



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

## **T E S I S**

**PÉRDIDA DE LA CAPACIDAD VOLUMÉTRICA Y EL  
TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EN EL EMBALSE  
DE PASTO GRANDE, PROVINCIA DE MARISCAL  
NIETO, REGIÓN MOQUEGUA, 2021**

**PRESENTADO POR**

**BACHILLER JAVIER DOLORES ROMERO LUNA**

**ASESOR:**

**MGR. MARIO PEDRO RODRIGUEZ VASQUEZ**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2022**

## CONTENIDO

	<b>Pag.</b>
PÁGINA DE JURADO .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
CONTENIDO DE TABLAS .....	vii
CONTENIDO DE FIGURAS .....	viii
CONTENIDO DE ECUACIONES .....	ix
CONTENIDO DE APÉNDICES .....	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1	Descripción de la realidad del problema .....	1
1.2	Definición del problema .....	2
1.2.1	Problema general. ....	2
1.2.2	Problemas específicos.....	2
1.3	Objetivos de la investigación .....	2
1.3.1	Objetivo general.....	2
1.3.2	Objetivos específicos. ....	2
1.4	Justificación.....	3
1.5	Alcances y limitaciones .....	4
1.6	Variables.....	4

1.6.1	Operacionalización de variables. ....	4
1.7	Hipótesis de la investigación.....	5
1.7.1	Hipótesis general.....	5
1.7.2	Hipótesis específicas.....	5

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1	Antecedentes de la investigación.....	6
2.2	Bases Teóricas .....	12
2.2.1	Transporte de sedimentos. ....	12
2.2.2	Teoría del transporte de sedimentos. ....	14

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

3.1	Tipo de investigación .....	21
3.2	Diseño de la investigación.....	21
3.3	Población y muestra .....	21
3.3.1	Población. ....	21
3.3.2	Muestra. ....	22
3.4	Descripción de instrumentos para recolección de datos.....	22
3.5	Puntos de muestreo en afluentes de la presa Pasto Grande .....	22
3.5.1	Río Millojahuirá.....	23
3.5.2	Río Antajarane. ....	25
3.5.3	Río Patara.....	26
3.5.4	Río Tocco.....	26

3.6	Ecuación para cálculo de transporte de sedimentos en embalse Pasto Grande .....	27
3.6.1	Cálculo de transporte de sedimentos de afluentes al embalse Pasto Grande. ....	28

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1	Presentación de resultados.....	36
4.1.1	Zonas de acumulación de sedimentos en el embalse. ....	36
4.1.3	Análisis de datos e interpretación de resultados. ....	41
4.2	Contrastación de Hipótesis .....	43
4.2.1	Uso del Programa Estadístico SPSS. ....	43
4.3	Discusión de resultados .....	44

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones .....	47
5.2	Recomendaciones.....	48
	BIBLIOGRAFÍA .....	50
	APÉNDICES.....	52
	MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	75

## CONTENIDO DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 Matriz de operacionalización de Variables .....	4
Tabla 2 Parámetros hidrológicos e hidráulicos en río Millojahuira .....	28
Tabla 3 Mecánica de suelos río Millojahuira .....	28
Tabla 4 Parámetros transporte de fondo: Meyer – Peter – Muller .....	28
Tabla 5 Transporte de fondo río Millojahuira .....	29
Tabla 6 Parámetros hidrológicos e hidráulicos en río Antajarane .....	30
Tabla 7 Mecánica de suelos río Antajarane .....	30
Tabla 8 Parámetros de transporte de fondo: Meyer – Peter – Muller .....	30
Tabla 9 Transporte de fondo río Antajarane .....	31
Tabla 10 Parámetros hidrológicos e hidráulicos en río Patara .....	31
Tabla 11 Mecánica de suelos río Patara .....	32
Tabla 12 Parámetros de transporte de fondo : Meyer – Peter – Muller .....	32
Tabla 13 Transporte de fondo río Patara .....	32
Tabla 14 Parámetros hidrológicos e hidráulicos en río Tocco .....	33
Tabla 15 Mecánica de Suelos Río Tocco .....	33
Tabla 16 Parámetros de Transporte de Fondo : Meyer – Peter – Muller .....	33
Tabla 17 Transporte de Fondo Río Tocco .....	34
Tabla 18 Transporte de fondo total embalse periodo analizado (32 años) .....	35
Tabla 19 Transporte de fondo total embalse .....	35
Tabla 20 Espesores de colmatación de sedimentos(m) .....	39

## CONTENIDO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Embalse y Presa Pasto Grande .....	xv
Figura 2. Ubicación Embalse Pasto Grande-Moquegua .....	7
Figura 3. Afluentes del embalse Pasto Grande .....	8
Figura 4. Embalse y presa Pasto Grande-Moquegua .....	8
Figura 5. Estructuras de control de afluente – muros de encauzamiento.....	9
Figura 6. Puntos de muestreo en el embalse .....	23
Figura 7. Muestreo de sedimentos en dirección del río Millojahuira .....	24
Figura 8. Obtención de muestras río Millojahuira .....	24
Figura 9. Recibiendo las muestras río Millojahuira .....	25
Figura 10. Muestreando en río Tocco .....	27
Figura 11. Sedimentos – Zonas Críticas en el embalse con sedimentos .....	37
Figura 12. Zonas de mayor presencia de sedimentos.....	38
Figura 13. Volumen de sedimentos acumulados 2021 de afluentes al embalse Pasto Grande.....	42
Figura 14. Evolución de acumulación de sedimentos .....	43
Figura 15. Resultados procesamiento en SPSS .....	44

**CONTENIDO DE ECUACIONES**

**Pág.**

Ecuación 1. Método de Meyer – Peter – Müller ..... 20

## CONTENIDO DE APÉNDICES

	<b>Pág.</b>
Apéndice A. Curvas granulométricas afluentes del embalse Pasto Grande .....	53
Apéndice B. Registro de caudales afluentes del embalse Pasto Grande .....	69
Apéndice C. Reporte histórico de volúmenes de almacenamiento en el embalse Pasto Grande .....	73



## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación tuvo como propósito principal analizar y cuantificar el transporte de sedimentos que acarrearán los cuatro afluentes principales del embalse Pasto Grande ubicado en la parte alta de la Región Moquegua, ver la evolución en el tiempo y su relación con la capacidad volumétrica del mismo. Para el cálculo de transporte de sedimentos se ha utilizado fórmulas empíricas que han dado buenos resultados en este tipo de embalses en la sierra peruana, ubicadas encima de los 4,000 m.s.n.m. en la zona altiplánica de la Región Moquegua. La metodología empleada para la investigación es cuantitativa, descriptiva, por su temporalidad es transversal, adoptando un diseño descriptivo correlacional, siendo la población y muestra analizada el embalse Pasto Grande. Se han utilizado también técnicas como la observación, medición directa, información histórica y documentación fotográfica que permitieron entrar en contacto con el fenómeno a investigar, asimismo se analizó la información hidrológica y de mecánica de suelos existente. Esta información nos permitió realizar el cálculo de transporte de sedimentos, variable importante en la presente investigación. La investigación concluyó que los sedimentos acumulados a la fecha (2021) es del orden de 11 514 424,32 m<sup>3</sup>, ocupando un 5.75% de la capacidad volumétrica del embalse (200 000 000 m<sup>3</sup>); se recomienda realizar trabajos de dragado, construcción de salida de fondo, diques transversales y forestación en las subcuencas para controlar el depósito de los sedimentos en el embalse y la operatividad del sistema.

***Palabras clave:*** Transporte de sedimentos, capacidad volumétrica, información hidrológica

## ABSTRACT

The main purpose of this research is to analyze and quantify the transport of sediments carried by the four main tributaries of the Pasto Grande reservoir located in the upper part of the Moquegua Region, to see the evolution over time and its relationship with its volumetric capacity. For the calculation of sediment transport, empirical formulas have been used that have given good results in this type of reservoirs in the Peruvian highlands, located above 4 000 m.s.n.m in the highland area of the Moquegua Region. Techniques such as observation, direct measurement, historical information and photographic documentation have also been used that allowed to come into contact with the phenomenon to be investigated, as well as the existing hydrological and soil mechanics information. This information allowed us to calculate sediment transport, an important variable in the present investigation. The determination of the solids that enter and settle in the reservoir bed will also allow us to evaluate the loss of volumetric capacity or the current useful volume of the reservoir, also this investigation will allow us to infer the prognosis of the solids based on the statistical data to accumulate in the reservoir and to be able to plan its maintenance over time and to be operational as the main source of water supply to the Moquegua and Ilo valley.

**Keywords:** Sediment transport, volumetric capacity, hydrological information

## INTRODUCCIÓN

Muchas de las grandes presas del país están siendo afectadas por causa de la sedimentación, que en muchos casos es más acelerada de lo estimado en sus diseños.

En el caso de la presa de Pasto Grande, debido al tiempo transcurrido, aproximadamente más de 30 años, este embalse está acumulando sedimentos acarreados por sus cuatro (04) afluentes principales, ocasionando la disminución de su capacidad volumétrica, la problemática radica que al ser un embalse de poca profundidad y amplio espejo de agua, el volumen útil del embalse se está reduciendo, esto aunado a la alta evaporación producida en el embalse está generando acumulación de sedimentos en diferentes lugares y en particular cerca a la pantalla de la presa ocasionando dificultades en la operación.

Otra condición desfavorable debido a la acumulación de sedimentos, está generando condiciones bióticas con la producción de algas de alto consumo de oxígeno, esto provoca el cambio en la coloración de las aguas a un tono rojizo de alta acidez con el consecuente deterioro en la calidad de las aguas.

Es de mucha importancia el embalse para el valle de Moquegua e Ilo como fuente de oferta de agua para el uso poblacional, industrial, afianzamiento de riego y ampliación de la frontera agrícola en los valles mencionados.

La cuantificación del volumen de sedimentos depositados en el lecho del embalse en la actualidad nos permitirá conocer su magnitud y su relación con el volumen útil considerado.



*Figura 1.* Embalse y Presa Pasto Grande

Es por ello que surgió la necesidad de realizar esta investigación que permitirá mejorar la gestión operativa del embalse y la toma de decisiones que correspondan. Este documento técnico de investigación, consta de cinco capítulos dispuestos de la siguiente manera:

Capítulo I. Planteamiento de la investigación, donde se explica el propósito de esta investigación, con la descripción de la realidad del problema, definición del problema, objetivo, justificación, alcances y limitaciones, variables e hipótesis de la investigación.

Capítulo II. Marco teórico, que contiene la recolección de información referente a los antecedentes de la investigación y bases teóricas cuya función es describir, en base a información existente y definición de términos.

Capítulo III. Método, donde se incorporan el tipo y diseño de investigación, población y muestra y la descripción de instrumentos de recolección de datos.

Capítulo IV. Análisis e interpretación de resultados, donde se realiza la presentación de resultados, contrastación de hipótesis y discusión de resultados.

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones, donde se presentan de manera concreta las conclusiones del estudio y sus recomendaciones para investigaciones futuras.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1 Descripción de la realidad del problema**

El embalse y presa Pasto Grande, ubicado en la parte alto andina de la Región Moquegua en el sur del Perú, fue construido en el año 1989 por el gobierno peruano con la finalidad de abastecer de agua para uso poblacional, riego, energía y ampliación de frontera agrícola en el valle de Moquegua e Ilo, para lo cual se logró embalsar las aguas del río Vizcachas que es un tributario del río Tambo, formándose un embalse de 200 millones de metros cúbicos (MMC) y de 4 000 Has de espejo de agua. Como es de entender este sistema tiene más 30 años de operación y está presentado problemas de índole operativo y de mantenimiento como es el deterioro de las obras civiles de control, derivación, de paso, vial, etc. así como también de sedimentación en el embalse. Este último problema no se ha abordado aun en los trabajos de operación y mantenimiento del sistema hidráulico y actualmente es un problema latente que se debe abordar con alternativas que permitan el control de los sedimentos en los ríos afluentes al embalse; por ello es importante calcular el volumen de sedimentos que transportan los afluentes y relacionarlos con la capacidad volumétrica del embalse para la toma de decisiones para su operación y mantenimiento.

## **1.2 Definición del problema**

### **1.2.1 Problema general.**

¿Cuál es la relación que existe entre la pérdida de la capacidad volumétrica y el transporte de sedimentos del embalse de Pasto Grande en la Provincia de Mariscal Nieto, Región Moquegua, 2021?

### **1.2.2 Problemas específicos.**

¿Cuál es la relación que existe entre la pérdida de la capacidad volumétrica y el transporte de sedimentos derivadas del sistema hidrográfico del embalse Pasto Grande en la Provincia de Mariscal Nieto, Región Moquegua, 2021?

¿Cuál es la relación que existe entre la pérdida de la capacidad volumétrica del embalse y las condiciones bióticas que se presenta a causa de los sedimentos acumulados en el embalse Pasto Grande en la Provincia de Mariscal Nieto, Región Moquegua, 2021?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general.**

Determinar la relación que existe entre la pérdida de la capacidad volumétrica y el transporte de sedimentos en el embalse Pasto Grande en la Provincia de Mariscal Nieto, Región Moquegua, 2021.

### **1.3.2 Objetivos específicos.**

Determinar la relación que existe entre la pérdida de la capacidad volumétrica y el transporte de sedimentos derivadas del sistema tributario de los ríos que ingresan al



embalse al Pasto Grande en la Provincia de Mariscal Nieto, Región Moquegua, 2021.

Cuantificar los volúmenes de sedimentos que ingresan anualmente al embalse y su relación con la pérdida de capacidad volumétrica del mismo, así como la determinación de una relación de evolución temporal de los sedimentos acumulados al presente y al futuro en el embalse de Pasto Grande en la Provincia de Mariscal Nieto, Región Moquegua, 2021.

#### **1.4 Justificación**

Esta investigación es debido a la importancia que tiene el embalse para el valle de Moquegua e Ilo como fuente de oferta de agua que sirve para el uso poblacional, industrial, afianzamiento de riego y ampliación de la frontera agrícola en los valles mencionados. La cuantificación de los sedimentos acumulados en el embalse nos permitirá tener conocimiento de la magnitud de este y su relación con la capacidad volumétrica; esto nos permitirá la toma de decisiones para efectuar trabajos de operación y mantenimiento para mantener la operatividad del embalse en condiciones favorables.

La presente investigación nos proporcionará información del embalse para la toma de decisiones más convenientes en cuanto a su operación y mantenimiento. Se aplicarán metodología de formato de campo para la toma de información que son requeridos en la presente investigación.

Esta investigación es relevante debido a la importancia que tiene el embalse para el valle de Moquegua e Ilo como fuente de oferta hídrica.

## 1.5 Alcances y limitaciones

Con la presente investigación se pretende dejar un precedente técnico en la metodología del cálculo de transporte de sedimentos en los ríos altioplánicos de esta zona sur del país y su relación con los embalses, analizar la variación del volumen útil del embalse y ver su comportamiento actual e inferir en el futuro, determinar las medidas a tomar para contrarrestar este fenómeno natural para no disminuir la capacidad volumétrica.

Las limitaciones para la investigación es la escasa información hidrológica y de suelos, las condiciones climáticas y de acceso a la zona.

## 1.6 Variables

Variable independiente: Transporte de sedimentos.

Variable dependiente: Capacidad volumétrica.

### 1.6.1 Operacionalización de variables.

**Tabla 1**

*Matriz de operacionalización de Variables*

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad medida	de	Instrumento de medición	de
VD Capacidad Volumétrica	Estructuras hidráulicas de control	Parámetros climáticos	Informes		Normas técnicas	
		Estudios de suelos	Informes		Normas técnicas	
		Estudios hidrológicos	Precipitaciones		Pluviómetro	
VI Transporte de sedimentos	Transporte rutinario Transporte teórico	Estudios ambientales	Informes		Normas técnicas	
		Volumen	Toneladas /año		Especificaciones técnicas	
		Volumen	Toneladas /año		Especificaciones técnicas	

## **1.7 Hipótesis de la investigación**

### **1.7.1 Hipótesis general.**

Existe relación significativa entre la pérdida de la capacidad volumétrica y el transporte de sedimentos de los ríos tributarios al embalse Pasto Grande en la Provincia de Mariscal Nieto, Región Moquegua, 2021.

### **1.7.2 Hipótesis específicas.**

Existe relación significativa entre la pérdida de la capacidad volumétrica y el transporte de sedimentos derivadas del sistema hidrográfico del embalse Pasto Grande en la Provincia de Mariscal Nieto, Región Moquegua, 2021.

Existe relación significativa entre la pérdida de capacidad volumétrica por acumulación de sedimentos calculados empíricamente (Meyer-Peter – Muller) y el obtenido mediante métodos batimétricos en el embalse Pasto Grande, Provincia de Mariscal Nieto, Región Moquegua, 2021.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**

El embalse Pasto Grande se encuentra ubicado en la jurisdicción del distrito de Carumas, Provincia de Mariscal Nieto, Región Moquegua a una altitud de 4250 m.s.n.m , tiene una capacidad de 200 millones de m<sup>3</sup> ( MMC) y un espejo de agua de 4,000 Has, se formó a raíz de la construcción de la presa del mismo nombre en el río Vizcachas que es un río tributario del río Tambo; la presa fue terminada de construir el año 1989 y es a partir de este año que se inicia la acumulación de sedimentos en el embalse producto del acarreo de sedimentos de los ríos afluentes al embalse; estos afluentes principales son el Millojahuira, Antajarane, Patara y Tocco; existen además pequeñas quebradas que aportan sedimentos en una cantidad no significativa.

El volumen muerto de diseño para la presa se estimó en cinco (05) millones de m<sup>3</sup> para un periodo de vida útil de 50 años; el año 2012 se realizó un Estudio Batimétrico del embalse a cargo de la Consultora INGECON SAC / H&O donde se estimó el volumen muerto en 8,367 MMC, habiendo superado el volumen muerto

de diseño. A la fecha no existe un cálculo reciente que estime la cantidad de sedimentos depositados en el embalse.



Figura 2. Ubicación Embalse Pasto Grande-Moquegua



Figura 3. Afluentes del embalse Pasto Grande



Figura 4. Embalse y presa Pasto Grande-Moquegua



*Figura 5.* Estructuras de control de afluente – muros de encauzamiento

Hecha la revisión de la información relacionada con el tema de investigación se tiene:

Arias (2006) en su texto *El Proyecto de Investigación, Introducción a la Metodología Científica* menciona que la investigación científica es un proceso metódico y sistemático dirigido a la solución de los problemas o preguntas científicas mediante la producción de nuevos conocimientos los cuales constituyen la solución o respuesta a las interrogantes planteadas.

Borja (2016) en su texto menciona que el método científico es el conjunto de estrategias y procedimientos metódicamente secuenciales que tiene como objetivo la comprobación empírica de un planteamiento que permitirá la interpretación de la realidad, sin embargo, sus conclusiones no pueden tomarse como una verdad absoluta.

Ccorahua (2021) en su tesis de investigación plantean la necesidad de estimar el transporte total de sedimentos del río Torata hacia el embalse del mismo

nombre. Esto llevó a realizar un análisis de toda la información histórica registrada de: caudales de ingreso al embalse y descargas de la misma en el periodo 2001-2016, monitoreo de sedimentos de suspensión, muestreo de sedimentos depositados en el río y cola del embalse en los años 2015 y 2016 y batimetrías del embalse Torata desde el inicio de operaciones. Existe gran cantidad de fórmulas empíricas y entre las seleccionadas están: Ackers & White, Engelund & Hansen modificado para materiales no uniformes y Yang. Los mayores porcentajes de variación se obtuvieron con Ackers & White seguido de Engelund & Hansen y el que obtuvo menores porcentajes fue la de Yang. En el presente trabajo al utilizar el método de las fórmulas empíricas con respecto a la variación del volumen de sedimentos estimados por batimetría se obtuvieron resultados entre 15.5% y 53.7% para el método Ackers & White, entre 16.8% y 41.9% para el método Engelund & Hansen modificado para materiales no uniformes, 2.4% y 42% para el método Yang observando una variación porcentual del 16.4% al 34% entre las metodologías empleadas.

Consorcio INGECOM S.A.C. y H & O Ingenieros (2012) en el estudio realizado para la batimetría del embalse Pasto Grande ubicado en la región Moquegua, ha identificado zonas de depósito de sedimentos en el lecho del embalse, calculando sus potencias y el volumen de sedimentos acumulados que han aportado los ríos afluentes a la fecha del estudio.

DRAGATEC S.A. compañía chilena especializada en dragados de sedimentos que se han producido por la actividad humana y natural, menciona que los sedimentos constituyen un problema en la capacidad operacional de los sistemas



de almacenamiento y que es necesario revertir este fenómeno para evitar problemas económicos y sociales.

Guerrero (2019) en su tesis de maestría realizan una modelación de transporte de sedimentos durante el proceso de remoción hidráulica en el reservorio Poechos. Esta tesis tiene como objetivo estudiar esta posibilidad, utilizando su cauce natural, además de proponer la apertura de un cauce artificial para aumentar el proceso de limpieza. Para ello, se utilizó el modelo numérico bidimensional open Telemac-Mascaret, con el fin de estudiar el comportamiento hidrodinámico y sedimentológico, tanto en el cauce natural como en un cauce artificial. Los ensayos se realizaron para los caudales de 600, 900 y 1 200 m<sup>3</sup>/s, considerando los niveles de operación de 90 m OLSA y bajo las condiciones de nivel para compuertas totalmente abiertas que, en un tiempo de 14 días, demostraron que presenta un mayor arrastre.

Hernández, Fernández y Baptista (2014) en el texto Metodología de la Investigación Científica menciona que las investigaciones se originan en ideas y que estas constituyen el primer acercamiento a la realidad que habrá que investigarse, se abordan diferentes temas de la vida cotidiana constituyendo la investigación un tema social y científico.

LAGESA S.A. (1994) la consultora fue la primera en realizar la batimetría del embalse Pasto Grande, donde se determinó los volúmenes de sedimentos en el lecho del mismo, así como se determinó las curvas altura/volumen y altura/área, constituyendo estos estudios como un punto referencial para la operación y control del embalse.

La Universidad Austral de Chile (2006) menciona que se han realizado los estudios de obras transversales al eje de las corrientes de agua como un medio de control dinámico de las mismas con el fin de evitar la erosión de las cuencas y consecuentemente controlar los sedimentos acarreados por los ríos.

Vásquez (2016) en su tesis de grado menciona que la represa Gallito Ciego, ubicada en la Región Lambayeque está sufriendo una colmatación acelerada de sedimentos debido a la inestabilidad de las vertientes de los ríos tributarios que desembocan en el río Jequetepeque, y que para remediar este fenómeno se aplicaron técnicas de dragado e hidrosucción.

Velásquez (2016) menciona en su tesis de grado que varias presas del país se han visto afectados por causa de la sedimentación de sus afluentes tributarios y concentra su estudio en la futura presa Palo Redondo con el fin de sugerir medidas de mitigación que amortigüen o disminuyan la colmatación.

Vergara y Quesada (2007) presenta un texto básico importante de estadística para la investigación científica basado en Excel, un software de alcance de cualquier institución o persona de fácil manejo, constituyendo esta información una herramienta para la gestión de procesos estadísticos a cualquier nivel.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Transporte de sedimentos.**

Sarango (2013) en su tesis de grado Calibración de una ecuación para el transporte de sedimentos en la Cuenca El Limón, en el Río Zamora, menciona que el fenómeno del transporte de sedimentos presenta complejidad que responde a dos factores, el primero que se refiere a las características de la cuenca o sub cuenca que indican la

cantidad, naturaleza y propiedades físicas de los materiales a disposición en el transporte y el segundo a las avenidas del río o quebrada que determinan la capacidad del sistema hidráulico para transportar los materiales sólidos. Estos factores complejos hacen que la problemática del transporte de sedimentos no pueda resolverse con la simple aplicación de la Mecánica de los Fluidos.

La presencia de partículas en el flujo altera el comportamiento hidráulico muchas veces motivado por la presencia de elementos artificiales que hacen que se rompa el equilibrio del flujo.

Los sedimentos que transporta una corriente de agua o en este caso los afluentes del Embalse Pasto Grande son consecuencia natural de la degradación del suelo, puesto que el material procedente de la erosión llega a las corrientes a través de tributarios menores, por la capacidad que tiene la corriente de agua para transportar sólidos, también por movimientos en masa, o sea, desprendimientos, deslizamientos y otros.

En un punto cualquiera del río o quebrada, el material que viene de aguas arriba puede seguir siendo arrastrado por la corriente y cuando no hay suficiente capacidad de transporte este se acumula dando lugar a los llamados depósitos de sedimentos, como es el caso cuando este material de transporte encuentra en su paso una estructura en su camino como es la Presa Pasto Grande.

Las escorrentías generan y forman sus propios cauces, cuando los sedimentos transportados y la capacidad de transporte llegan a una estabilidad dinámica llegan a un equilibrio. Si un tramo del río consigue ese equilibrio, se dice que el cauce ha obtenido su perfil de equilibrio. Es también aceptable que existan

tramos o sectores del cauce del río que hayan logrado su equilibrio, aunque estén distanciados por tramos que no lo hayan logrado.

Hay elementos y partículas que pueden introducirse dentro del flujo las que modifican el comportamiento hidráulico. Puede decirse que los materiales que forman el sedimento están conformados por las dunas, las rizaduras o superficies planas, esto depende del proceso de transporte.

Al momento que se produce el arranque que el agua ejerce en el lecho que está formado por sedimentos es fuerte como para remover la capa de partículas, estas no se desprenden inmediatamente, sino que adquieren un estado de equilibrio luego que se ponen en movimiento las primeras capas comprometidas. Las partículas participantes adicionan una nueva fuerza, normal al lecho, que mantiene los materiales del lecho expuestas contra los esfuerzos que se generan por el conjunto de agua y sedimentos.

Es importante el estudio de las clases de fondo, para determinar la rugosidad, transporte de materiales, parámetros de flujo, la socavación y la sedimentación.

### **2.2.2 Teoría del transporte de sedimentos.**

#### *a. Clasificación de los sedimentos.*

La carga total de sedimentos que transporta una corriente natural es la suma de tres componentes que son:

Transporte de fondo, transporte en suspensión y transporte en saltación

#### *b. Procesos erosivos en la cuenca.*

La cuenca vertiente contribuye con sedimentos a la carga total de una corriente natural de dos formas:

- *Remoción en masa.*

Se refiere al fenómeno que produce deslizamientos de masas de elementos sólidos presentes en sitios inestables. Esta inestabilidad se produce debido a fenómenos geotécnicos relacionados con las pendientes de los taludes, el manejo inapropiado del suelo, explotación de material como canteras en cabecera de cuenca, la tala de árboles y la acumulación de agua de lluvia en los suelos.

El material solido durante algún tiempo permanece en un equilibrio incipiente en las zonas inestables, pero con la sola presencia de un factor detonante se produce el deslizamiento. El factor perturbador puede ser un movimiento sísmico, una avenida extraordinaria, lluvias intensas o el colapso del soporte en el pie del talud.

Al producirse el deslizamiento sobre una de las márgenes de una corriente natural el material deslizado se deposita sobre el lecho interrumpiendo el paso libre del agua, pero después de cierto tiempo el mismo caudal de agua es el que transporta los sedimentos hacia aguas abajo, una parte como carga de fondo y otra parte en forma de suspensión. Si los deslizamientos se producen fuera de las corrientes de agua, entonces solo una parte del material transportado llega a las corrientes por erosión hídrica.

- *La erosión hídrica.*

Este fenómeno se produce cuando la precipitación que cae sobre la tierra tiene la capacidad de remover partículas del suelo, con la energía suficiente para dejarlas

libres y puedan ser transportadas por el escurrimiento superficial hacia las corrientes de drenaje.

Actualmente la erosión hídrica es medida en magnitud mediante la pérdida de suelo. Este parámetro es un índice medio anual del potencial erosivo de la cuenca; es estimada mediante fórmulas semi empíricas y se expresa en milímetros por año (mm/año).

Los resultados de estudios semi empíricos existentes sobre la erosión hídrica refieren que solamente una pequeña cantidad de la pérdida de suelo llega hasta la corriente y puede formar parte de la carga en suspensión.

Los factores que actúan en la generación de la pérdida de suelo en una cuenca son los siguientes:

La lluvia, es el principal agente e inicia la erosión, Su efecto tiene que ver con su distribución temporal y espacial sobre la cuenca o sub cuenca; para determinar su magnitud es necesario analizar las precipitaciones de corta duración, su recurrencia y la influencia sobre el área de la cuenca.

La morfología del área vertiente, las características morfológicas de las áreas consideradas erosionables, la distancia de recorrido de la escorrentía y la pendiente.

El suelo, mediante la textura y la estructura que tiene el suelo en el momento que se producen las lluvias.

La vegetación, es un elemento muy importante en el transporte y generación de la erosión pluvial, sobre todo en la época inicial de la lluvia. Depende del tipo de planta o vegetación y su relación con su cobertura vegetal.

*c. Capacidad de las Corrientes Naturales para Transportar Sedimentos.*

Los procedimientos para calcular la capacidad de las corrientes naturales para transportar los sedimentos de fondo y en suspensión son: el método analítico utilizando formulaciones empíricas y el otro utilizando mediciones con aparatos normalizados.

El método de las fórmulas empíricas permite estimar las capacidades de transporte si se tuvieran sedimentos disponibles suficientes, se tienen limitaciones debido a que estas fórmulas son planteadas en condiciones de laboratorio. Analíticamente las fórmulas empíricas para cálculo de carga de fondo han tenido un desarrollo más completo que las de sedimentos en suspensión.

Por otro lado, los medidores normalizados de sedimentos para realizar aforos sólidos son muy utilizados y su confiabilidad es aceptada para obtener información adecuada en hidrometría.

*d. Análisis de la Carga en Suspensión.*

Como los materiales en suspensión son alimentados por la erosión pluvial en la cuenca, un problema está en calcular el volumen de sedimentos que son transportados efectivamente y qué pasa con los materiales que no son acarreados.

Un río tiene la capacidad para transportar sedimentos en suspensión que depende de las fuerzas que se generan como componentes verticales de la velocidad

del flujo. Estas fuerzas de sustentación que depende de la magnitud de la velocidad de flujo y, por ende, del caudal. Cuando la componente vertical que sostiene una partícula de sedimento es mayor que el peso de la partícula, esta se mantiene en suspensión; así, el caudal selecciona las partículas que el río puede transportar, tanto en número como en tamaño.

*e. Cálculo del transporte de sedimentos.*

Desde el punto de vista de la fuente de sedimentos, el transporte de sedimentos se puede dividir en transporte en suspensión que comprende el material muy fino y se transporta efectivamente en suspensión y el transporte de fondo, que comprende el material que se transporta por el fondo cerca al lecho del río; todo es dependiendo de los tamaños de sedimentos que acarrea el río o flujo de agua.

Para determinar el transporte de sedimentos, la información que se requiere es del tipo granulométrico del material del lecho del cauce (diámetros y dimensiones de las partículas) y, del tipo hidráulico, a través de las características del flujo.

Por medio del muestreo se obtiene información de tipo granulométrico que proporciona las características del material del fondo (curva granulométrica). Para poder calcular el Transporte en suspensión se requiere realizar la medición de la concentración de sedimentos en suspensión mediante muestreadores acondicionados para tal fin.

Las propiedades del sedimento y del transporte del mismo son: el tamaño del sedimento, su forma, densidad, velocidad de sedimentación, porosidad y concentración. El movimiento incipiente del sedimento si es un fondo plano se



estima mediante la teoría de tensión de corte de Shields, considerando que su evaluación es menos precisa cuando se producen formas de lecho. Los trabajos investigativos del transporte de sedimentos se vienen efectuando durante muchos años sin todavía obtener una formulación satisfactoria que relacione adecuadamente las propiedades del sedimento y del fluido.

Esto es debido a lo complejo del problema, donde se incluyen los efectos de las diferentes y variadas formas del lecho sobre la magnitud del transporte de fondo del lecho, la naturaleza estocástica de los problemas y la dificultad de realizar las investigaciones en laboratorio mediante modelos. Sin embargo, se vienen realizando avances importantes. La mayor parte de las aproximaciones utilizadas se pueden reducir a una correlación entre el parámetro del transporte de sedimentos  $\Phi$  y un parámetro de flujo  $\Psi$ .

Las fórmulas empíricas que calculan la carga de fondo arrojan unos resultados que representan la capacidad de transporte de un determinado acarreo; pero ese no es su transporte real.

Para que la *capacidad de transporte* y el *transporte real*, sean coincidentes el material debe estar disponible en el lecho.

Todas las formulaciones de transporte de fondo, es decir la carga de fondo, corresponden a uno de los siguientes tipos:

- 1) Ecuaciones de *tipo Du Boys*, que consideran una relación de las descargas sólidas con los esfuerzos cortantes.
- 2) Ecuaciones de *tipo Schoklitsch y de Meyer – Peter - Muller*, que establecen una relación de descargas sólidas con los caudales de avenida.

3) Ecuaciones de *tipo Einstein*, basadas en consideraciones estadísticas.

En particular para el caso de transportes de sólidos en los afluentes del embalse Pasto Grande, la fórmula de Meyer – Peter – Muller es recomendable debido principalmente porque se ajusta a las condiciones hidrológicas, topográficas, geomorfológicas y de la información existente en la zona. Cabe señalar que la fórmula de Meyer – Peter – Müller es una de las más empleadas en Hidráulica Fluvial; se le utiliza por su simplicidad y se le aplica generalmente en el caso de torrentes, debe también mencionarse que la fórmula proporciona la máxima cantidad de sólidos que puede arrastrar el torrente, es decir su máxima capacidad de transporte, el gasto sólido real puede ser en principio, menor, esto depende fundamentalmente de la disponibilidad de sólidos en el cauce.

Método de Meyer–Peter–Müller.....[Ecuación 1]

$$S_f = 8 (D)^{1,5} (g \Delta)^{0,5} (\mu d I / \Delta D - 0.047)^{1,5}$$

$S_f$  = Caudal sólido (m<sup>3</sup>/seg)

Donde:

$d$  = Radio hidráulico sección de control de río

$I$  = Pendiente promedio del río

$D$  =  $D_{50}$  (mm)

$\Delta$  = Densidad relativa de las partículas sumergidas (1,65)

$g$  = Aceleración de la gravedad (9,81 m/seg<sup>2</sup>)

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

#### **3.1 Tipo de investigación**

La presente investigación según la naturaleza de los datos es cuantitativa, descriptiva y según la temporalidad es transversal, se plantea la presente investigación para analizar el problema de la capacidad volumétrica reducida aparentemente por el transporte de sedimentos y otros factores como la inexistencia de las estructuras hidráulicas de control en el embalse de la presa Pasto Grande, región Moquegua.

#### **3.2 Diseño de la investigación**

Se adopta un diseño descriptivo correlacional, ya que permite relacionar la variable independiente (transporte de sedimentos) para verificar su efecto y relación en la variable dependiente (capacidad volumétrica).

#### **3.3 Población y muestra**

##### **3.3.1 Población.**

Se considera población del presente trabajo de investigación el embalse del Proyecto Especial Regional Pasto Grande (PERPG) perteneciente al Gobierno Regional de Moquegua.

### **3.3.2 Muestra.**

Por la naturaleza de la investigación y los objetivos planteados se considera la muestra a la misma población, con sus respectivos tributarios puesto que el análisis se realiza al mismo elemento representativo.

### **3.4 Descripción de instrumentos para recolección de datos**

La técnica de recolección de datos es mediante la observación en campo que es donde se presentan los aspectos a investigar lo cual nos permitirá entrar en contacto con el hecho o fenómenos a evaluar para recolectar datos a través de observaciones realizadas anteriormente, así como con información histórica existente, fotografías, etc. relacionadas con la investigación.

Se utilizará estadística de tipo descriptiva o deductiva ya que es una técnica con la cual se puede recopilar, ordenar y permite presentar de manera resumida y organizada los datos numéricos obtenidos de un estudio en particular, para resumir de forma numérica o gráfica un conjunto de datos. Si aplicamos las herramientas ofrecidas por la estadística descriptiva a una muestra, solo nos limitaremos a describir los datos encontrados en dicha muestra. (Vergara & Quesada, 2007, p.15).

### **3.5 Puntos de muestreo en afluentes de la presa Pasto Grande**

En la Figura 6 se puede apreciar los puntos de muestreo en los afluentes del embalse; en particular son cuatro (04) puntos donde se ha obtenido la información de sedimentos que nos servirán para los cálculos de transporte de sedimentos.

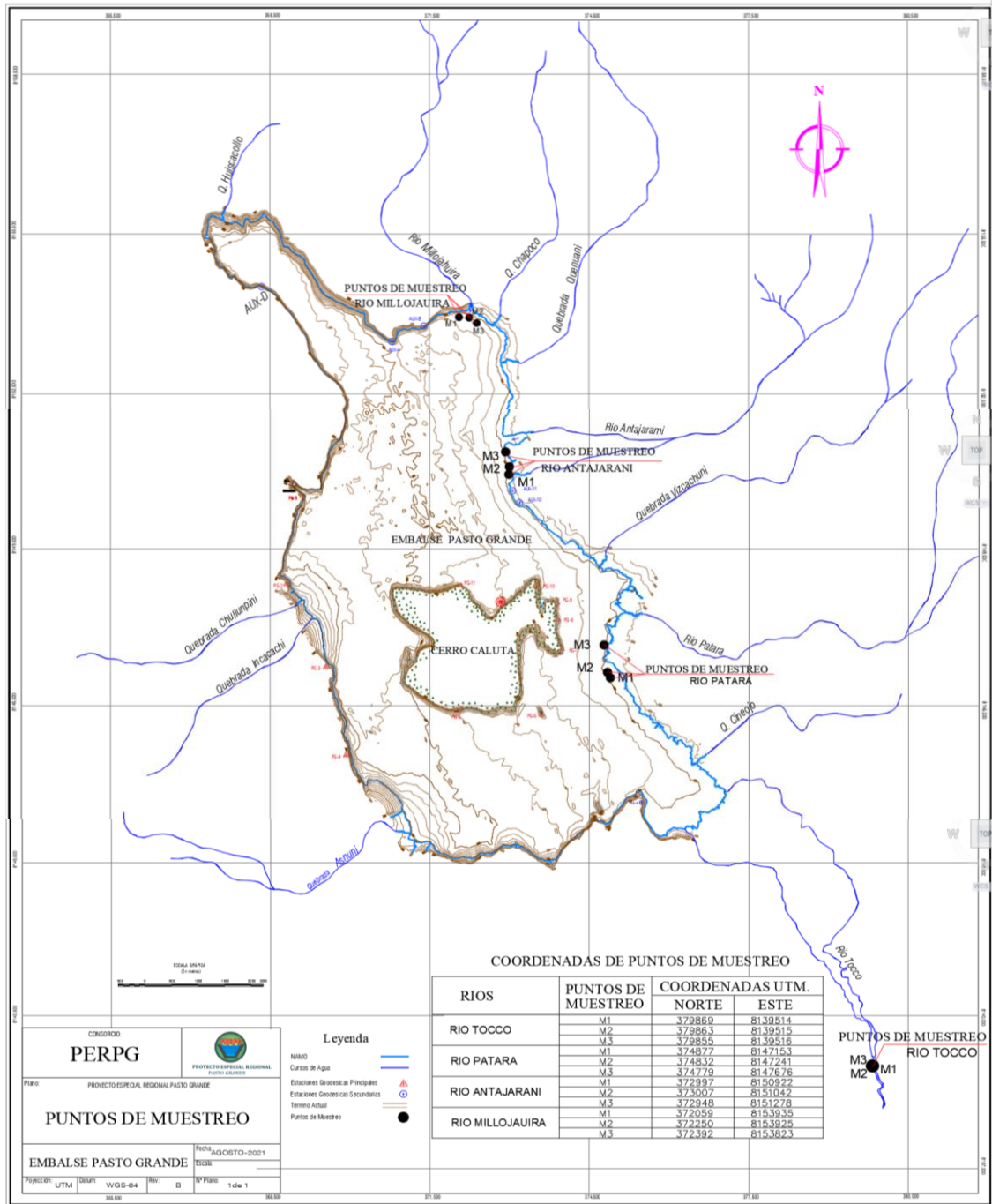


Figura 6. Puntos de muestreo en el embalse

### 3.5.1 Río Millojauira.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis granulométrico de las tres muestras, tomamos una de ellas para su interpretación y se tiene lo siguiente:

- Gravas 1,70 % (con diámetro promedio de 3/4 “)

- Arenas 56,74 % (gruesas 0,28, media 1.,3 y fina 54,23)
- Finos 41,96 % (limos y arcillas)



*Figura 7.* Muestreo de sedimentos en dirección del río Millojahuirá



*Figura 8.* Obtención de muestras río Millojahuirá



*Figura 9.* Recibiendo las muestras río Millojahuira

La granulometría obtenida corrobora los patrones de transporte de sedimentos en el embalse ubicados en cabecera de cuenca, en la que se evidencia que la presencia de material grueso es mínima, por el contrario, el material entre arenas y finos alcanza casi el 98 %, con mayor presencia de arenas, lo cual es coherente.

### **3.5.2 Río Antajarane.**

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis granulométrico de las tres muestras, tomamos una de ellas para su interpretación y se tiene lo siguiente:

- Gravas 5,6 % (con diámetro promedio de 3/8 “)
- Arenas 70,17 % (gruesas 10,30, media 23,29 y fina 36,50)
- Finos 24,24 % (limos y arcillas)

La granulometría obtenida corrobora los patrones de transporte de sedimentos en embalses ubicados en cabecera de cuenca, en la que se evidencia que la presencia

de material grueso es mínima, por el contrario, el material entre arenas y finos alcanza casi el 95 %, con mayor presencia de arenas, lo cual es coherente.

### **3.5.3 Río Patara.**

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis granulométrico de las tres muestras, tomamos una de ellas para su interpretación y se tiene lo siguiente:

- Gravas 3,04 % (con diámetro promedio de 1/2 “)
- Arenas 61,71 % (gruesas 4,27 , media 10,46 y fina 46,98)
- Finos 35,25 % (limos y arcillas)

La granulometría obtenida corrobora los patrones de transporte de sedimentos en embalses ubicados en cabecera de cuenca, en la que se evidencia que la presencia de material grueso es mínima, por el contrario, el material entre arenas y finos alcanza casi el 97 %, con mayor presencia de arenas, lo cual es coherente.

### **3.5.4 Río Tocco.**

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis granulométrico de las tres muestras, tomamos una de ellas para su interpretación y se tiene lo siguiente:

- Gravas 6,99 % (con diámetro promedio de 1/2 “)
- Arenas 90,26 % (gruesas 48,86, media 36,13 y fina 5,27)
- Finos 2,75 % (limos y arcillas)





Figura 10. Muestreando en río Tocco

La granulometría obtenida corrobora los patrones de transporte de sedimentos en embalses ubicados en cabecera de cuenca, en la que se evidencia que la presencia de material grueso es mínima, por el contrario, el material entre arenas y finos alcanza casi el 93 %, con mayor presencia de arenas, lo cual es coherente.

### 3.6 Ecuación para cálculo de transporte de sedimentos en embalse Pasto

#### Grande

I) Método de Meyer – Peter – Müller

$$S_f = 8 (D)^{1,5} (g \Delta)^{0,5} (\mu d I / \Delta D - 0,047)^{1,5} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$S_f$  = Transporte de Fondo ( $\text{m}^3/\text{seg}$ )

Donde:

$$\mu = (C/C')$$

$d$  = Radio Hidráulico

$I$  = Pendiente promedio del río (%)

$$D = D_{50} \text{ ( mm)}$$

$$\Delta = \text{Densidad Relativa de partículas sumergidas} : 1,65$$

$$C = \text{Coeficiente de Chezy}$$

$$C' = \text{Coeficiente en función de } D_{90}$$

$$g = \text{Aceleración de la gravedad ( m/seg}^2\text{)}$$

### 3.6.1 Cálculo de transporte de sedimentos de afluentes al embalse Pasto

#### Grande.

#### 3.6.1.1 Río Millojahuira.

**Tabla 2**

*Parámetros hidrológicos e hidráulicos en río Millojahuira*

Coordenadas UTM	A (m <sup>2</sup> )	V(m/s)	RH (m)	B(m)	I (%)	Q(m <sup>3</sup> /s)
0372122 E	1,05	1,2	0,4	3,4	0,025	1,26
8154397 N						

**Tabla 3**

*Mecánica de suelos río Millojahuira*

Sección de Aforo	Ubicación	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>90</sub> (mm)
M-1	0372122 E 8154397 N	0,090	0,280

**Tabla 4**

*Parámetros transporte de fondo: Meyer – Peter – Muller*

Sección de Aforo	Coordenadas UTM	C (m <sup>1/2</sup> /s)	C'	μ	Δ
M-1	0372122 E 8154397 N	12,0	101,098	0,040	1,65

### Cálculo de transporte de fondo ( Sf )

$$Sf = 8 ( D_{50} )^{1,5} (g \Delta)^{0,5} (\mu d I / \Delta D_{50} - 0,047)^{1,5} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$D m = D_{50} = 0,090 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Delta = 1,65$$

Calculo C de Chezy

$$C = V / ( d I )^{0,5} = 1,20 \text{ m/seg} / ( 0,40 \times 0,025 )^{0,5} = 12,0 \text{ m}^{1/2} / \text{seg}$$

$$C' = 26 / (D_{90})^{1/6} = 26 / (0,280 \times 10^{-3})^{0,167} = 101,098$$

$$\mu = ( C / C' )^{1,5} = ( 12,0 / 101,098 )^{1,5} = 0,040$$

$$Sf = 8 \times ( 0,090 \times 10^{-3} )^{1,5} ( 9,81 \times 1,65 )^{0,5} \times 3,40 \left( (0,040 \times 0,40 \times 0,025 / 1,65 \times 0,090 \times 10^{-3}) - 0,047 \right)^{1,5} =$$

$$0,00040 \text{ m}^3/\text{seg} = 403 \ 660,80 \text{ m}^3 \text{ ( periodo 32 años )}$$

$$Sf = 0,00040 \times 2,65 \text{ Tn/m}^3 \times 3 \ 600 \text{ seg} / 1 \text{ hr} \times 24 \text{ hr/día} = 91,584 \text{ TN} / \text{ día}$$

$$Sf = 91,584 \text{ Tn/Día} \times 30 \text{ Días/Mes} \times 4 \text{ meses} = 10 \ 990,08 \text{ Tn} / \text{ Año.}$$

$$Sf = 10 \ 990,08 \text{ Tn} / \text{ Año}$$

### Tabla 5

*Transporte de fondo río Millojahuira*

Ubicación	Meyer-Peter-Muller Sf ( Tn / Año)
0372122 E 8154397 N	10 990,08

En la tabla 5 se puede apreciar el resultado del cálculo de transporte de sedimentos por el método Meyer-Peter- Muller, siendo este 10 990,08 Tn/Año, que es a su vez la máxima capacidad de transporte del río Millojahuira.

### 3.6.1.2 Río Antajarane.

**Tabla 6**

*Parámetros hidrológicos e hidráulicos en río Antajarane*

Coordenadas UTM	A (m <sup>2</sup> )	V(m/s)	RH((m)	B(m)	I (%)	Q(m <sup>3</sup> /s)
0375151 E 8151576 N	1.449	1,45	0,426	4,30	0,025	2,10

**Tabla 7**

*Mecánica de suelos río Antajarane*

Sección de Aforo	Progresiva	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>90</sub> (mm)
A - 1	0375151 E 8151576 N	0,300	3,200

**Tabla 8**

*Parámetros de transporte de fondo: Meyer – Peter – Muller*

Sección de Aforo	Coordenadas UTM	C (m <sup>1/2</sup> /s)	C'	μ	Δ
A - 1	0375151 E 8151576 N	13,80	67,471	0,092	1,65

#### **Cálculo de transporte de fondo ( Sf )**

$$Sf = 8 ( D_{50} )^{1,5} (g A)^{0,5} ( \mu d I / \Delta D_{50} - 0.047 )^{1,5} \quad (Tn/Día)$$

$$D_m = D_{50} = 0,300 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Delta = 1,65$$

Calculo C de Chezy

$$C = V / ( dI )^{0,5} = 1,38 \text{ m/seg} / ( 0,426 \times 0,025 )^{0,5} = 13,80 \text{ m}^{1/2} / \text{seg}$$

$$C' = 26 / ( D_{90} )^{1/6} = 26 / ( 3,200 \times 10^{-3} )^{0,167} = 67,471$$

$$\mu = (C / C')^{1,5} = (13,80 / 67,471)^{1,5} = 0,092$$

$$Sf = 8 (D)^{1,5} (g A)^{0,5} (\mu d I / \Delta D - 0,047)^{1,5} Tn / \text{día}$$

$$Sf = 8 \times (0,300 \times 10^{-3})^{1,5} (9,81 \times 1,65)^{0,5} \times 4.30 ((0,092 \times 0,426 \times 0,0250 / 1,65 \times 0,300 \times 10^{-3}) - 0,047)^{1,5}$$

$$Sf = 0,00193 \text{ m}^3 = 1\,947\,663,36 \text{ m}^3 \text{ ( periodo de 32 años )}$$

$$Sf = 0,00193 \text{ m}^3/\text{seg} \times 2,65 \text{ TN}/\text{m}^3 \times 3600 \text{ sag} / 1 \text{ hr.} \times 24 \text{ hr./día} = 441,89 \text{ TN} / \text{Día}$$

$$Sf = 441,89 \text{ Tn} / \text{Día} \times 30 \text{ Días/Mes} \times 04 \text{ meses} = 53\,026,80 \text{ Tn} / \text{Año.}$$

$$Sf = 53\,026,80 \text{ Tn/año}$$

**Tabla 9**

*Transporte de fondo río Antajarane*

Ubicación	Meyer-Peter-Muller Sf ( Tn / Año)
0375151 E 8151576 N	53 026,80

En la tabla 9 se puede apreciar el resultado del cálculo de transporte de sedimentos por el método Meyer-Peter- Muller, siendo este 53 026,80 Tn/Año, que es a su vez la máxima capacidad de transporte del río Antajarane.

### **3.6.1.3 Río Patara.**

**Tabla 10**

*Parámetros hidrológicos e hidráulicos en río Patara*

Coordenadas UTM	A (m <sup>2</sup> )	V(m/s)	RH(m)	B(m)	I (%)	Q(m <sup>3</sup> /s)
0376786 E 8147358 N	3,768	2,39	0,554	5,30	0,048	9,00

**Tabla 11***Mecánica de suelos río Patara*

Sección de Aforo	Progresiva	D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>90</sub> (mm)
P - 1	0376786 E 8147358 N	0,130	1,200

**Tabla 12***Parámetros de transporte de fondo : Meyer – Peter – Muller*

Sección de Aforo	Coordenadas UTM	C (m <sup>1/2</sup> /s)	C'	μ	Δ
P - 1	0375151 E 8151576 N	14,84	80,0	0,079	1,65

**Cálculo de transporte fondo ( Sf ) con la fórmula Meyer-Peter-Muller**

$$Sf = 8 ( D_{50} )^{1,5} (g A)^{0,5} ( \mu d I / \Delta D_{50} - 0,047 )^{1,5} \quad (m^3/seg)$$

$$D_m = D_{50} = 0,130 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$Sf = 8 \times ( 0,130 \times 10^{-3} )^{1,5} ( 9,81 \times 1,65 )^{0,5} \times 5,30 ( (0,079 \times 0,554 \times 0,0966 / 1,65 \times 0,130 \times 10^{-3}) - 0,047 )^{1,5}$$

$$Sf = 0,00769 \text{ m}^3 = 7\,760\,378,88 \text{ m}^3 \quad (\text{Periodo de 32 años})$$

$$Sf = 0,00769 \text{ m}^3/seg \times 2,65 \text{ Tn/m}^3 \times 3\,600 \text{ seg/ 1 hr} \times 24 \text{ hr/día} = 1\,760,70 \text{ Tn / Día}$$

$$Sf = 1\,760,70 \text{ Tn/Día} \times 30 \text{ Días/Mes} \times 04 \text{ meses} = 211\,284,0 \text{ Tn / Año.}$$

$$Sf = 211\,284,0 \text{ Tn / Año}$$

**Tabla 13***Transporte de fondo río Patara*

Ubicación	Meyer-Peter-Muller Sf ( Tn / Año)
0376786 E 8147358 N	211 284,0

En la Tabla 13 se puede apreciar el resultado del cálculo de transporte de sedimentos por el método Meyer-Peter- Muller, siendo este 211 284,0 Tn/Año, que es a su vez la máxima capacidad de transporte del río Patara.

### 3.6.1.4 Río Tocco.

**Tabla 14**

*Parámetros hidrológicos e hidráulicos en río Tocco*

Coordenadas		A (m <sup>2</sup> )	V(m/s)	RH(m)	B(m)	I (%)	Q(m <sup>3</sup> /s)
UTM							
0376786	E	2,36	1,40	0,548	5,20	0,016	3,315
8147358	N						

**Tabla 15**

*Mecánica de Suelos Río Tocco*

Sección de Aforo	Progresiva		D <sub>50</sub> (mm)	D <sub>90</sub> (mm)
Tocco -1	0380059 E	8139821 N	0,480	0,900

**Tabla 16**

*Parámetros de Transporte de Fondo : Meyer – Peter – Muller*

Sección de Aforo	Coordenadas	C (m <sup>1/2</sup> /s)	C'	μ	Δ
	UTM				
Tocco -1	0380059 E 8139821 N	15,73	83,285	0,0815	1,65

### **Cálculo de transporte fondo ( Sf ) con la fórmula Meyer-Peter-Muller**

$$Sf = 8 ( D_{50} )^{1,5} (g A)^{0,5} ( \mu d I / \Delta D_{50} - 0,047 )^{1,5} \quad (m^3/seg)$$

$$D m = D_{50} = 0,480 \times 10^{-3} m$$

$$\Delta = 1,65$$

Calculo C de Chezy

$$C = V / (dI)^{0,5} = 1,40 \text{ m/seg} / (0,548 \times 0,016)^{0,5} = 15,73 \text{ m}^{1/2} / \text{seg}$$

$$C' = 26 / (D_{90})^{1/6} = 26 / (0.900 \times 10^{-3})^{0.167} = 83.285$$

$$\mu = (C / C')^{1,5} = (15.73 / 83.285)^{1,5} = 0.0815$$

$$Sf = 8 \times (0.480 \times 10^{-3})^{1,5} (9,81 \times 1,65)^{0,5} \times 5.20 ((0.0815 \times 0,548 \times 0.016 / 1,65 \times 0.480 \times 10^{-3}) - 0.047)^{1,5}$$

$$Sf = 0,00139 \text{ m}^3/\text{seg} = 1\ 402\ 721,28 \text{ m}^3 \text{ (Periodo de 32 años)}$$

$$Sf = 0,00139 \times 2,65 \text{ Tn/m}^3 \times 3\ 600 \text{ seg} / 1 \text{ hr} \times 24 \text{ hr/día} = 318,25 \text{ Tn} / \text{Dia}$$

$$Sf = 318,25 \text{ Tn/Dia} \times 30 \text{ Días/Mes} \times 04 \text{ meses} = 38\ 190,00 \text{ Tn} / \text{Año}$$

$$Sf = 38\ 190,00 \text{ Tn} / \text{Año.}$$

El transporte de fondo del río Tocco tiene como máximo valor 38,190 Tn/ Año

**Tabla 17**

*Transporte de Fondo Río Tocco*

Ubicación	Meyer-Peter-Muller Sf ( Tn / Año)
0380059 E 8139821 N	38 190,00

En la Tabla 17 se puede apreciar el resultado del cálculo de transporte de sedimentos por el método Meyer-Peter- Muller, siendo este 38 190,00 Tn/Año, que es a su vez la máxima capacidad de transporte del río Tocco.

En la tabla 18 se puede observar el transporte de sedimentos en m<sup>3</sup> del periodo analizado que aportan los cuatro principales ríos afluentes al embalse Pasto Grande.



**Tabla 18***Transporte de fondo total embalse periodo analizado (32 años)*

<b>Río</b>	<b>Volumen ( m3 )</b>
Millojahuira	403 660,80
Antajarane	1 947 663,36
Patara	7 760 378,88
Tocco	1 402 721,28
<b>Total</b>	<b>11 514 424,32</b>

En la tabla 19 se puede ver el transporte de sedimentos de fondo en Tn/Año que aportan cada uno de los principales afluentes al embalse Pasto Grande.

**Tabla 19***Transporte de fondo total embalse*

<b>Río</b>	<b>Volumen (Tn / Año)</b>
Millojahuira	10 990,08
Antajarane	53 026,80
Patara	211 248,00
Tocco	38 190,00
<b>Total</b>	<b>313 490,88</b>

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se analizan e interpretan los resultados obtenidos de la recolección de datos hidrológicos, sedimentológicos e hidráulicos del embalse Pasto Grande.

La labor principal fue la observación, toma de datos en campo y el registro histórico de información hidrológica, sedimentos e hidráulicos. Adicionalmente, se tomó un registro fotográfico de los trabajos realizados.

#### **4.1 Presentación de resultados**

##### **4.1.1 Zonas de acumulación de sedimentos en el embalse.**

El embalse Pasto Grande en la actualidad posee zonas localizadas donde están depositadas los sedimentos durante los años que tiene de construido la presa Pasto Grande, como se puede apreciar en las Figuras 11 y 12, se ha identificado cinco (05) zonas donde existe la mayor presencia de sedimentos depositados con una variación de potencia que se puede apreciar en la Tabla 20.

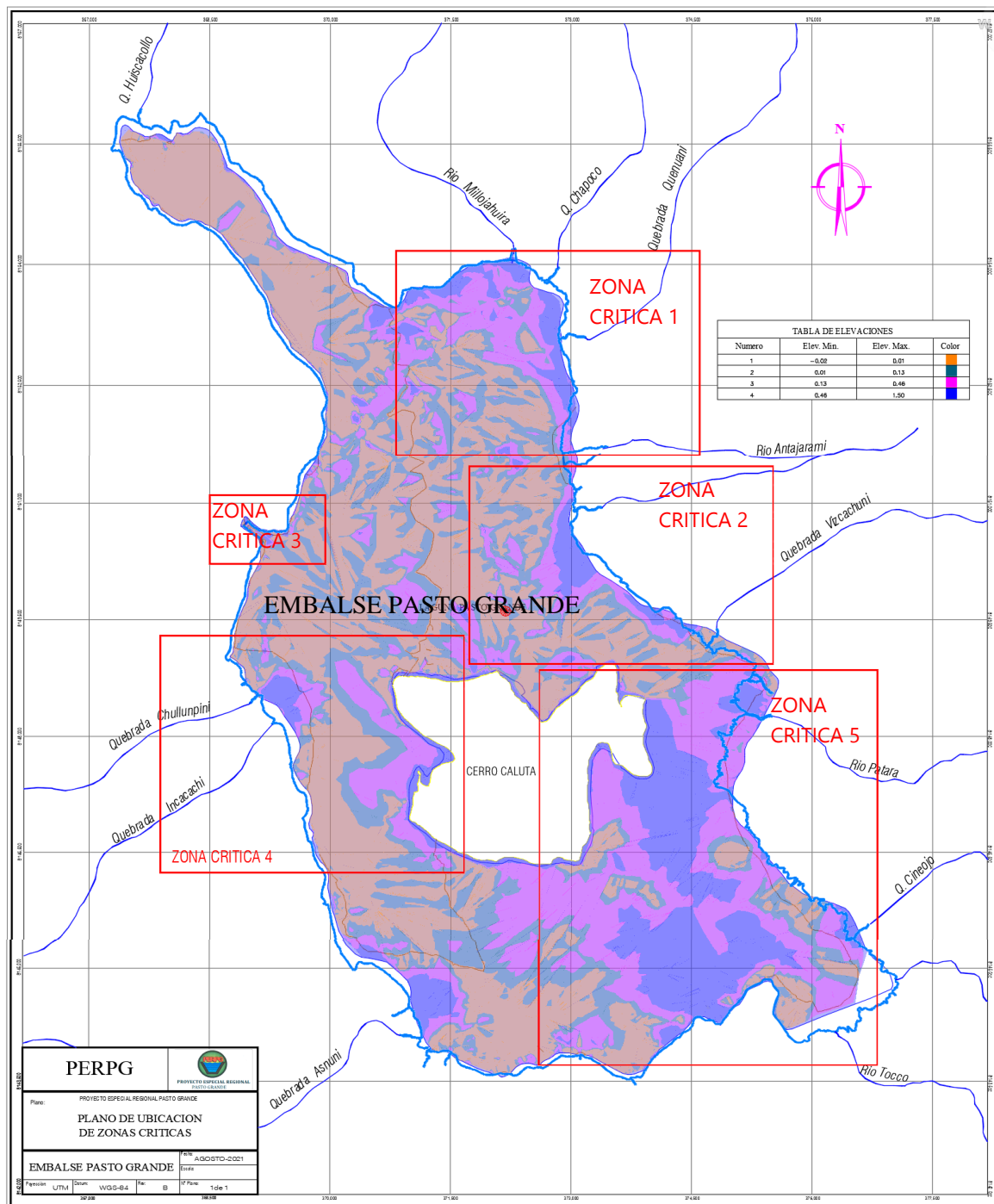


Figura 11. Sedimentos – Zonas Críticas en el embalse con sedimentos

Fuente: Consorcio INGECOM S.A.C. – H&O Ingenieros, 2012

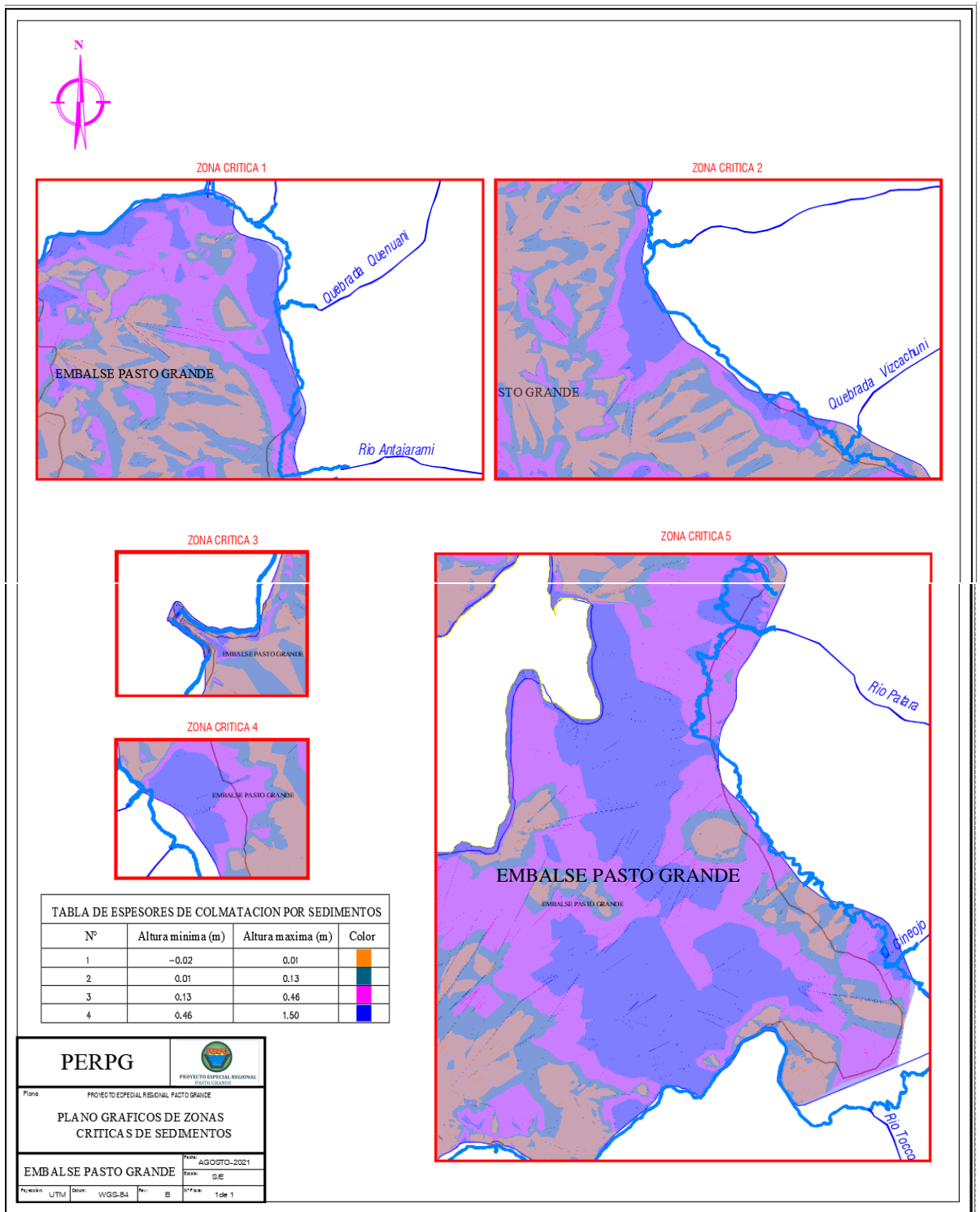






Figura 12. Zonas de mayor presencia de sedimentos

Fuente: Consorcio INGECOM S.A.C. – H&O Ingenieros, 2012

**Tabla 20***Espesores de colmatación de sedimentos(m)*

Nº	Altura mínima (m)	Altura máxima (m)	Color
1	-0.02	0.01	
2	0.01	0.13	
3	0.13	0.14	
4	0.14	1.50	

Fuente: Consorcio INGECOM S.A.C. – H&amp;O Ingenieros, 2012

Según la tabla 20 de espesores de sedimentos en el embalse que se muestran en colores azul oscuro, azul marino, magenta y marrón, donde se aprecia que las menores potencias de colmatación son de color marrón y los mayores de color azul marino, siendo explicable esta distribución debido a la cercanía de la desembocadura de los afluentes y al relieve del lecho del embalse. Esta distribución indica donde está la mayor acumulación de sedimentos y donde se puede intervenir de realizar trabajos de descolmatación como dragado para mejorar la capacidad volumétrica del embalse y de esa manera también mejorar indirectamente la calidad del agua.

#### **4.1.2 Sedimentación en el embalse.**

La sedimentación o colmatación junto con la eutrofización, son sin duda las dos principales afecciones ambientales de los embalses a nivel mundial y también en el embalse Pasto Grande, debido a una deficiente o inexistente manejo de cuencas que las hace muy vulnerables a los procesos erosivos hídricos, fundamentalmente, presencia de las altas pendientes, deforestación, deficiente actividad de operación y mantenimiento del embalse, falta de previsión en los diseños de válvulas de fondo para eliminación periódica y oportuna de los sedimentos acumulados etc.

Los sedimentos procedentes de las cuencas de drenaje, son retenidos en su gran mayoría en los vasos de los embalses, dando lugar a una serie de efectos bien conocidos, desde la pérdida de su capacidad de almacenamiento de agua hasta la regresión de deltas, pasando por un buen número de consecuencias limnológicas y propiciando el desarrollo de microorganismos que producen coloración deteriorando la calidad de las aguas en el embalse, también produce la alteración de la pendiente longitudinal del cauce, la formación de humedales, la limitación de la producción ictiológica y propensión a la eutrofia. Pero, además, la colmatación de un embalse supone una clara pérdida de eficiencia por sí mismo con el correspondiente coste que afecta tanto a rentabilidad de la inversión inicial de la propia obra hidráulica.

Los embalses son infraestructuras que suponen una clara discontinuidad en el gradiente longitudinal de procesos propios de los ríos.

Junto con el agua, los embalses «regulan» también los aportes de materiales en suspensión y los arrastres de sólidos transportados por los ríos. El balance de esta regulación tiene como resultado una retención neta de todos estos materiales en forma de sedimentos, dando lugar a la colmatación.

En la actualidad la colmatación de embalses es un problema ambiental de primer orden en el país, particularmente en los embalses ubicados en el norte peruano que son afectados por la presencia del fenómeno El Niño, que es un evento de altas precipitaciones, agravado esto por la ubicación de los embalses en el lecho de los ríos y en cotas relativamente bajas que permiten una mayor tasa de sedimentos.

La Política en Recursos Hídricos en el Perú, orientadas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) está auspiciando un Programa de Seguridad de Presas que permitirían una buena gestión de las mismas y se cumpla con lo estipulado por la Ley de Recursos Hídricos. Este programa no solo debe contemplar la seguridad de las obras civiles si no que debe articular todas las actividades de operación y mantenimiento del embalse, vale decir, todas las obras civiles – hidráulicas (dique y obras conexas) y el vaso propiamente dicho, el que a su vez está articulado con las actividades de gestión que se desarrollen en la cuenca de influencia, para controlar el proceso erosivo de la cuenca, en bien de la vigencia o vida útil del embalse.

#### **4.1.3 Análisis de datos e interpretación de resultados.**

El valor obtenido del transporte total de sedimentos de fondo acumulado para el periodo de 32 años de 11 514 424,32 m<sup>3</sup> que ha ingresado al embalse Pasto Grande, constituyéndose en el Volumen Muerto del mismo; debemos indicar que son los meses del año (Diciembre, Enero, Febrero y Marzo) donde se presentan los mayores aportes de sedimentos al embalse.

De acuerdo al Estudio de Batimetría del Embalse Pasto Grande realizado por la Consultora INGECOM –H &O el año 2012, determino que el Volumen de sedimentos en el embalse a esa fecha era de 8 367 818,30 m<sup>3</sup>, la acumulación de sedimentos durante los 24 años de operación (1989 – 2012) arroja el mencionado valor; es decir que existe un arrastre promedio de sedimentos por año de 348 659,09 m<sup>3</sup>/año, aportados por los afluentes principales del Embalse.

Tomando este valor promedio de arrastre por año se puede deducir que a la fecha 2021, es decir durante los 32 años de operación del embalse se tiene:

348 659,09 m<sup>3</sup>/ año x 32 años = 11 157 090,88 m<sup>3</sup> de volumen de sedimentos, valor que corrobora la bondad de los cálculos empíricos utilizados en la presente calculo cuyo valor fue de 11 514 424,32 , valor muy cercano al obtenido con las técnicas topográficas, batimétricas y satelitales empleadas por la Consultora.

De acuerdo a los cálculos realizados podemos ver en la fig.13 los volúmenes de sedimentos aportados por cada afluente acumulados al 2021, en la fig. 14 se puede apreciar también la curva Volumen de Sedimentos vs Tiempo, donde se puede predecir el comportamiento de la acumulación de sedimentos en el embalse en relación a los años transcurridos desde que se construyó la presa Pasto Grande.

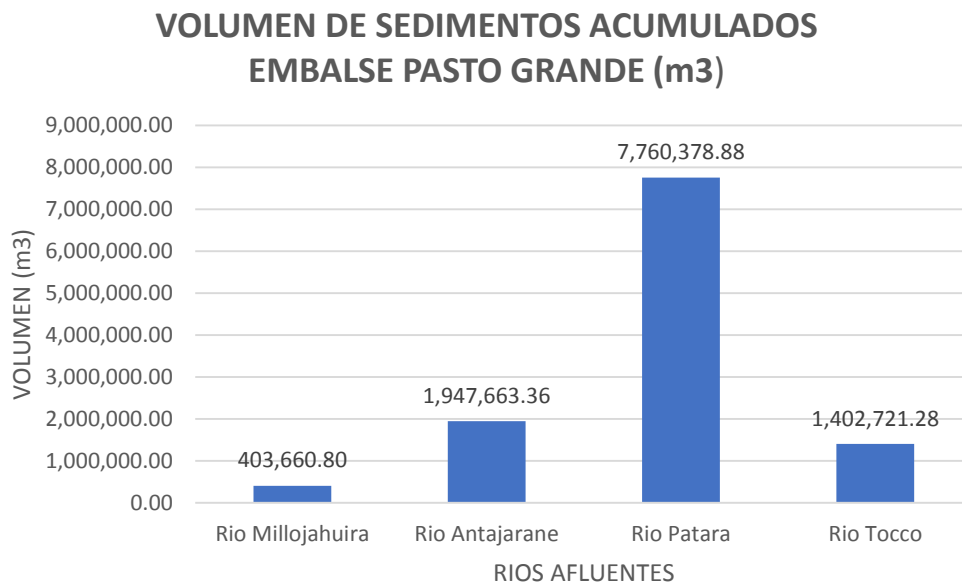


Figura 13. Volumen de sedimentos acumulados 2021 de afluentes al embalse Pasto Grande



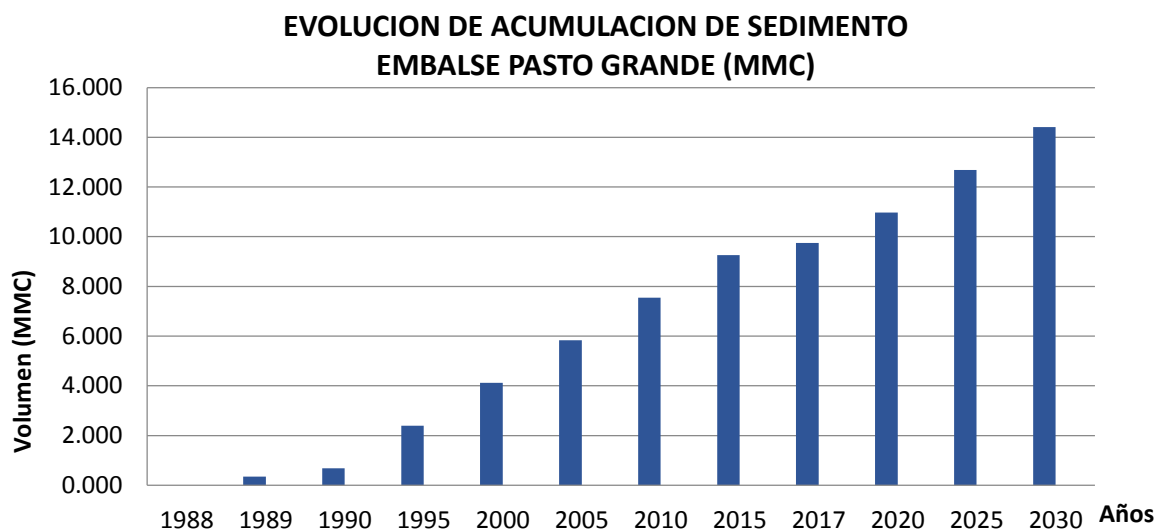


Figura 14. Evolución de acumulación de sedimentos

## 4.2 Contrastación de Hipótesis

### 4.2.1 Uso del Programa Estadístico SPSS.

Se ha utilizado el programa estadístico SPSS para la contrastación de la hipótesis planteada, para lo cual podemos mencionar que los afluentes que ingresan al embalse acarrearán sedimentos que se van acumulando en el tiempo por ser un embalse o una presa una barrera física que permite esta acumulación y por lo tanto también es un efecto directo en la pérdida de capacidad volumétrica por efecto de los sedimentos acumulados. Los métodos para el cálculo de los sedimentos pueden realizarse de manera directa mediante técnicas batimétricas o realizando el cálculo mediante fórmulas empíricas. La hipótesis que se plantea si los sedimentos reducen la capacidad volumétrica, esto resulta evidente por lo mencionado anteriormente y el problema de hipótesis se reduciría si los datos calculados, tanto en forma directa y los obtenidos empíricamente guardan relación con confiabilidad en sus valores.

Se utilizará la prueba de T de Student para la contrastación de la hipótesis planteada, las variables utilizadas son los valores de los sedimentos acumulados de cada afluente calculados empíricamente y el valor de prueba de la hipótesis es el valor promedio de los sedimentos calculados con métodos batimétricos durante el periodo analizado.

Las variables analizadas son los volúmenes de sedimentos que ingresan al embalse (Tabla 18) y la variable de prueba es la media del volumen de sedimentos calculados por métodos batimétricos; los resultados son los siguientes:

Prueba T				
[ConjuntoDatos0]				
Estadísticas de muestra única				
	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
T.Sedimentos (m3)	5	2860738,800	2872643,876	1284685,396

Prueba de muestra única						
Valor de prueba = 2789272						
	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
T.Sedimentos (m3)	,056	4	,958	71466,80000	-3495391,68	3638325,280

Figura 15. Resultados procesamiento en SPSS

Se puede apreciar los valores estadísticos como la media y desviación estándar y la significancia bilateral que es de 0,958 y contrastado con el valor de  $\alpha = 0,05$  (5%) es mayor y por lo tanto no se rechaza la hipótesis planteada.

### 4.3 Discusión de resultados

Los cálculos que se han realizado para determinar el volumen de sedimentos que ingresan al embalse Pasto Grande procedente de sus afluentes principales, se ha

utilizado la formula empírica de Meyer-Peter –Muller, de buenos resultados en ríos torrentosos del altiplano peruano.

También existe información de los sedimentos acumulados durante el periodo analizado obtenidos mediante batimetría y los obtenidos empíricamente, tal como es el caso de las investigaciones realizadas en la presa Torata por Ccorahua (2021) mencionado en la presente tesis.

Sabemos que la hipótesis planteada es verificar si el transporte de sedimentos de los afluentes al embalse produce la pérdida de capacidad volumétrica del embalse como se puede entender este planteamiento es de carácter tácito debido al sistema de presa, embalse y afluentes que conllevan a generar un volumen muerto en el embalse y distribuidos espacialmente tal como se puede apreciar en las figuras 11 y 12.

Habiéndose realizado los cálculos para cuantificar el transporte de sedimentos de los cuatro afluentes principales, río Millojahuira, Antajarane, Patara y Tocco estos (04) cuatro aportan 313 490 Tn/año de sedimentos al volumen muerto del embalse. De otro lado los volúmenes de sedimentos que han ingresado al embalse Pasto Grande durante los 32 años considerados ascienden a 11 514 424,32 m<sup>3</sup>, valor muy cercano al valor obtenido por la consultora INGECON S.A.C de 11 157 090,88 m<sup>3</sup> obtenidos por batimetría, ambos valores de significancia bilateral comprobados por el programa estadístico SPSS.

De otro lado considerando el volumen útil del embalse en 200 millones de m<sup>3</sup> y los sedimentos asentados en el lecho del embalse de 11,11 millones de m<sup>3</sup>, este representa el 5,5% de capacidad, siendo su capacidad de diseño de volumen muerto

de 05 millones de m<sup>3</sup> (2,5 %); es decir que se ha sobrepasado el volumen muerto de diseño en 2,5%.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

**Primera.** La pérdida de capacidad volumétrica del embalse Pasto Grande se debe a la acumulación de sedimentos procedente de los cuatro afluentes principales mayormente en la época de avenidas.

**Segunda** La pérdida de capacidad volumétrica del embalse Pasto Grande se debe principalmente al aporte de los sedimentos que acarrearán el sistema tributario de los ríos Millojahuirá, Antajarane, Patara y Tocco que ingresan al embalse.

**Tercera.** Los volúmenes de sedimentos que ingresan al embalse son del orden de 359 825,76 m<sup>3</sup>/año y durante los 32 años de operación (1989-2021) el acumulado es de 11 514 424,32 m<sup>3</sup>, constituyendo el 5,75 % del volumen total del embalse Pasto Grande.

## 5.2 Recomendaciones

**Primera.** El embalse Pasto Grande por su particular ubicación en cabecera de cuenca, la colmatación por sedimentos es relativamente moderada como pérdida de capacidad volumétrica, sin embargo, se hace necesario tomar algunas medidas de prevención o corrección y se puede recomendar las siguientes:

- **Dragado:** Limpieza del embalse en zonas críticas mediante trabajos de dragado.
- **Salida de fondo:** Con la finalidad de contar con una salida de fondo (Compuerta o válvula), que se ubique en una cota que permita la descarga de sedimentos del volumen muerto, planteamos construir un túnel de descarga reforzado que se ubique en el flanco derecho del dique (cerro) y permita evacuar periódicamente los sedimentos que se aproximan al tramo de cierre del embalse, de manera que se tenga liberada la zona de captación o descarga del embalse y se alargue la vigencia del embalse.
- **Diques transversales:** Construir diques transversales a los cauces de los principales ríos Millojahuira, Antajarane, Patara y Tocco, afluentes que ingresan al vaso, los diques de acuerdo con la pendiente pueden ser dispuestos entre sí, a distancias no mayor de 50 m.

Estas estructuras deben disponerse de manera que se disminuya la pendiente de las quebradas o ríos, asimismo se logre aminorar su poder erosivo.

Los diques transversales, pueden ser de mampostería de piedra o de gaviones, con sección trapezoidal, en lo posible aprovechando la presencia de piedra en la zona.

**Segunda.** Se recomienda tener en cuenta la evaluación temporal de acumulación de sedimentos producidos por sus ríos tributarios en el embalse para aplicar las medidas correctivas, asimismo se deben establecer un programa de monitoreo para la estimación de sedimentos, eliminación y control de sedimentos.

**Tercera.** Se recomienda el control en el tiempo de los sedimentos que ingresan al embalse para que los volúmenes de los mismos no incrementen el porcentaje que se indica, asimismo el Proyecto Especial Regional Pasto Grande (PERPG) debe incluir en su plan anual de presupuesto un monto que asegure aplicar las recomendaciones mencionadas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación, introducción a la metodología científica*. Caracas, Venezuela: Ed. Episteme
- Borja, M. (2016). *Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros*. Chiclayo, Perú
- Ccorahua, G. (2021). *Estimación de transporte total de sedimentos para el embalse Torata, Región Moquegua*. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4654>
- Consortio INGECOM S.A.C. y H&O Ingenieros (2012). *Batimetría del Embalse Pasto Grande*. Lima, Perú.
- DRAGATEC S.A. ( 2017). *Dragados Extracción de Solidos*. Chile. Recuperado de <https://dragatec.cl/>
- Guerrero, A. y Leo R. (2019). *Modelación Numérica del transporte de sedimentos durante el proceso de remoción hidráulica en el reservorio de Reservorio Poechos*. (Tesis de grado). Universidad de Piura, Piura, Perú. Recuperado de <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/4353>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación científica*. México DF, México: McGraw Hill/ Interamericana.
- LAGESA S.A (1994). *Batimetría del Embalse Pasto Grande*. Lima, Perú.



Sarango, C. (2013). *Calibración de una ecuación para el transporte de sedimentos en la Cuenca El Limón*. (Tesis de grado). Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador.

Universidad Austral de Chile. (2006 ). *Obras transversales y Control Avenidas*. Valdivia, Chile.

Vásquez, R. (2016). *Solución al problema de sedimentación de la represa Gallito Ciego*. (Tesis de pregrado). Universidad Señor de Sipán, Pimentel Lambayeque, Perú.

Velásquez, C. (2016). *Análisis de los potenciales problemas de sedimentación y medidas de mitigación en la presa Palo Redondo*. (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica, Lima Perú. Recuperado de [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14599/VELASQUEZ\\_CASTRO\\_KATHERINE\\_BRISSETE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14599/VELASQUEZ_CASTRO_KATHERINE_BRISSETE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Vergara, J. y Quesada, V. M. (2007). *Estadística básica con aplicaciones en MsExcel*. Recuperado de <https://ebevidencia.com/wp-content/uploads/2017/05/estadistica-basica-con-excell.pdf>.