41.1	33.0	27.2	22.4	11.9	4.8	3.3
DESVIACIÓN MUESTRAL	0.00	2.32	5.35	5.35	5.02	4.55	4.25	5.29	6.60	6.60	4.38	0.80	0.24
DESVIACIÓN POBLACIONAL	0.00	2.08	4.79	4.79	4.49	4.07	3.80	4.74	5.91	5.90	3.92	0.72	0.21

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.10: Estadística inferencial Río Santa Ana**

PARÁMETROS	PORCENTAJE QUE PASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
ERROR DE VARIABLES	0.00	2.08	4.79	4.79	4.49	4.07	3.80	4.74	5.91	5.90	3.92	0.72	0.21
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.00	0.93	2.14	2.14	2.01	1.82	1.70	2.12	2.64	2.64	1.75	0.32	0.10
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.00	1.82	4.20	4.20	3.93	3.56	3.33	4.15	5.18	5.17	3.43	0.63	0.19

Fuente: Elaboración propia

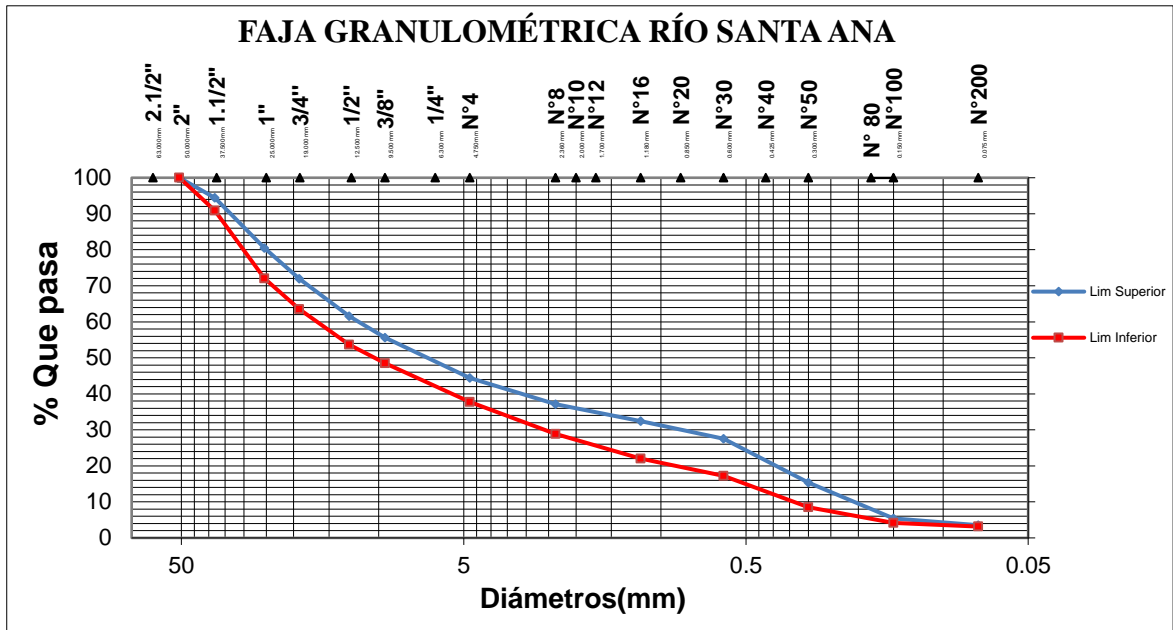
**Tabla 4.11: Intervalos de confianza Río Santa Ana**

TAMIZ	TAMAÑO mm	VALORES ACEPTADOS %		
2"	50.8	100.0	±	0.00
1 1/2"	38.1	92.7	±	1.82
1"	25.4	76.3	±	4.20
3/4"	19.1	67.7	±	4.20
1/2"	12.7	57.6	±	3.93
3/8"	9.5	52.1	±	3.56
Nº 4	4.75	41.1	±	3.33
Nº 8	2.36	33.0	±	4.15
Nº 16	1.18	27.2	±	5.18
Nº 30	0.6	22.4	±	5.17
Nº 50	0.3	11.9	±	3.43
Nº 100	0.15	4.8	±	0.63
Nº 200	0.075	3.3	±	0.19

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.3: Faja de la curva granulométrica integral Santa Ana



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.12: Intervalo de confianza Río Santa Ana

TAMIZ	TAMAÑO mm	LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
2"	50.8	100.00	100.00
1 1/2"	38.1	94.47	90.83
1"	25.4	80.47	72.08
3/4"	19.1	71.92	63.53
1/2"	12.7	61.52	53.66
3/8"	9.5	55.62	48.49
Nº 4	4.75	44.43	37.77
Nº 8	2.36	37.15	28.85
Nº 16	1.18	32.39	22.04
Nº 30	0.6	27.53	17.19
Nº 50	0.3	15.35	8.49
Nº 100	0.15	5.39	4.13
Nº 200	0.075	3.52	3.15

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.4. Análisis estadístico de la granulometría integral Río Sola

**Tabla 4.13: Estadística descriptiva Río Sola**

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUEPASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
POBLACIÓN (N)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
MÁXIMO	100.0	95.0	83.6	71.8	59.0	52.8	40.9	32.2	25.4	17.5	10.0	4.9	2.8
MÍNIMO	100.0	90.8	74.2	61.6	51.6	46.5	35.7	28.0	20.2	11.5	5.0	2.2	1.5
MEDIA	100.0	93.4	77.2	65.5	54.1	48.6	38.2	30.3	22.6	14.8	7.1	3.2	2.0
DESVIACIÓN MUESTRAL	0.00	1.65	3.68	3.88	2.86	2.54	1.93	1.89	2.19	2.32	1.86	1.03	0.48
DESVIACIÓN POBLACIONAL	0.00	1.47	3.29	3.47	2.56	2.27	1.73	1.69	1.96	2.07	1.67	0.92	0.43

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.14: Estadística inferencial Río Sola**

PARÁMETROS	PORCENTAJE QUEPASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
ERROR DE VARIABLES	0.00	1.47	3.29	3.47	2.56	2.27	1.73	1.69	1.96	2.07	1.67	0.92	0.43
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.00	0.66	1.47	1.55	1.15	1.02	0.77	0.76	0.88	0.93	0.75	0.41	0.19
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.00	1.29	2.88	3.04	2.25	1.99	1.52	1.48	1.72	1.82	1.46	0.80	0.37

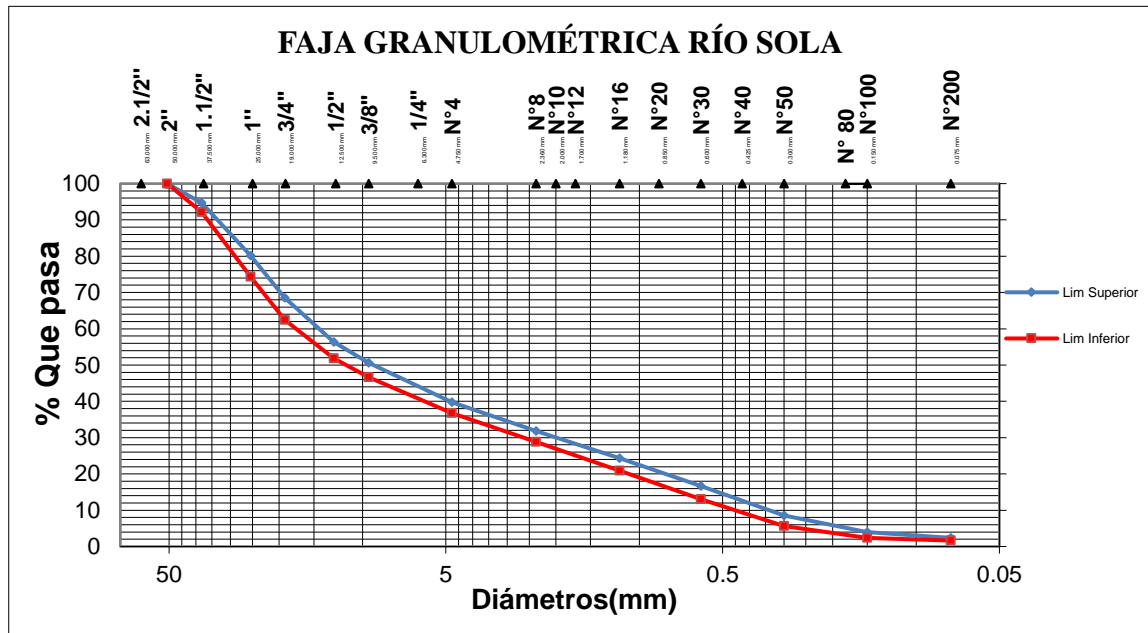
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.15: Intervalos de confianza Río Sola**

TAMIZ	TAMAÑO mm	VALORES ACEPTADOS %		
2"	50.8	100.0	±	0.00
1 1/2"	38.1	93.4	±	1.29
1"	25.4	77.2	±	2.88
3/4"	19.1	65.5	±	3.04
1/2"	12.7	54.1	±	2.25
3/8"	9.5	48.6	±	1.99
Nº 4	4.75	38.2	±	1.52
Nº 8	2.36	30.3	±	1.48
Nº 16	1.18	22.6	±	1.72
Nº 30	0.6	14.8	±	1.82
Nº 50	0.3	7.1	±	1.46
Nº 100	0.15	3.2	±	0.80
Nº 200	0.075	2.0	±	0.37

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.4: Faja de la curva granulométrica integral Río Sola



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.16: Intervalo de confianza Río Sola

TAMIZ	TAMAÑO mm	LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
2"	50.8	100.00	100.00
1 1/2"	38.1	94.71	92.13
1"	25.4	80.11	74.35
3/4"	19.1	68.53	62.46
1/2"	12.7	56.36	51.87
3/8"	9.5	50.60	46.62
Nº 4	4.75	39.76	36.73
Nº 8	2.36	31.83	28.86
Nº 16	1.18	24.35	20.92
Nº 30	0.6	16.65	13.01
Nº 50	0.3	8.54	5.62
Nº 100	0.15	4.00	2.39
Nº 200	0.075	2.38	1.64

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.5. Análisis estadístico de la granulometría integral Río Victoria

**Tabla 4.17: Estadística descriptiva Río Victoria**

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
POBLACIÓN (N)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
MÁXIMO	100.0	95.2	78.6	65.4	53.4	47.0	36.0	29.7	24.3	18.9	12.5	5.0	2.6
MÍNIMO	100.0	92.5	72.0	59.5	49.5	43.2	33.4	27.0	21.8	17.5	10.5	4.4	1.9
MEDIA	100.0	93.6	75.2	61.9	51.2	45.0	35.1	28.4	23.2	18.1	11.6	4.7	2.3
DESVIACIÓN MUESTRAL	0.00	1.11	2.35	2.26	1.54	1.38	0.99	1.01	0.94	0.50	0.73	0.24	0.24
DESVIACIÓN POBLACIONAL	0.00	0.99	2.10	2.02	1.38	1.23	0.88	0.90	0.84	0.45	0.65	0.21	0.22

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.18: Estadística inferencial Río Victoria**

PARÁMETROS	PORCENTAJE QUE PASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
ERROR DE VARIABLES	0.00	0.99	2.10	2.02	1.38	1.23	0.88	0.90	0.84	0.45	0.65	0.21	0.22
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.00	0.44	0.94	0.90	0.62	0.55	0.40	0.40	0.38	0.20	0.29	0.09	0.10
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.00	0.87	1.84	1.77	1.21	1.08	0.78	0.79	0.74	0.39	0.57	0.18	0.19

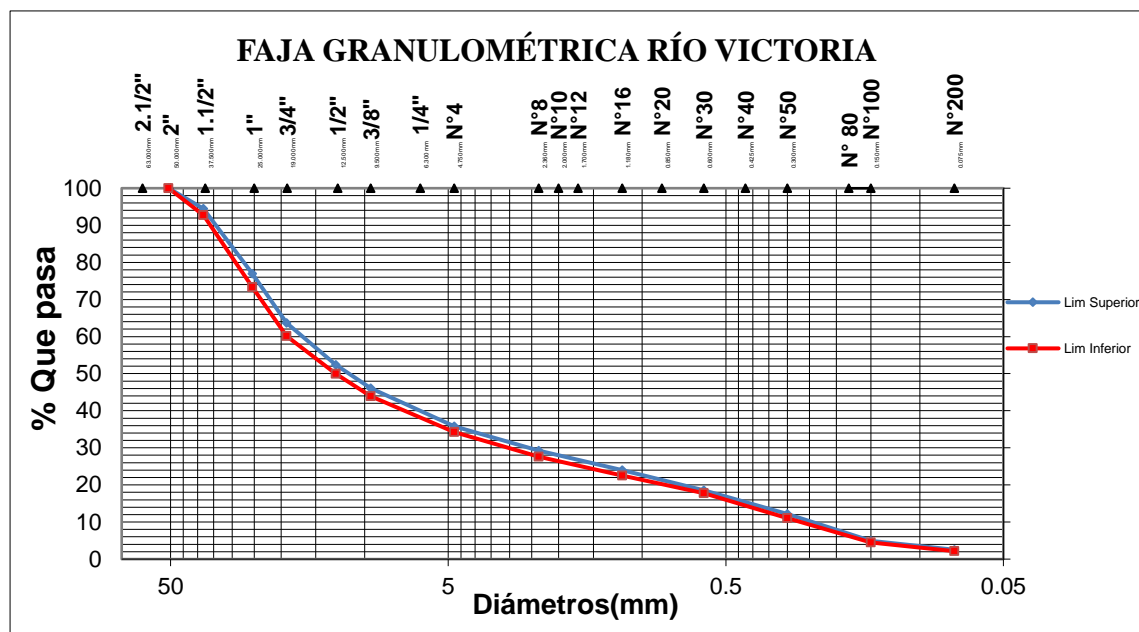
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.19: Intervalos de confianza Río Victoria**

TAMIZ	TAMAÑO mm	VALORES ACEPTADOS %		
2"	50.8	100.0	±	0.00
1 1/2"	38.1	93.6	±	0.87
1"	25.4	75.2	±	1.84
3/4"	19.1	61.9	±	1.77
1/2"	12.7	51.2	±	1.21
3/8"	9.5	45.0	±	1.08
Nº 4	4.75	35.1	±	0.78
Nº 8	2.36	28.4	±	0.79
Nº 16	1.18	23.2	±	0.74
Nº 30	0.6	18.1	±	0.39
Nº 50	0.3	11.6	±	0.57
Nº 100	0.15	4.7	±	0.18
Nº 200	0.075	2.3	±	0.19

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.5: Faja de la curva granulométrica integral Río Victoria



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.20: Intervalo de confianza Río Victoria

TAMIZ	TAMAÑO mm	LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
2"	50.8	100.00	100.00
1 1/2"	38.1	94.47	92.73
1"	25.4	76.99	73.31
3/4"	19.1	63.66	60.12
1/2"	12.7	52.40	49.99
3/8"	9.5	46.05	43.89
Nº 4	4.75	35.84	34.28
Nº 8	2.36	29.23	27.65
Nº 16	1.18	23.97	22.50
Nº 30	0.6	18.54	17.75
Nº 50	0.3	12.16	11.02
Nº 100	0.15	4.89	4.52
Nº 200	0.075	2.52	2.14

Fuente: Elaboración propia

### 4.3.6. Análisis estadístico de la granulometría integral Quebrada Saire

**Tabla 4.21: Estadística descriptiva Quebrada Saire**

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
POBLACIÓN (N)	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
MÁXIMO	100.0	97.0	86.3	75.6	64.5	57.9	45.9	37.1	28.2	18.5	9.2	5.0	3.8
MÍNIMO	100.0	93.2	81.9	67.5	56.6	50.3	38.5	31.4	21.7	11.7	5.2	2.8	1.9
MEDIA	100.0	95.6	84.0	72.9	62.2	55.6	43.0	33.6	25.3	15.8	6.8	3.5	2.5
DESVIACIÓN MUESTRAL	0.00	1.57	1.67	3.33	3.24	3.09	2.74	2.13	2.34	2.52	1.54	0.90	0.75
DESVIACIÓN POBLACIONAL	0.00	1.40	1.49	2.98	2.90	2.77	2.45	1.90	2.10	2.26	1.38	0.80	0.67

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.22: Estadística inferencial Quebrada Saire**

PARÁMETROS	PORCENTAJE QUE PASA												
	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200
ERROR DE VARIABLES	0.00	1.40	1.49	2.98	2.90	2.77	2.45	1.90	2.10	2.26	1.38	0.80	0.67
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.00	0.63	0.67	1.33	1.30	1.24	1.10	0.85	0.94	1.01	0.62	0.36	0.30
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.00	1.23	1.31	2.61	2.54	2.42	2.15	1.67	1.84	1.98	1.21	0.70	0.59

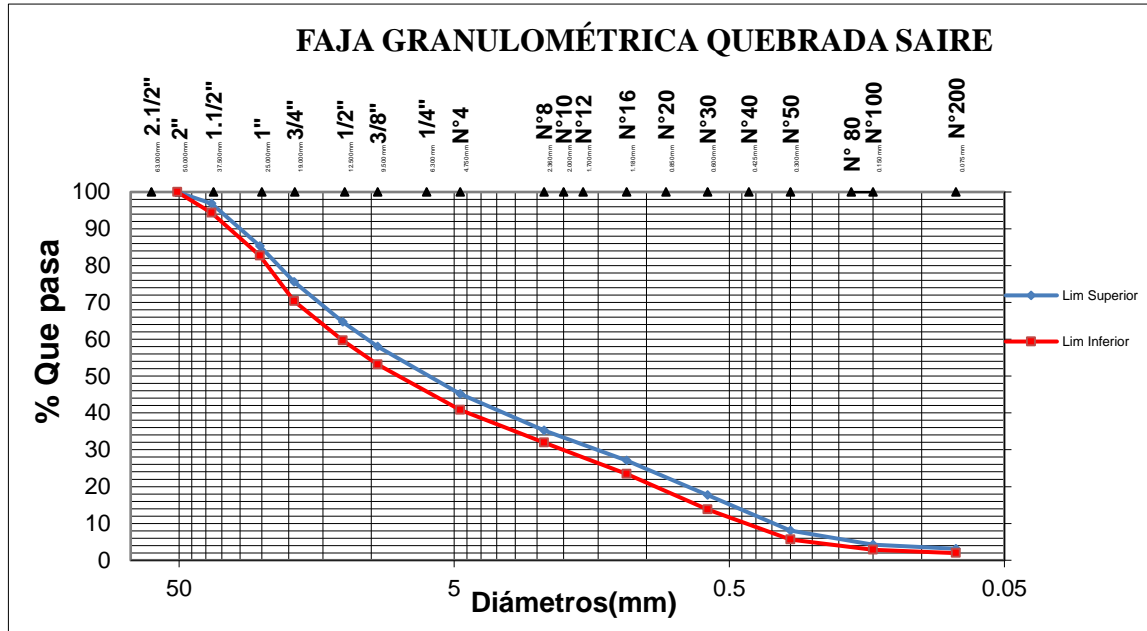
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.23: Intervalos de confianza Quebrada Saire**

TAMIZ	TAMAÑO mm	VALORES ACEPTADOS %		
2"	50.8	100.0	±	0.00
1 1/2"	38.1	95.6	±	1.23
1"	25.4	84.0	±	1.31
3/4"	19.1	72.9	±	2.61
1/2"	12.7	62.2	±	2.54
3/8"	9.5	55.6	±	2.42
Nº 4	4.75	43.0	±	2.15
Nº 8	2.36	33.6	±	1.67
Nº 16	1.18	25.3	±	1.84
Nº 30	0.6	15.8	±	1.98
Nº 50	0.3	6.8	±	1.21
Nº 100	0.15	3.5	±	0.70
Nº 200	0.075	2.5	±	0.59

Fuente: Elaboración propia

Figura 4.6: Faja de la curva granulométrica integral Quebrada Saire



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.24: Intervalo de confianza

TAMIZ	TAMAÑO mm	LIMITE SUPERIOR	LIMITE INFERIOR
2"	50.8	100.00	100.00
1 1/2"	38.1	96.83	94.38
1"	25.4	85.31	82.69
3/4"	19.1	75.54	70.32
1/2"	12.7	64.72	59.64
3/8"	9.5	58.01	53.16
Nº 4	4.75	45.12	40.82
Nº 8	2.36	35.28	31.94
Nº 16	1.18	27.11	23.44
Nº 30	0.6	17.73	13.78
Nº 50	0.3	8.05	5.63
Nº 100	0.15	4.22	2.81
Nº 200	0.075	3.11	1.93

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL MÉTODO DE LOS SULFATOS

Tabla 4.25: resumen de los resultados de desgaste de sulfatos

N° DE ENSAYO	CAMACHO		ERQUIS		SANTA ANA		SOLA		VICTORIA		SAIRE	
	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO	GRUESO	FINO
SONDEO 1	6.15	5.62	5.17	4.65	9.89	10.73	3.67	2.81	4.37	2.99	7.76	6.30
SONDEO 2	5.86	5.74	5.59	5.02	9.79	10.87	3.90	2.90	4.68	3.44	7.31	6.55
SONDEO 3	5.91	5.67	5.39	4.79	10.04	10.50	3.82	2.93	4.49	3.15	7.43	6.36
<b>PROMEDIO</b>	<b>5.97</b>	<b>5.68</b>	<b>5.38</b>	<b>4.82</b>	<b>9.91</b>	<b>10.70</b>	<b>3.80</b>	<b>2.88</b>	<b>4.51</b>	<b>3.19</b>	<b>7.50</b>	<b>6.40</b>

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{ Promedio de desgaste} = \frac{\text{GRUESO} + \text{FINO}}{2}$$

$$\% \text{ Promedio de desgaste RÍO CAMACHO} = \frac{5.97 + 5.68}{2} = \mathbf{5.83\%}$$

$$\% \text{ Promedio de desgaste RÍO ERQUIS} = \frac{5.38 + 4.82}{2} = \mathbf{5.10\%}$$

$$\% \text{ Promedio de desgaste RÍO SANTA ANA} = \frac{9.91 + 10.70}{2} = \mathbf{10.30\%}$$

$$\% \text{ Promedio de desgaste RÍO SOLA} = \frac{3.80 + 2.88}{2} = \mathbf{3.34\%}$$

$$\% \text{ Promedio de desgaste RÍO VICTORIA} = \frac{4.51 + 3.19}{2} = \mathbf{3.85\%}$$

$$\% \text{ Promedio de desgaste QUEBRADA SAIRE} = \frac{7.50 + 6.40}{2} = \mathbf{6.95\%}$$



#### 4.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL DESGASTE DE LOS ÁNGELES

Tabla 4.26: resumen de los resultados de desgaste de la máquina de los ángeles

Nº DE ENSAYO	CAMACHO	ERQUIS	SANTA ANA	SOLA	VICTORIA	SAIRE
1	25.83	25.83	34.80	20.00	21.30	27.41
2	26.58	23.77	35.63	20.63	21.45	29.34
3	25.74	24.08	35.13	21.62	21.39	28.14
<b>% PROMEDIO DE DESGASTE</b>	<b>26.05</b>	<b>24.56</b>	<b>35.18</b>	<b>20.75</b>	<b>21.38</b>	<b>28.29</b>

Fuente: Elaboración propia

$$\% \text{ Promedio de desgaste RÍO CAMACHO} = \frac{25.83 + 26.58 + 25.74}{3} = \mathbf{26.05\%}$$

$$\% \text{ Promedio de desgaste RÍO ERQUIS} = \frac{25.83 + 23.77 + 24.08}{3} = \mathbf{24.56\%}$$

$$\% \text{ Promedio de desgaste RÍO SANTA ANA} = \frac{34.80 + 35.63 + 35.13}{3} = \mathbf{35.18\%}$$

$$\% \text{ Promedio de desgaste RÍO SOLA} = \frac{20.00 + 20.63 + 21.62}{3} = \mathbf{20.75\%}$$

$$\% \text{ Promedio de desgaste RÍO VICTORIA} = \frac{21.30 + 21.45 + 21.39}{3} = \mathbf{21.38\%}$$

$$\% \text{ Promedio de desgaste QUEBRADA SAIRE} = \frac{27.41 + 29.34 + 28.14}{3} = \mathbf{28.29\%}$$

## SEGUNDA PARTE

### 4.6 ESTADÍSTICA PARA PRUEBA DE HIPÓTESIS

Es un procedimiento basado en la evidencia muestral y en la teoría de probabilidad que se emplea para determinar si la hipótesis es un enunciado racional y no debe rechazarse o si es irracional y debe ser rechazado.

Si los datos son congruentes o incongruentes con la hipótesis: en consecuencia, se considera hipótesis falsas o verdícas.

Una parte muy importante de la investigación relacionada con la hipótesis es el procedimiento estadístico que debe seguirse para comprobar o realizar una prueba de hipótesis. Esta suposición debe ser comprobada por los hechos, ya sea en la experimentación o en la práctica; el no comprobarla significa que es falsa, conllevando esto a que los fenómenos que se pretende explicar deben ser observados nuevamente con miras a reformular la conjetura. La exigencia de la comprobación empírica, constituye uno de los criterios que dan la posibilidad de eliminar de las ciencias experimentales cualquier tipo de proposición especulativa, así como las generalizaciones inmaduras y superficiales y las suposiciones arbitrarias.

Básicamente la prueba de hipótesis puede resumirse en los siguientes pasos:

#### **Formulación de la hipótesis**

Aquí se plantea la hipótesis nula o hipótesis de trabajo ( $H_0$ ) y la hipótesis alterna o hipótesis del investigador ( $H_1$ ), que surgen del problema u objeto de estudio.

#### **Selección de la prueba estadística acorde al estudio**

Se debe de elegir la prueba estadística tomando en consideración las características del estudio que estamos llevando a cabo.

$$\left\{ \begin{array}{l} H_0: \bar{X} = \mu \\ H_1: \bar{X} \neq \mu \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} H_0: \bar{X} \leq \mu \\ H_1: \bar{X} > \mu \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} H_0: \bar{X} \geq \mu \\ H_1: \bar{X} < \mu \end{array} \right.$$

### **Establecimiento del nivel de significación**

En este paso es necesario establecer un porcentaje o nivel de confianza dentro del cual se aceptaran o rechazaran las hipótesis planteadas. Lo más común es utilizar valores de 1%, 5%, 10%, posteriormente se determinará la zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula  $H_0$ .

### **Determinación de la función pivotal**

La función pivotal es la fórmula que va a involucrar el análisis de los datos que se obtiene de la muestra.

$$Z = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \qquad t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (n-1) \text{ GL}$$

Cuando  $n > 30$

Cuando  $n < 30$

Convertir la media de la muestra en valores “z” O “t”, dependiendo de la prueba estadística que hayamos elegido, tomar la decisión estadística, es decir comparamos el valor de “z” O “t” calculado en el paso anterior con el respectivo valor de “z” O “t” crítico (valor encontrado en la tabla), según el nivel de significación elegido.

### **Conclusión**

Finalmente tomando en cuenta los resultados obtenidos, llegamos a la conclusión de aceptar o rechazar la hipótesis objeto de nuestro estudio.

#### 4.6.1. Análisis estadístico por sulfato de sodio Río Camacho

Tabla 4.27: Desgaste por sulfatos Río Camacho

	AGREGADO GRUESO					
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4
CAM:S1:MI	1.18	1.74	1.10	0.83	1.29	0.01
CAM:S2:MI	1.45	1.00	1.10	0.81	1.47	0.02
CAM:S3:MI	1.34	0.98	1.19	0.82	1.56	0.02

Tabla 4.28: Estadística descriptiva

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA AGREGADO GRUESO					
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4
POBLACIÓN (N)	3	3	3	3	3	3
MÁXIMO	1.45	1.74	1.19	0.83	1.56	0.02
MÍNIMO	1.18	0.98	1.10	0.81	1.29	0.01
MEDIA ( $\bar{X}$ )	1.32	1.24	1.13	0.82	1.44	0.02
DES VIACIÓN MUESTRAL	0.14	0.43	0.05	0.01	0.14	0.01
DES VIACIÓN POBLACIONAL	0.11	0.35	0.04	0.01	0.11	0.01

5.97

Tabla 4.29: Estadística inferencial

PARÁMETROS	PORCENTAJES					
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4
ERROR DE VARIABLES	0.11	0.35	0.04	0.01	0.11	0.01
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.07	0.20	0.02	0.00	0.06	0.00
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.13	0.40	0.05	0.01	0.12	0.01

Tabla 4.30: Desgaste por sulfatos Río Camacho

	AGREGADO FINO				
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100
CAM:S1:MI	0.72	0.96	2.08	1.23	0.63
CAM:S2:MI	0.20	1.05	2.33	1.56	0.60
CAM:S3:MI	0.28	0.86	2.25	1.63	0.65

**Tabla 4.31: Estadística descriptiva**

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA AGREGADO FINO					
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	
POBLACIÓN (N)	3	3	3	3	3	
MÁXIMO	0.72	1.05	2.33	1.63	0.65	
MÍNIMO	0.20	0.86	2.08	1.23	0.60	
MEDIA ( $\bar{X}$ )	0.40	0.96	2.22	1.48	0.63	<b>5.68</b>
DESVIACIÓN MUESTRAL	0.28	0.10	0.13	0.21	0.02	
DESVIACIÓN POBLACIONAL	0.23	0.08	0.11	0.17	0.02	

**Tabla 4.32: Estadística inferencial**

PARÁMETROS	PORCENTAJES				
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100
ERROR DE VARIABLES	0.23	0.08	0.11	0.17	0.02
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.13	0.04	0.06	0.10	0.01
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.26	0.09	0.12	0.20	0.02

**Media de cada muestra ( $\mu$ )= 5.83**

#### 4.6.2. Análisis estadístico por sulfato de sodio Río Erquis

Tabla 4.33: Desgaste por sulfatos Erquis

	AGREGADO GRUESO					
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4
ERQ:S1:MI	0.98	1.89	0.39	0.61	1.13	0.16
ERQ:S2:MI	1.07	0.95	1.39	0.85	1.29	0.04
ERQ:S3:MI	0.30	1.65	1.71	0.81	0.89	0.03

Tabla 4.34: Estadística descriptiva

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA AGREGADO GRUESO						
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	
POBLACIÓN (N)	3	3	3	3	3	3	
MÁXIMO	1.07	1.89	1.71	0.85	1.29	0.16	
MÍNIMO	0.30	0.95	0.39	0.61	0.89	0.03	
MEDIA ( $\bar{X}$ )	0.79	1.49	1.16	0.76	1.10	0.08	5.38
DES VIACIÓN MUESTRAL	0.42	0.49	0.69	0.13	0.20	0.07	
DES VIACIÓN POBLACIONAL	0.34	0.40	0.56	0.10	0.16	0.06	

Tabla 4.35: Estadística inferencial

PARÁMETROS	PORCENTAJES					
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4
ERROR DE VARIABLES	0.34	0.40	0.56	0.10	0.16	0.06
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.20	0.23	0.32	0.06	0.09	0.03
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.39	0.45	0.63	0.12	0.18	0.07

Tabla 4.36: Desgaste por sulfatos Erquis

	AGREGADO FINO				
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100
ERQ:S1:MI	0.68	0.88	1.10	0.99	1.01
ERQ:S2:MI	0.79	1.24	0.65	1.37	0.98
ERQ:S3:MI	1.39	1.05	0.58	1.05	0.72

**Tabla 4.37: Estadística descriptiva**

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA AGREGADO FINO					
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	
<b>POBLACIÓN (N)</b>	3	3	3	3	3	
<b>MÁXIMO</b>	1.39	1.24	1.10	1.37	1.01	
<b>MÍNIMO</b>	0.68	0.88	0.58	0.99	0.72	
<b>MEDIA (<math>\bar{X}</math>)</b>	0.95	1.06	0.77	1.14	0.90	<b>4.82</b>
<b>DES VIACIÓN MUES TRAL</b>	0.38	0.18	0.28	0.20	0.16	
<b>DES VIACIÓN POBLACIONAL</b>	0.31	0.15	0.23	0.16	0.13	

**Tabla 4.38: Estadística inferencial**

PARÁMETROS	PORCENTAJES				
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100
<b>ERROR DE VARIABLES</b>	0.31	0.15	0.23	0.16	0.13
<b>ERROR MEDIO DE LA MEDIA</b>	0.18	0.09	0.13	0.10	0.08
<b>NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=</b>	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
<b>ERROR PROBABLE</b>	0.35	0.17	0.26	0.19	0.15

**Media de cada muestra ( $\mu$ )= 5.10**

### 4.6.3. Análisis estadístico por sulfato de sodio Santa Ana

Tabla 4.39: Desgaste por sulfatos Santa Ana

	AGREGADO GRUESO					
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4
SAN:S1:MI	1.03	0.60	2.66	1.41	4.06	0.13
SAN:S2:MI	0.44	0.61	2.80	1.37	4.48	0.09
SAN:S3:MI	0.68	0.74	3.27	1.20	4.05	0.11

Tabla 4.40: Estadística descriptiva

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA AGREGADO GRUESO						
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	
POBLACIÓN (N)	3	3	3	3	3	3	
MÁXIMO	1.03	0.74	3.27	1.41	4.48	0.13	
MÍNIMO	0.44	0.60	2.66	1.20	4.05	0.09	
MEDIA ( $\bar{X}$ )	0.72	0.65	2.91	1.32	4.19	0.11	<b>9.91</b>
DES VIACIÓN MUESTRAL	0.30	0.07	0.32	0.11	0.25	0.02	
DES VIACIÓN POBLACIONAL	0.24	0.06	0.26	0.09	0.20	0.01	

Tabla 4.41: Estadística inferencial

PARÁMETROS	PORCENTAJES					
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4
ERROR DE VARIABLES	0.24	0.06	0.26	0.09	0.20	0.01
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.14	0.04	0.15	0.05	0.12	0.01
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.27	0.07	0.29	0.10	0.23	0.02

Tabla 4.42: Desgaste por sulfatos Santa Ana

	AGREGADO FINO				
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100
SAN:S1:MI	1.75	2.30	2.62	2.31	1.75
SAN:S2:MI	0.65	2.63	3.31	2.94	1.33
SAN:S3:MI	2.92	3.04	2.51	0.79	1.24



**Tabla 4.43: Estadística descriptiva**

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA AGREGADO FINO					
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	
POBLACIÓN (N)	3	3	3	3	3	
MÁXIMO	2.92	3.04	3.31	2.94	1.75	
MÍNIMO	0.65	2.30	2.51	0.79	1.24	
MEDIA ( $\bar{X}$ )	1.78	2.66	2.82	2.01	1.44	<b>10.70</b>
DES VIACIÓN MUES TRAL	1.13	0.37	0.43	1.11	0.27	
DES VIACIÓN POBLACIONAL	0.93	0.30	0.35	0.90	0.22	

**Tabla 4.44: Estadística inferencial**

PARÁMETROS	PORCENTAJES				
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100
ERROR DE VARIABLES	0.93	0.30	0.35	0.90	0.22
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.53	0.18	0.20	0.52	0.13
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	1.05	0.34	0.40	1.02	0.25

**Media de cada muestra ( $\mu$ )= 10.31**

#### 4.6.4. Análisis estadístico por sulfato de sodio Sola

Tabla 4.45: Desgaste por sulfatos Sola

	AGREGADO GRUESO					
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4
SOL:S1:MI	0.66	0.45	0.50	0.51	1.53	0.01
SOL:S2:MI	0.68	1.30	0.90	0.24	0.78	0.01
SOL:S3:MI	0.50	1.27	0.77	0.28	0.99	0.01

Tabla 4.46: Estadística descriptiva

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA AGREGADO GRUESO						
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	
POBLACIÓN (N)	3	3	3	3	3	3	
MÁXIMO	0.68	1.30	0.90	0.51	1.53	0.01	
MÍNIMO	0.50	0.45	0.50	0.24	0.78	0.01	
MEDIA ( $\bar{X}$ )	0.61	1.00	0.72	0.34	1.10	0.01	3.80
DES VIACIÓN MUESTRAL	0.10	0.48	0.20	0.14	0.39	0.00	
DES VIACIÓN POBLACIONAL	0.08	0.39	0.16	0.12	0.32	0.00	

Tabla 4.47: Estadística inferencial

PARÁMETROS	PORCENTAJES					
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4
ERROR DE VARIABLES	0.08	0.39	0.16	0.12	0.32	0.00
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.05	0.23	0.09	0.07	0.18	0.00
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.09	0.44	0.18	0.13	0.36	0.00

Tabla 4.48: Desgaste por sulfatos Sola

	AGREGADO FINO				
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100
SOL:S1:MI	0.60	0.73	0.64	0.48	0.36
SOL:S2:MI	0.37	0.67	0.79	0.40	0.67
SOL:S3:MI	0.52	0.88	0.90	0.30	0.34

**Tabla 4.49: Estadística descriptiva**

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA AGREGADO FINO					
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	
POBLACIÓN (N)	3	3	3	3	3	
MÁXIMO	0.60	0.88	0.90	0.48	0.67	
MÍNIMO	0.37	0.67	0.64	0.30	0.34	
MEDIA ( $\bar{X}$ )	0.50	0.76	0.78	0.39	0.46	<b>2.88</b>
DES VIACIÓN MUES TRAL	0.12	0.11	0.13	0.09	0.19	
DES VIACIÓN POBLACIONAL	0.10	0.09	0.11	0.07	0.15	

**Tabla 4.50: Estadística inferencial**

PARÁMETROS	PORCENTAJES				
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100
ERROR DE VARIABLES	0.10	0.09	0.11	0.07	0.15
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.06	0.05	0.06	0.04	0.09
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.11	0.10	0.12	0.08	0.17

**Media de cada muestra ( $\mu$ )= 3.34**

#### 4.6.5. Análisis estadístico por sulfato de sodio Río La Victoria

Tabla 4.51: Desgaste por sulfatos La Victoria

	AGREGADO GRUESO					
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4
VIC:S1:MI	0.30	1.79	1.18	0.38	0.66	0.05
VIC:S2:MI	1.18	1.09	0.47	0.63	1.31	0.00
VIC:S3:MI	1.24	0.72	0.94	0.32	1.23	0.03

Tabla 4.52: Estadística descriptiva

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA AGREGADO GRUESO						
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	
POBLACIÓN (N)	3	3	3	3	3	3	
MÁXIMO	1.24	1.79	1.18	0.63	1.31	0.05	
MÍNIMO	0.30	0.72	0.47	0.32	0.66	0.00	
MEDIA ( $\bar{X}$ )	0.91	1.20	0.87	0.44	1.07	0.03	4.51
DESVIACIÓN MUESTRAL	0.53	0.55	0.36	0.16	0.35	0.03	
DESVIACIÓN POBLACIONAL	0.43	0.45	0.29	0.13	0.29	0.02	

Tabla 4.53: Estadística inferencial

PARÁMETROS	PORCENTAJES					
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4
ERROR DE VARIABLES	0.43	0.45	0.29	0.13	0.29	0.02
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.25	0.26	0.17	0.08	0.17	0.01
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.49	0.50	0.33	0.15	0.33	0.03

Tabla 4.54: Desgaste por sulfatos La Victoria

	AGREGADO FINO				
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100
VIC:S1:MI	0.66	0.47	0.69	0.53	0.64
VIC:S2:MI	0.83	0.90	0.61	0.80	0.31
VIC:S3:MI	0.34	0.71	0.97	0.87	0.26

**Tabla 4.55: Estadística descriptiva**

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA AGREGADO FINO					
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	
POBLACIÓN (N)	3	3	3	3	3	
MÁXIMO	0.83	0.90	0.97	0.87	0.64	
MÍNIMO	0.34	0.47	0.61	0.53	0.26	
MEDIA ( $\bar{X}$ )	0.61	0.69	0.76	0.73	0.40	<b>3.19</b>
DES VIACIÓN MUES TRAL	0.25	0.22	0.19	0.18	0.21	
DES VIACIÓN POBLACIONAL	0.20	0.18	0.15	0.15	0.17	

**Tabla 4.56: Estadística inferencial**

PARÁMETROS	PORCENTAJES				
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100
ERROR DE VARIABLES	0.20	0.18	0.15	0.15	0.17
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.12	0.10	0.09	0.09	0.10
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.23	0.20	0.17	0.17	0.19

**Media de cada muestra ( $\mu$ )= 3.85**

#### 4.6.6. Análisis estadístico por sulfato de sodio Quebrada Saire

Tabla 4.57: Desgaste por sulfatos El Saire

	AGREGADO GRUESO					
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4
SAI:S1:MI	1.37	1.75	1.46	1.77	1.38	0.03
SAI:S2:MI	0.88	0.33	1.99	0.47	3.61	0.04
SAI:S3:MI	0.93	0.91	2.14	1.43	1.96	0.06

Tabla 4.58: Estadística descriptiva

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA AGREGADO GRUESO						
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	
POBLACIÓN (N)	3	3	3	3	3	3	
MÁXIMO	1.37	1.75	2.14	1.77	3.61	0.06	
MÍNIMO	0.88	0.33	1.46	0.47	1.38	0.03	
MEDIA ( $\bar{X}$ )	1.06	1.00	1.86	1.23	2.32	0.04	7.50
DES VIACIÓN MUESTRAL	0.27	0.71	0.36	0.67	1.15	0.01	
DES VIACIÓN POBLACIONAL	0.22	0.58	0.29	0.55	0.94	0.01	

Tabla 4.59: Estadística inferencial

PARÁMETROS	PORCENTAJES					
	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4
ERROR DE VARIABLES	0.22	0.58	0.29	0.55	0.94	0.01
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.13	0.34	0.17	0.32	0.54	0.01
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.25	0.66	0.33	0.62	1.07	0.01

Tabla 4.60: Desgaste por sulfatos El Saire

	AGREGADO FINO				
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100
SAI:S1:MI	1.09	1.55	2.32	0.80	0.54
SAI:S2:MI	0.93	2.02	2.14	0.80	0.66
SAI:S3:MI	1.74	2.20	1.36	0.41	0.65

**Tabla 4.61: Estadística descriptiva**

ESTADÍSTICO	PORCENTAJE QUE PASA AGREGADO FINO					
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	
POBLACIÓN (N)	3	3	3	3	3	
MÁXIMO	1.74	2.20	2.32	0.80	0.66	
MÍNIMO	0.93	1.55	1.36	0.41	0.54	
MEDIA ( $\bar{X}$ )	1.26	1.92	1.94	0.67	0.61	<b>6.40</b>
DES VIACIÓN MUES TRAL	0.43	0.34	0.51	0.23	0.06	
DES VIACIÓN POBLACIONAL	0.35	0.27	0.42	0.18	0.05	

**Tabla 4.62: Estadística inferencial**

PARÁMETROS	PORCENTAJES				
	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100
ERROR DE VARIABLES	0.35	0.27	0.42	0.18	0.05
ERROR MEDIO DE LA MEDIA	0.20	0.16	0.24	0.11	0.03
NIVEL DE CONFIANZA 95% Z=	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
ERROR PROBABLE	0.39	0.31	0.47	0.21	0.06

**Media de cada muestra ( $\mu$ )= 6.95**

#### 4.7. PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS

##### Paso 1:

##### HIPÓTESIS NULA O HIPÓTESIS DE TRABAJO= H0

Al identificar canteras regionales de explotación de agregados, se podrá realizar ensayos de solidez y durabilidad, para establecer el cumplimiento de las especificaciones técnicas de la construcción de pavimentos.

##### HIPÓTESIS ALTERNA = H1

Al identificar canteras regionales de explotación de agregados, no se podrá realizar ensayos de solidez y durabilidad y menos establecer el cumplimiento de las especificaciones técnicas de la construcción de pavimentos.

$$\begin{array}{l} H_0 = X \\ H_1 \neq X \end{array}$$

##### Paso 2: Nivel de significancia

El nivel de significancia o error, se considera como  
Por lo que el nivel de confianza es

a =	0.05
N.C.=	95%

Media de la Población ( $\bar{X}$ )

RÍO CAMACHO	GRUESO	5.97
	FINO	5.68
RÍO ERQUIS	GRUESO	5.38
	FINO	4.82
RÍO SANTA ANA	GRUESO	9.91
	FINO	10.70
RÍO SOLA	GRUESO	3.80
	FINO	2.88
RÍO VICTORIA	GRUESO	4.51
	FINO	3.19
QUEBRADA SAIRE	GRUESO	7.50
	FINO	6.40
MEDIA POBLACIONAL ( $\bar{X}$ )		5.90



Media de cada muestra ( $\mu$ )

RÍO CAMACHO	5.83
RÍO ERQUIS	5.10
RÍO SANTA ANA	10.31
RÍO SOLA	3.34
RÍO VICTORIA	3.85
QUEBRADA SAIRE	6.95
MEDIA DE LA MUESTRA ( $\mu$ )	<b>5.90</b>

**Paso 3: Determinación de la zona de aceptación y rechazo de la hipótesis nula (H0)**

a =	0.05
N.C.=	95%

**Tabla de distribución t de student de dos colas**

UNILATERAL $\alpha$	0.25	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005
BILATERAL $\alpha$	0.50	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01
GL						
1	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	1.476	2.015	<b>2.571</b>	3.365	4.032
6	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169

**Paso 4: Determinación de la función pivotal**

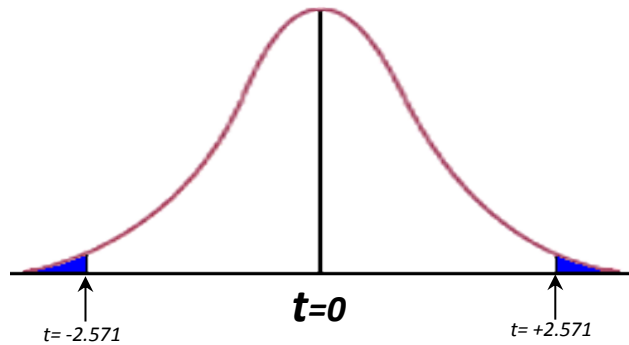
Cuando  $n \leq 30$

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (n-1) \text{ GL}$$

**Paso 5: Cálculo de t de student, aceptar o rechazar hipótesis**

$$\begin{aligned}\bar{X} &= 5.90 \\ n &= 5 \\ \mu &= 5.90 \\ \sigma &= 0.23\end{aligned}$$

$$t = \frac{5.90 - 5.90}{\frac{0.23}{\sqrt{5}}} = 0$$



**Conclusión:**

Con una confianza del 95%, se acepta la hipótesis nula o hipótesis de trabajo, entonces se rechaza la hipótesis alternativa, por lo tanto podemos concluir que la hipótesis fue bien planteada.

### TERCERA PARTE

#### 4.8. PROPUESTA DE APLICACIÓN

En cuanto a la grava se observa en algunas granulometrías un sobre tamaño en el corte de 1 1/2" lo cual se lo puede corregir en campo moviendo el ángulo de la zaranda, se observa que la arena en las seis canteras en algunos cortes no entra dentro de la faja para hormigones teniendo mucho material limoso y sucio, por lo que su empleo deberá realizarse posterior a un lavado, encareciendo su producción, por lo tanto el material puede ser empleado para hormigones en pavimentos.

De acuerdo a los parámetros y recomendaciones técnicas los agregados, pueden ser usados por explotación directa para terraplén o última capa a nivel de subrasante y mejorándolo en la producción de la capa sub base.

También se puede dar uso como base, capa de rodadura y agregado para hormigones ya que el desgaste por abrasión, desgaste por sulfato, cumplen con lo requerido en las recomendaciones técnicas.

#### Capa sub base

Los agregados empleados en la capa de sub-base deberán cumplir los parámetros de dureza, durabilidad y limpieza establecidos en las especificaciones técnicas del proyecto.

A continuación se presentan los requerimientos mínimos que deberán cumplir los materiales de la capa sub base

**Tabla 4.63: Requerimientos de los materiales - Capa Sub base**

ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD	NORMA	REQUERIMIENTO	RÍO SOLA	RÍO VICTORIA	RÍO ERQUIS	RÍO CAMACHO	QUEBRADA SAIRE	RÍO SANTA ANA
Ensayo de abrasión (Los Ángeles)	AASHTO T-96	40% máx.	20.75%	21.38%	24.56%	26.05%	28.29%	35.18%
Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio	AASHTO T-104	12% máx.	3.34%	3.85%	5.10%	5.83%	6.95%	10.30%

Fuente: Elaboración propia

### Capa base

Se considera el material de capa base que requiere el valor de CBR igual o superior a 80%, correspondientes al 100% de su densidad máxima seca según el ensayo AASHTO T-180 y la expansión deberá ser de 0.5 % máximo, siendo estos índices determinados por el ensayo AASHTO T-193, asimismo el 50 % de las partículas retenidas en el tamiz No. 4 presenten al menos una cara fracturada.

Los materiales para base granular para su empleo será agregado que contenga una fracción producto de trituración mecánica. Las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas y/o alargadas, blandas o des integrables y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales.

A continuación se presentan los requerimientos mínimos que deberán cumplir los materiales de la capa base.

**Tabla 4.64: Requerimientos de los materiales - Capa Base**

ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD	NORMA	REQUERIMIENTO	RÍO SOLA	RÍO VICTORIA	RÍO ERQUIS	RÍO CAMACHO	QUEBRADA SAIRE	RÍO SANTA ANA
Ensayo de abrasión (Los Ángeles)	AASHTO T-96	40% máx.	20.75%	21.38%	24.56%	26.05%	28.29%	35.18%
Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio	AASHTO T-104	12% máx.	3.34%	3.85%	5.10%	5.83%	6.95%	10.30%

**Fuente: Elaboración propia**

### **Agregados para capa de rodadura**

Ya sean tratamientos superficiales o una carpeta asfáltica con mezcla en caliente, fría o una losa de hormigón, el agregado deberá ser procesado seleccionado.

Los materiales para la capa de rodadura será partículas de agregados duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas y/o alargadas, blandas o des integrables y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales.

Los requisitos mínimos de calidad que deben cumplir los diferentes materiales y los requisitos granulométricos se presentan en las especificaciones técnicas respectivas.

A continuación se presentan los requerimientos mínimos que deberán cumplir los agregados para la capa de rodadura.

**Tabla 4.65: Requerimientos de los materiales - Capa de Rodadura**

ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD	NORMA	REQUERIMIENTO	RÍO SOLA	RÍO VICTORIA	RÍO ERQUIS	RÍO CAMACHO	QUEBRADA SAIRE	RÍO SANTA ANA
Ensayo de abrasión (Los Ángeles)	AASHTO T-96	40% máx.	20.75%	21.38%	24.56%	26.05%	28.29%	35.18%
Ensayo de durabilidad al sulfato de sodio	AASHTO T-104	12% máx.	3.34%	3.85%	5.10%	5.83%	6.95%	10.30%

**Fuente: Elaboración propia**

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

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En este capítulo se detallan conclusiones y recomendaciones que a partir de resultados obtenidos en el desarrollo del presente trabajo de investigación, permita brindar información y de alguna manera guiar a los profesionales involucrados con el empleo de agregados en la construcción, de las medidas que se pueden seguir para asegurar la durabilidad de las estructuras de hormigón con agregados de la región, cuando éstos se deben de emplear en suelos con altas concentraciones de sulfatos o cuando deben de soportar las condiciones del sitio que se construye, los resultados se los ordenará de manera que se pueda apreciar de menor a mayor grado de afectación.

### **5.1. CONCLUSIONES**

- Para identificar las canteras, se debe de indagar realizando consultas a gente involucrada en la construcción, para posteriormente seleccionarlas de acuerdo a su frecuencia de explotación y su distancia de acarreo, estos criterios servirán como base para establecer y definir las canteras más convenientes.
- Para que los sondeos y la toma de muestras sean lo más objetivo posible, se deberá realizarlo con responsabilidad y bajo normas estandarizadas, siguiendo el método (ASTM C 75 AASTHO T2), el cual establece los procedimientos para extraer y preparar las muestras representativas de áridos finos, gruesos e integrales para fines de ensayos.

De la misma manera y de acuerdo al criterio del investigador se debe tomar con mucha responsabilidad la identificación de los sondeos, para que se tenga el dato exacto de la procedencia y calidad.

- Con los resultados obtenidos se puede concluir que el mejor agregado para el uso en hormigones, es el proveniente del Río Sola, este agregado es más resistente a la acción de sulfatos y desgaste de los ángeles, con un porcentaje de pérdidas en

ensayo de solidez en sulfatos igual a 3.34%, de igual forma obtuvo el desgaste mínimo mediante la máquina de los ángeles igual al 20.75%.

Por el contrario el agregado de Santa Ana obtuvo resultados más desfavorables ofreciendo menor calidad en sus resistencias de solidez y durabilidad, pero aún se encuentra en el límite de las especificaciones para uso en hormigones, obtuvo un porcentaje de pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos igual a 10.30%, de igual forma obtuvo el desgaste mayor mediante la máquina de los ángeles igual al 35.18%.

- Al realizar los ensayos que determinan la solidez y durabilidad de los agregados por medio del método de los sulfatos para determinar la desintegración., y el método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles, se puede observar los siguientes resultados:

<b>CANTERA</b>	<b>ENSAYO DE SOLIDEZ MÉTODO ASTM C-88 AASHTO T-104 ESPECIFICACIÓN (MAX. 12%)</b>	<b>ENSAYO DE DURABILIDAD MÉTODO ASTM C-131 AASHTO T-96 ESPECIFICACIÓN (MAX. 40%)</b>
Río Sola	3.34%	20.75%
Río Victoria	3.85%	21.38%
Río Erquis	5.10%	24.56%
Río Camacho	5.83%	26.05%
Quebrada Saire	6.95%	28.29%
Río Santa Ana	10.30%	35.18%

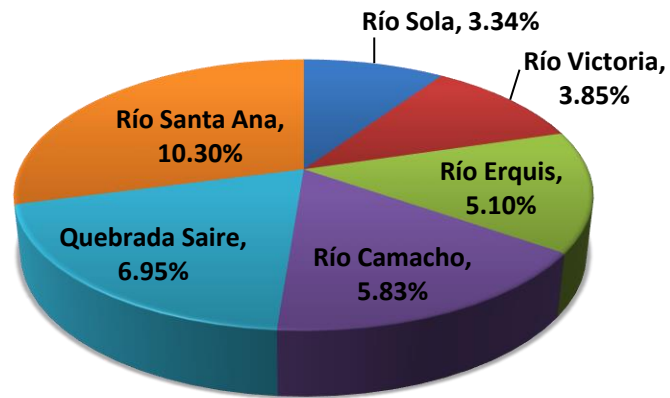
Para pavimentos de hormigón o capa de rodadura, las partículas de agregados ideales deben de ser duras, resistentes y durables, debiendo cumplir requisitos mínimos de calidad, durabilidad en sulfato de sodio máx. 12%, desgaste de los ángeles máx. 40%, en este caso se establece que los dos mejores agregados de acuerdo al cuadro anterior serían:

Agregado del Río Sola con un porcentaje de pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos igual a 3.34%, de igual forma obtuvo el desgaste mínimo mediante la máquina de los ángeles igual al 20.75%.

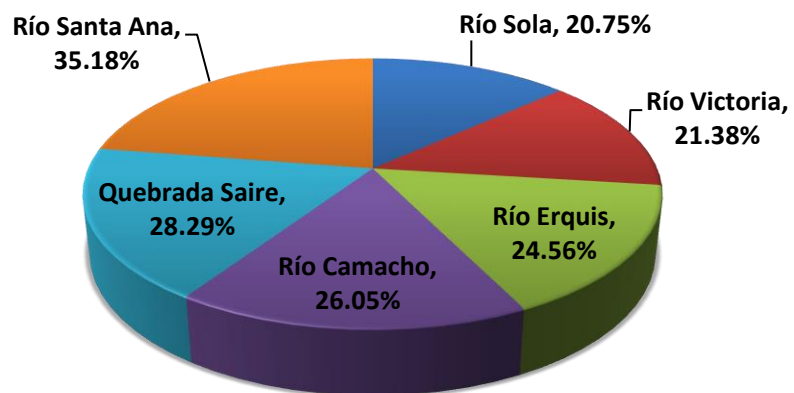


Agregado del Río Victoria con un porcentaje de pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos igual a 3.85%, de igual forma obtuvo el desgaste bajo mediante la máquina de los ángeles igual al 21.38%.

**ENSAYO DE SOLIDEZ (ASTM C-88 AASHTO T-104) MAX. 12%**



**ENSAYO DE DURABILIDAD (ASTM C-131 AASHTO T-96) MAX. 40%**



## 5.2. RECOMENDACIONES

- Al momento de realizar la elección de los áridos que serán empleados para la construcción de obras es imprescindible conocer la solidez de los agregados frente a la acción de sulfatos o someterlos a pruebas que determinen la solidez del agregado, para evitar expansiones representativas con fisuras y agrietamientos que afectarán la estructura del agregados y deterioros rápidos del hormigón, lo cual llevara a refaccionamientos y reparaciones costosas.
- Actualmente en la ciudad de Tarija se cuenta con laboratorios para realizar los ensayos que determinen la solidez de los agregados, a pesar de eso no es un método muy usado porque no se ha dado la importancia necesaria a este tema en la construcción. La implementación de laboratorios en el campo de los agregados y la construcción deben ponerse a la altura de las crecientes exigencias poniendo a punto los métodos y normas técnicas más usuales, así como capacitar permanentemente al personal técnico.
- Se recomienda que al momento de elaborar las muestras de cada tamaño de agregado deben seguir las normas de ensayo, el tiempo de cada ciclo debe ser el mismo para todas las muestras, las muestras deben ser cubiertas con algún aislante para evitar la evaporación de la solución y la contaminación de las mismas; para obtener resultados mejores.
- Se recomienda que si desea continuar con el trabajo de investigación, se debe de ampliar el área de estudio, para tener datos más representativos de cada cantera.