

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Influencia de la erosión del suelo en la  
sedimentación en embalses para su  
disposición final en la subcuenca y  
represa del río Lluchus - Huancayo  
durante el periodo 2017 - 2018**

Edison Sánchez Toscano

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2022

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## **ASESOR**

Ing. Anieval Peña Rojas

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos mis amigos, por brindarme su amistad y apoyo durante mi permanencia en la universidad; a los docentes, por enseñarme lo mejor que tuvieron de sus experiencias profesionales; a la Universidad Continental, por darme la oportunidad de poder obtener una profesión de mi entero agrado.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por brindarme todos los buenos valores y el apoyo en todo momento durante mi permanencia en la universidad y durante la realización de la presente investigación.

# ÍNDICE

<b>ASESOR</b>	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	iii
<b>DEDICATORIA</b>	iv
<b>ÍNDICE</b>	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	x
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	xi
<b>RESUMEN</b>	xiii
<b>ABSTRACT</b>	xiv
<b>INTRODUCCIÓN</b>	xv
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b>	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema	1
1.1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.2. Formulación del problema	3
1.1.2.1. Problema general	3
1.1.2.2. Problemas específicos	3
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Justificación e importancia	4
1.3.1. Justificación	4
1.3.2. Importancia	5
1.4. Hipótesis y descripción de las variables	5
1.4.1. Hipótesis general	5
1.4.2. Hipótesis específicas:	5
1.4.3. Descripción de las variables	6
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	8

2.1.	Antecedentes de la investigación	8
2.2.	Bases teóricas	9
2.2.1.	Erosión	9
2.2.2.	Embalses	13
2.2.3.	Cuenca	13
2.2.4.	Morfología fluvial	13
2.2.5.	Régimen hidrológico	14
2.2.6.	Calidad de agua	14
2.2.7.	Caudal o gasto	14
2.2.8.	Régimen fluvial	14
2.2.9.	Análisis de la variación fluvial causada por los embalses	15
2.2.10.	Efecto ambiental de los embalses	15
2.2.11.	Efectos sobre el régimen hidrológico	15
2.2.12.	Efectos ambientales potenciales debido a la construcción y operación de un embalse	15
2.2.13.	Fases de operación del embalse	16
2.2.14.	Efectos sobre la morfología fluvial	17
2.2.15.	Cambios en la sección transversal del cauce	17
2.2.16.	Plan de control de sedimentos	18
2.2.17.	Medidas de control de sedimentos	18
2.2.18.	Factores que afectan la erosión y la sedimentación	19
2.2.19.	Metodologías de medición de la erosión y sedimentación	20
2.2.20.	Métodos de estimación de la erosión	20
2.2.21.	Medición de la erosión laminar	20
2.2.22.	Medición de erosión en rieles y cárcavas	21
2.2.23.	Características del área de investigación	22
2.2.24.	Descripción general de la cuenca y del curso principal de la fuente natural	24

2.2.25.	Descripción de la zona de estudio	24
2.2.26.	Geología del área de influencia	25
2.2.27.	Relieve	26
2.2.28.	Hidrología del área de influencia	27
2.2.29.	Clima	28
2.2.30.	Temperatura	29
2.2.31.	Nubes	30
2.2.32.	Precipitación	31
2.2.33.	Lluvia	31
2.2.34.	Humedad	32
2.2.35.	Viento	32
2.2.36.	Recurso suelo	33
2.2.37.	Flora:	34
2.2.38.	Fauna	35
2.2.39.	Calidad de agua	35
2.2.40.	Análisis y tratamiento de la información hidrometeorología e hidrométrica	36
2.2.41.	Disponibilidad de agua a nivel mensualizado de acuerdo al planteamiento hidráulico	39
2.3.	Definición de términos	45
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b>		46
3.1.	Método y alcance de la investigación	46
3.1.1.	Tipo de la investigación	46
3.1.2.	Nivel de la investigación	46
3.2.	Diseño de la investigación	46
3.3.	Población y muestra	47
3.3.1.	Población	47
3.3.2.	Muestra	47
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	47

3.4.1.	Técnicas de recolección de datos	47
3.4.2.	Instrumentos de recolección de datos	48
3.5.	Técnicas de análisis y procesamiento de datos	48
3.5.1.	Reconocimiento directo utilizando clavos y varillas	48
3.5.2.	Explicación del procedimiento utilizando clavos y varillas	49
3.5.3.	Cálculo de la pérdida de suelo	50
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>		<b>51</b>
4.1.	Evaluación de la variación mensual de los caudales regulados del río Lluçus modificado por el embalse	51
4.2.	Determinación de los efectos en la geomorfología del cauce del río Lluçus próximos al embalse	51
4.2.1.	Parámetros geomorfológicos de la cuenca	51
4.2.2.	Perfil longitudinal de la cuenca	51
4.3.	Evaluación de la alteración de la calidad de agua (temperatura, pH, conductividad eléctrica) antes y después del embalse del río Lluçus	52
4.3.1.	Temperatura	52
4.3.2.	pH	52
4.4.	Evaluación de la variación mensual de los caudales regulados del río Lluçus modificado por el embalse	52
4.5.	Determinación de los efectos en la geomorfología del cauce del río Lluçus próximo al embalse	52
4.6.	Evaluación de la alteración de la calidad de agua (temperatura, pH, conductividad eléctrica) antes y después del embalse del río Lluçus	53
4.7.	Análisis e interpretación de los resultados	53
4.7.1.	Precipitaciones medias	53
4.7.2.	Análisis granulométrico por tamizado	54
4.7.3.	Pendiente del tramo	55
4.7.4.	Propiedades físicas del suelo y del río	56
4.8.	Práctica conservacionista	57

4.9.	Resultados del cálculo de la erosión del suelo por los diferentes métodos	60
4.10.	Resultados del cálculo del transporte de sedimentos por arrastre por los diferentes métodos	64
4.11.	Resultados del cálculo del transporte de sedimentos por suspensión por los diferentes métodos	67
4.12.	Prueba de hipótesis	70
4.13.	Resultados del tratamiento y análisis de la información	78
4.14.	Discusión de resultados	87
	<b>CONCLUSIONES</b>	89
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	90
	<b>ANEXOS</b>	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Presa 1 río Lluchus.	1
Figura 2. Embalse N° 2.	5
Figura 3. Representación de la erosión.	10
Figura 4. Muestra N° 3.	10
Figura 5. Proceso de erosión.	11
Figura 6. Embalse río Lluchus.	13
Figura 7. Área del río Lluchus.	25
Figura 8. Perímetro de la subcuenca del Lluchus.	25
Figura 9. Gráfico de la pendiente de la microcuenca del río Lluchus.	27
Figura 10. Subcuenca del río Lluchus, de segundo orden.	28
Figura 11. Variación del clima.	29
Figura 12. Temperatura promedio.	30
Figura 13. Nubosidad por categorías.	30
Figura 14. Probabilidad diaria de precipitaciones.	31
Figura 15. Precipitación de lluvia mensual promedio.	32
Figura 16. Niveles de comodidad de la humedad.	32
Figura 17. Velocidad promedio del viento.	33
Figura 18. Gráfico para el cálculo de la sección transversal.	37
Figura 19. Diagrama de instalación de las varillas.	50
Figura 20. Curva granulométrica.	55
Figura 21. Pendiente del tramo.	56
Figura 22. Radio hidráulico del río - sección inicial.	57
Figura 23. Radio hidráulico del río - sección final.	57
Figura 24. Estimación de la región de rechazo.	71

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de las variables.	7
Tabla 2. Clasificación de medidas contra el arrastre de sedimentos.	18
Tabla 3. Geología del área de influencia.	26
Tabla 4. Perfil longitudinal del curso de agua.	26
Tabla 5. Parámetros acerca de la capacidad de uso mayor de suelos de Sapallanga.	33
Tabla 6. Parámetros de calidad de agua.	35
Tabla 7. Medición a través del flotador.	37
Tabla 8. Área transversal del río.	37
Tabla 9. Determinación de la velocidad.	38
Tabla 10. Determinación del área.	39
Tabla 11. Medición a través del flotador (2).	39
Tabla 12. Usos y demandas del agua.	40
Tabla 13. Áreas disponibles para la agricultura.	40
Tabla 14. Cálculos del coeficiente de cultivo (kc).	41
Tabla 15. Factor mensual de evapotranspiración (mf).	41
Tabla 16. Valores de evapotranspiración potencial (ETP).	41
Tabla 17. Balance hídrico mensualizado.	42
Tabla 18. Balance hídrico mensual de la cuenca (10 %).	43
Tabla 19. Balance hídrico mensual de la cuenca (40 %).	43
Tabla 20. Instrumentos de investigación.	48
Tabla 21. Precipitaciones medias.	53
Tabla 22. Precipitación media.	54
Tabla 23. Análisis granulométrico por tamizado.	54
Tabla 24. Tipo de suelo - río Lluchus.	55
Tabla 25. Pendiente y ángulo de inclinación.	56
Tabla 26. Uso de suelo - río Lluchus.	56
Tabla 27. Práctica conservacionista - río Lluchus.	57
Tabla 28. Radio hidráulico - río Lluchus.	58
Tabla 29. Intensidad - río Lluchus.	59
Tabla 30. Caudal directo - río Lluchus.	60
Tabla 31. Propiedades del agua y sedimento - río Lluchus.	60
Tabla 32. Propiedades de partícula - río Lluchus.	60
Tabla 33. Datos de precipitación media anual y mensual - río Lluchus.	61

Tabla 34. Valor de pendiente (%) y su equivalencia en distancia.	62
Tabla 35. Resumen de los resultados de erosión por diferentes métodos.	64
Tabla 36. Resumen de los resultados del transporte de sedimentos por arrastre por diferentes métodos.	66
Tabla 37. Relación de los parámetros de erosión y sedimentación.	68
Tabla 38. Indicadores cuantitativos de erosión de suelos y sedimentación de embalses.	69
Tabla 39. Prueba de correlación de Pearson.	69
Tabla 40. Escala de intervalos del coeficiente de Correlación de Pearson.	70
Tabla 41. Prueba de correlación de la primera hipótesis específica.	72
Tabla 42. Prueba de correlación de la segunda hipótesis específica.	74
Tabla 43. Prueba de correlación de la tercera hipótesis específica.	76
Tabla 44. Ensayo 1 sobre promedios de erosión.	78
Tabla 45. Ensayo 1 sobre promedios de sedimentación.	79
Tabla 46. Ensayo 2 sobre promedios de erosión.	80
Tabla 47. Ensayo 2 sobre promedios de sedimentación.	80
Tabla 48. Ensayo 3 sobre promedios de erosión.	81
Tabla 49. Ensayo 3 sobre promedios de sedimentación.	82
Tabla 50. Ensayo 4 sobre promedios de erosión.	82
Tabla 51. Ensayo 4 sobre promedios de sedimentación.	83
Tabla 52. Ensayo 5 sobre promedios de erosión.	84
Tabla 53. Ensayo 5 sobre promedios de sedimentación.	84
Tabla 54. Ensayo 6 sobre promedios de erosión.	85
Tabla 55. Ensayo 6 sobre promedios de sedimentación.	86
Tabla 56. Comparativo erosión - sedimentación, sin vegetación.	86
Tabla 57. Comparativo erosión - sedimentación, con vegetación.	87

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el nivel de influencia que ejerce la erosión de los suelos en la sedimentación de los embalses en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018. El estudio fue de tipo observacional, comparativo, con un nivel explicativo, diseño correlacional de corte transversal.

Se describen los factores relacionados con los niveles de humedad, temperatura, caracterización pluvial, escorrentía, parámetros fluviales de la microcuenca, así como la erodabilidad, cobertura vegetal y características geométricas de la microcuenca. Los resultados indican que existe una influencia significativa y directa entre la erosión y los niveles de sedimentación tanto en la microcuenca, cuanto en la represa del río Lluchus.

**Palabras clave:** erosión, sedimentación, microcuenca, embalses.

## **ABSTRACT**

This research aimed to determine the level of influence of soil erosion on reservoir sedimentation in the Lluchus- Huancayo river subbasin and dam during the period 2017 - 2018. The study was observational, comparative, with an explanatory level, cross-sectional correlational design.

Factors related to humidity, temperature, storm characterization, runoff, river parameters of the microbasin, as well as erodability, plant cover and geometric characteristics of the microbasin are described. The results indicate that there is a significant and direct influence between erosion and sedimentation levels both in the microbasin and in the Lluchus river dam.

**Keywords:** erosion, sedimentation, microbasin, reservoirs.

## INTRODUCCIÓN

Este estudio implica la descripción de la influencia de la erosión de los suelos respecto de la sedimentación en el embalse de la microcuenca del río Lluchus, del distrito de Sapallanga, toda vez que el carácter estacional de las lluvias corresponde a periodos muy diferenciados de avenida y estiaje.

Estos niveles de variación en las lluvias, conlleva a la construcción de represas y reservorios, cuya finalidad es aprovechar los excedentes de los periodos de avenida en las épocas de sequía, lo que a su vez genera preocupantes problemas de sedimentación afectando no solo la estabilidad de la presa por la decantación de las partículas sólidas, sino también en la durabilidad de sus estructuras.

En este orden de ideas, la presente investigación aborda los conceptos de erosión y el desplazamiento de los sedimentos en la microcuenca del río Lluchus, su demarcación hidrográfica, la variación de los caudales debido al embalse, así como el impacto ambiental y sus efectos sobre los ecosistemas locales, partiendo de la premisa de que la producción de sedimentos refleja la estrecha vinculación entre los factores bióticos, climáticos, geológicos, hidrológico, con el aprovechamiento y utilización de la superficie territorial de una cuenca, que en conjunto definen el comportamiento dinámico de las presas y reservorios, por lo que su conocimiento es importante en la medida que permita realizar diagnósticos y proyecciones del funcionamiento de los sistemas fluviales.

El autor.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1. Planteamiento del problema

El agua y los suelos son recursos naturales esenciales en el desarrollo económico y social donde gran parte de la economía está basada en el aprovechamiento de estos bienes en la aplicación de esquemas productivos sustentables.

Constituyen uno de los problemas socio-ambientales más serios del país.

La degradación acelerada e irreversible del suelo considerada como uno de los mayores peligros para la humanidad.



*Figura 1.* Presa 1 río Lluchus.

Fuente: propia.

La erosión de los suelos es un fenómeno natural originada por diferentes causas, que tiene una influencia significativa sobre los ecosistemas locales en la medida en que, de una manera u otra, altera el comportamiento de la flora y la fauna que, al ver modificados sus entornos, en muchos casos buscan otros espacios.

Definitivamente, el impacto ambiental sobre los ecosistemas locales es muy significativo. Afectando especialmente a la agricultura. Dentro de las principales causas de la erosión de los suelos podemos mencionar las que son provocadas por fenómenos naturales, como las sequías, la fuerza de los vientos, la acción del agua, y en otros casos las fuerzas tectónicas, sin embargo, la acción del hombre, que se refleja en la deforestación, las actividades mineras, el pastoreo intensivo, el riego artificial y la agricultura, también son factores de erosión (1).

La erosión del suelo entendida con precisión, como el desgaste del suelo, deteriora los ecosistemas y causa un desequilibrio ecológico generando la reducción de la fauna y flora y, consecuentemente, genera la pérdida de la fertilidad del suelo (2). Así también, Díaz (3) menciona que la erosión es un proceso natural de gran complejidad, multifactorial, que se observa en las proximidades de las cuencas hidrográficas.

Pacheco (4) menciona con respecto a la sedimentación, que no es otra cosa que el depósito y acumulación de partículas de suelo y roca transportadas por el agua por la erosión que son transportados hasta que logran alcanzar una posición de reposo, se origina también por factores diversos, como la lluvia, el viento, etc., pero que también tiene efectos que afectan el equilibrio ecológico como la disminución en las profundidades de las aguas, atentando contra la supervivencia de los peces, así como impacta en la calidad de las aguas, disminuye la capacidad de los embalses y, por lo tanto, afecta la generación de energía eléctrica

En el Valle del Mantaro, la utilización y aprovechamiento de los recursos naturales ha originado la degradación de los suelos, lo que obliga a estudiar a profundidad el impacto de la erosión, la sedimentación y su

relación con los embalses en cuencas de ríos, por sus efectos económicos sociales y ecológicos.

La presente investigación intenta determinar el nivel de influencia que tienen estas variables en la subcuenca y represa del río Lluchus, partiendo de la premisa de que se trata de un proceso dinámico donde se observa la vinculación estrecha entre la presa, el embalse y los ecosistemas locales. Ante esta situación, en el marco de la Ingeniería Ambiental, en el presente trabajo se abordan las variables: erosión del suelo y sedimentación en embalses, las cuales, al operacionalizarlas y correlacionarlas entre sí, brindan una nueva perspectiva ambiental.

## 1.1.2. Formulación del problema

### 1.1.2.1. Problema general

¿Cuál es la influencia de la erosión del suelo en la sedimentación en embalses para su disposición final en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018?

### 1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la influencia de la erosión hídrica en la sedimentación en embalses para su disposición final en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018?
- ¿Cuál es la influencia de los sedimentos en el almacenamiento de agua en la represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018?
- ¿Cuál es la influencia de la topografía en la sedimentación de los suelos adyacentes al río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018?

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo general

Determinar de qué manera la erosión del suelo causa sedimentación en embalses en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la erosión hídrica en la sedimentación en embalses en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.
- Determinar la influencia de los sedimentos en el almacenamiento de agua en la represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.
- Determinar la influencia de la topografía en la sedimentación de los suelos adyacentes al río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.

## 1.3. Justificación e importancia

### 1.3.1. Justificación

La investigación aborda un tema de gran relevancia como es la problemática derivada de la erosión del suelo, sedimentación y embalses, sus comportamientos y su gestión adecuada en el represamiento del río Lluchus, de modo tal que su tratamiento sea de lo más riguroso posible, en términos científicos, toda vez que la protección y conservación de los sistemas ecológicos es una prioridad esencial en el planeta. Asimismo, desde el punto de vista metodológico, el estudio permite conocer el impacto ambiental de la erosión en la biodiversidad local, de manera que sea posible plantear medidas preventivas.

### 1.3.2. Importancia

La importancia de la investigación radica en que será un punto de partida referencial para la realización de otras investigaciones similares y afines a los propósitos de la Ingeniería Ambiental, de manera que se incremente la información de la realidad objetiva de los fenómenos ecoambientales, como son las erosiones de los suelos y subsuelos, y sus tipos de sedimentación.



*Figura 2.* Embalse N° 2.

Fuente: propia.

## 1.4. Hipótesis y descripción de las variables

### 1.4.1. Hipótesis general

- $H_0$ : la erosión del suelo no influye en la sedimentación en embalses en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.
- $H_1$ : la erosión en sus diferentes tipos influye en la sedimentación en embalses en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.

### 1.4.2. Hipótesis específicas:

- $H_0$ : la erosión hídrica no influye significativamente en la sedimentación en embalses en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.
- $H_{E1}$ : la erosión hídrica influye significativamente en la sedimentación en embalses en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.
- $H_0$ : los sedimentos no influyen significativamente en el almacenamiento de agua en la represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.
- $H_{E2}$ : los sedimentos influyen significativamente en el almacenamiento de agua en la represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.
- $H_0$ : las características topográficas no influyen significativamente en la sedimentación de los suelos adyacentes al río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.
- $H_{E3}$ : la topografía influye significativamente en la sedimentación de los suelos adyacentes al río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018

#### 1.4.3. Descripción de las variables

- a. Variable independiente (x): erosión del suelo.
- b. Variable dependiente (y): sedimentación de embalses.

Tabla 1. Operacionalización de las variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	VALOR QUE ADOPTA LA VARIABLE-ÍTEM																		
Erosión del suelo.	Movimiento y desplazamiento de las capas superficiales del suelo que implican una degradación progresiva del mismo, por acción del agua, el viento, fuerzas geológicas externas, la temperatura etc. en periodos de tiempo lentos.	Desgaste o denudación de los suelos y rocas que se producen en la superficie de los suelos, implica movimiento, transporte de material, en contraste con la alteración y disgregación de las rocas.	- Nivel de eficiencia de retención del material. - Cantidad de material de lecho.	- Relación entre la retención y el aporte que recibe el embalse. - mezcla de materiales que componen el lecho de la corriente. - Parte del transporte total de sedimentos compuesto por tamaños de granos existentes en el material del lecho de la corriente.	Las categorías diagnósticas consideradas para el instrumento están basadas en las puntuaciones directas del instrumento y tomando como criterio que la máxima puntuación, revela determinar la influencia de la erosión del suelo en la sedimentación en embalses para su disposición final en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo, durante el periodo 2017 - 2018.																		
Sedimentación en embalses.	Es el depósito, en una zona embalsada, de un río o laguna, de un material que previamente es desplazada por la acción del agua, el viento y otras fuerzas. Ocurre cuando el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo de un río.	Son procesos mediante los cuales los materiales que son desplazados por la acción del agua y del viento se depositan en una zona del río que se ha embalsado.	- Transporte de material de lecho. - Material fino. - Carga lavada. - Sedimento de fondo.	- Material transportado por la corriente principalmente en suspensión, compuesto por tamaños de granos más pequeños que aquellos que componen el material del lecho. - Parte del transporte total de sedimento compuesto de granos menores a los encontrados en el material de lecho de la corriente. - Aquel que se mueve por saltación, rodamiento o deslizamiento o cerca del lecho de corriente.	<p><b>Categorías diagnósticas:</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Cat. Dx.</th> <th>Rango</th> <th>Puntaje</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>- Muy Alta</td> <td>17 - 20</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>- Alta</td> <td>14 - 17</td> <td>80</td> </tr> <tr> <td>- Media</td> <td>11 - 14</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>- Baja</td> <td>8 - 11</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td>- Muy baja</td> <td>5 - 8</td> <td>20</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Ítems</b> a= 5, b = 4, c = 3, d = 2, e = 1.</p> <p><b>Total = 15 puntos. Escala de Likert.</b></p>	Cat. Dx.	Rango	Puntaje	- Muy Alta	17 - 20	100	- Alta	14 - 17	80	- Media	11 - 14	60	- Baja	8 - 11	40	- Muy baja	5 - 8	20
Cat. Dx.	Rango	Puntaje																					
- Muy Alta	17 - 20	100																					
- Alta	14 - 17	80																					
- Media	11 - 14	60																					
- Baja	8 - 11	40																					
- Muy baja	5 - 8	20																					

Fuente: elaboración propia.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

En el informe científico titulado “Sostenibilidad ambiental en la explotación de presas”, se tuvo por objetivo demostrar la relación entre la sostenibilidad y la continuidad en el tiempo de las presas, de modo que sea posible garantizar la sostenibilidad en la explotación de presas en un tiempo, considerando prioritariamente el impacto ambiental, es decir, en armonía con los ecosistemas acuáticos y terrestres asociados de la que forma parte. Se llegó a la conclusión que la sostenibilidad es entendida como la utilización de los recursos naturales de manera racional para satisfacer las necesidades presentes sin comprometer el bienestar de las generaciones futuras, lo que implica la protección de los ecosistemas y el medio ambiente, y en la actualidad se utiliza para el tratamiento de los diversos fenómenos relacionados con el bienestar general y en función de las necesidades sociales (5).

En el texto titulado “Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas”, se hizo un análisis de las variables erosión y sedimentación en los embalses, y de sus causas y efectos, con el fin de proponer estrategias orientadas a evaluar los efectos que causan la erosión y la sedimentación, sus tipos, correlación y comportamiento en contextos diversos y asociados a factores como el clima, vegetación, hojarasca, tipo de suelo, topografía, velocidad del flujo y uso de la tierra. Se llegó a las conclusiones que la desviación de torrentes no se observa en los mapas geográficos, lo que no permite realizar estrategias de defensa contra la

acción del viento, ni tomar medidas preventivas respecto de las avalanchas de lodo; así también, se precisa que la protección de los efectos de la erosión, implica llevar a cabo obras de reforestación, cuidado de los pastizales, matorrales y arbustos, que, en conjunto, equivalen a muros de contención naturales del control del flujo del agua en las cuencas (1).

En el trabajo de investigación titulado “Determinación del aporte de sedimentos al embalse de “El Hato” en el Municipio de Carmen de Carupa - Cundinamarca, a través de la ecuación universal de pérdida de suelo”, se caracterizó el impacto de la erosión, el uso de los recursos naturales y el desgaste de los suelos por la erosión, llegando a las conclusiones que la pronunciada pendiente de la zona, es factor de mayores escorrentías, así como el empleo de programas informáticos se puede precisar la pérdida de los suelos (6).

## 2.2. Bases teóricas

La erosión del suelo puede ocasionar problemas de almacenamiento de agua, variación de la pendiente y presión sobre las presas hidráulicas.

### 2.2.1. Erosión

La erosión del suelo entendida, como el desgaste del suelo, afecta el equilibrio ecológico y genera pérdida de fertilidad del suelo, alterando la fauna y la flora de manera preocupante.

- Erosión hídrica: ocasionada por la presión del agua sobre los suelos. Para la caracterización de la erosión hídrica, se presentan los parámetros que son fundamentales para entender el proceso de erosión hídrica a través de su evolución, señalando los factores que la afectan, formas físicas en las que se presenta, además de los métodos empleados actualmente para intentar predecir las tasas de pérdida de suelo.



*Figura 3.* Representación de la erosión.

Fuente: propia.



*Figura 4.* Muestra N° 3.

Fuente: propia.

- El proceso de erosión: en términos generales, la erosión genera la remoción de la capa superficial del suelo, sea cual sea el agente responsable: agua, viento, hielo, actuaciones humanas, etc. Como resultado, el suelo manifiesta un descenso neto de su fertilidad natural y productividad biológica mediante la reducción del espesor efectivo, pérdida de materia orgánica y nutrientes, degradación de la estructura física y disminución de la capacidad de la retención de agua. El fenómeno de erosión se presenta como un proceso de degradación, transporte y depósito de las partículas de la masa de suelo. De este modo se determina que el proceso erosivo tiene fases principales, que comprenden el desprendimiento de las partículas individuales del suelo y su transporte, llevado a cabo por los agentes erosivos. Cuando la energía de estos agentes no es suficiente se produce la tercera fase del proceso que es la sedimentación. La erosión, por tanto, es un proceso de desgaste que ocurre naturalmente y depende de las características climáticas, la naturaleza del suelo, la topografía y la vegetación, no obstante, es posible distinguir que sobre el suelo actúan básicamente dos tipos de erosión.



*Figura 5. Proceso de erosión.*

Fuente: propia.

- Erosión geológica: es el proceso natural que se desarrolla a muy largo plazo, que ha dado origen a la mayor parte de la topografía y paisaje actual. Se tiene en dicho sentido a la erosión acelerada, que es el proceso de degradación que induce el hombre en los suelos a través de prácticas incorrectas de uso y manejo. Esta erosión causa efectos dañinos al sitio, además de provocar una disminución de la productividad como consecuencia de la pérdida de nutrientes, de materia orgánica y parte del suelo mineral (7). Según Honorato (8), los procesos erosivos se caracterizan por ser relativamente lentos, intermitentes y recurrentes en el tiempo, ya que están asociados a las lluvias o al viento. Son a la vez progresivos, ya que se va perdiendo el suelo superficial. Esto significa que se trata de procesos irreversibles y su recuperación es a menudo imposible. Si el agente es el agua, se habla de erosión hídrica y para el caso del viento se denomina erosión eólica.
  
- Mecanismos que intervienen en el proceso de erosión hídrica: como se mencionó anteriormente, el agua de lluvia ejerce su acción erosiva sobre el suelo mediante el impacto de las gotas y mediante la escorrentía o agua de escurrimiento (9). Por esta razón se hace necesario diferenciar estos principales mecanismos que intervienen en el proceso de erosión hídrica. Este proceso de erosión comienza por el impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo: (A) sus agregados son desintegrados en partículas minúsculas; (B) que tapan los poros formando una selladura superficial; (C) provocando el escurrimiento superficial del agua de lluvia; (D) el agua contiene partículas de suelo que son depositadas en lugares más bajos (10).
  
- Erosión química: cuando la estructura de la roca se altera por causa del oxígeno y el dióxido de carbono.

- Erosión por temperatura: producida por los cambios de temperatura, altera la forma de las rocas y el suelo.
- Erosión gravitatoria: generada por la acción de la gravedad, origina el fraccionamiento de la roca (11).

### 2.2.2. Embalses

Los embalses son depósitos de agua en los ríos que modifican su cauce (12).



*Figura 6.* Embalse río Lluchus.

Fuente: elaboración propia.

### 2.2.3. Cuenca

Es la convergencia de cauce de varios ríos que generan un sistema hídrico limitado por la superficie y forma del río principal, donde se observan ecosistemas, paisajes naturales y culturales, y modificaciones al medio ambiente (13).

### 2.2.4. Morfología fluvial

Corresponde a la forma que presentan los ríos y que pueden cambiar con el paso del tiempo. Por razones prácticas, se consideran tres formas fundamentales (14):

- Ríos rectos.
- Ríos entrelazados.
- Ríos a meandros.

#### 2.2.5. Régimen hidrológico

Implica las variaciones del caudal de los ríos y depende del aporte de las lluvias.

#### 2.2.6. Calidad de agua

Implica un conjunto de condiciones y propiedades físicas y químicas del agua que hace posible su consumo por el ser humano. Cuando el agua es de buena calidad, presenta ausencia de microorganismos nocivos y peligrosos para la salud del ser humano, lo que se refleja en el color, sabor, y el nivel de turbidez (15). Asimismo, se precisan factores específicos que miden la calidad del agua, los cuales son:

- Factores físicos: como los sólidos en suspensión, el nivel de turbidez, el pH y la temperatura.
- Factores químicos: si el agua contiene metales pesados como el arsénico, plomo, mercurio y cromo y fertilizantes, definitivamente es dañina y altamente peligrosa.
- Factores biológicos-bacteriológicos: se refiere a los coliformes, bacterias, hongos y virus.

#### 2.2.7. Caudal o gasto

Se define como el volumen de agua que pasa por la sección transversal del cauce por unidad de tiempo y se expresa en  $m^3/s$  o  $L/s$  (16).

#### 2.2.8. Régimen fluvial

Es el comportamiento del caudal de agua en promedio que lleva un río en cada mes a lo largo del año.

#### 2.2.9. Análisis de la variación fluvial causada por los embalses

Los embalses influyen de manera directa sobre el comportamiento dinámico de los ríos en la medida en que interrumpen la corriente de agua en determinadas zonas o áreas, afectando la diversidad ecológica.

Actualmente, existen más de 40 000 represas de gran capacidad que alteran a más del 60 % de los grandes ríos en todo el mundo. Así, la presencia de embalses se relaciona directamente con las modificaciones de los regímenes hidrológicos y ecosistemas (17).

#### 2.2.10. Efecto ambiental de los embalses

Indudablemente los embalses mejoran significativamente la calidad de vida de la población, pero también tienen un costo - beneficio además de afectar fuertemente en el medio ambiente (18).

El problema principal radica en el hecho de que se pierden de manera irreversible los ecosistemas terrestres, especialmente productivos y su sustitución por ecosistemas acuáticos menos productivos económica y/o biológicamente; la sustitución conlleva problemas ambientales múltiples, en especial baja calidad del agua (18).

#### 2.2.11. Efectos sobre el régimen hidrológico

Se altera negativamente el comportamiento del régimen hidrológico, especialmente con la reducción de los caudales.

#### 2.2.12. Efectos ambientales potenciales debido a la construcción y operación de un embalse

Detalladamente se señalan los siguientes efectos:

- Presencia de sedimentos que salen de la obra.
- Presencia de elementos químicos nocivos para la salud.
- Contaminación del aire con partículas sólidas en suspensión.
- Contaminación sonora.
- Debilitamiento de taludes por explotación de canteras.
- Alteración de la flora y fauna.

#### 2.2.13. Fases de operación del embalse

En la zona aguas arriba, se modifica el nivel freático de los suelos en la zona inundada, generando los siguientes efectos:

- Se pierden los recursos edáficos.
- Se modifica el aprovechamiento de los suelos.
- Aumentan los residuos.
- Incremento de la polución.
- Descomposición orgánica en el embalse.
- Se disminuye la cantidad de oxígeno.
- Presencia excesiva de algas.
- Incremento de la fauna.
- Incremento de sedimentos.
- Se alteran los paisajes.
- Se debilitan las estructuras de las represas.
- Modificaciones en el nivel freático.
- Desgaste de las laderas del embalse.
- Modificación en la atmósfera.
- Incremento de la sedimentación.
- Formación de diferentes capas de la temperatura desde el suelo hasta el techo.

Mientras que en la zona aguas abajo, se da:

- Desgaste del cauce por acumulación de sedimentos.
- Pérdida de fertilidad de la tierra, por la falta de limo.
- Disminuye la calidad del agua, lo que afecta a los animales y plantas.
- Desaparición de elementos nutrientes del agua.
- Perjuicios sobre los cultivos y fauna acuática.
- Descarga de agua con temperaturas inadecuadas para los usos aguas abajo.
- Beneficios respecto de la utilización de la tierra, al mejorarse el control de las inundaciones y las posibilidades de riego.
- Minimización de los niveles de contaminación al monitorear el caudal en temporadas de estiaje.

Respecto de la sedimentación en los embalses, ésta influye sobre la vida útil de las represas porque afecta su estabilidad estructural y se genera riesgos de colapso por el excesivo embalse. Cuando hay sedimentos en los embalses se originan presiones laterales sobre las estructuras de las represas, lo cual obliga a tomar medidas preventivas de alto nivel técnico con el fin de evitar el colapso de la represa (19). La sedimentación en embalses tiene muchos efectos negativos:

- Disminuye la capacidad de almacenamiento.
- Aumenta el peligro de inundación aguas arriba.
- Se degrada el lecho del río.
- Se altera el equilibrio ecológico de los sistemas locales, por el alto contenido de sedimentos.
- Desaparición de las playas por la inexistencia de arenas que son atrapadas en las presas. Asimismo, pueden malograrse las turbinas y las compuertas.

#### 2.2.14. Efectos sobre la morfología fluvial

Se modifica la dirección y magnitud de los efectos geomorfológicos sobre el cauce del río por efectos de los sedimentos (20).

### 2.2.15. Cambios en la sección transversal del cauce

De la misma forma, se generan modificaciones en las áreas transversales del cauce en lo que respecta a sus dimensiones (20).

### 2.2.16. Plan de control de sedimentos

- Lineamientos básicos: Según García (21) plantea que los lineamientos básicos están relacionados con las precipitaciones, las cuales en años ordinarios modifican los márgenes del lecho, mientras que años excepcionales, cuando hay condiciones pluviométricas especiales, se produce la sedimentación en las pendientes con periodos de retorno de 50 años.

### 2.2.17. Medidas de control de sedimentos

El control de sedimentos en la cuenca baja, hace posible controlar las inundaciones (4). En la tabla siguiente, se muestran los procedimientos de control.

**Tabla 2. Clasificación de medidas contra el arrastre de sedimentos.**

Obras de control de producción de sedimentos. Las facilidades de control de producción de sedimentos tienen por objetivo controlar la producción a través de la protección de laderas, márgenes y lecho de los ríos que son la fuente de producción de sedimentos.	Protección de laderas.
	Presa de control de sedimentos.
	Compactación del piso.
	Bandas.
	Protección de márgenes.
	Conservación de quebradas.
	Presa de control de sedimentos.
Obras de control de arrastre de sedimentos. Las facilidades de control de arrastre de sedimentos tienen por objetivo controlar los sedimentos en las secciones en que ocurren arrastre de sedimentos	Compactación del piso.
	Bandas.
	Control de agua.
	Protección de márgenes.
	Áreas de conservación.
Conservación de quebradas.	

Fuente: JICA (22).

#### 2.2.18. Factores que afectan la erosión y la sedimentación

Los factores relacionados con la erosión son (23):

- Clima.
- Vegetación.
- Hojarasca.
- Tipo de suelo.
- Topografía.
- Velocidad de flujo.
- Uso de la tierra.

Ramírez (24), sostiene que la erodabilidad es una descripción cuantitativa que indica la susceptibilidad del suelo a ser erosionado. Es el factor más importante para la predicción de la erosión.

- Vegetación: protege la superficie y reduce los impactos de la erosión (23). Esta capa protectora natural es más significativa si los árboles tienen gran altura y si los pastos, hierbas y arbustos presentan gran densidad. Para Hession *et al.* (25), la cobertura vegetal protege el suelo contra la erosión de impacto, pero, también brinda mayor consistencia al suelo por lo que el flujo superficial viaja reduciendo su velocidad y, por ende, disminuye su capacidad erosiva (23). Mather (26) opina que, por estas razones, el establecimiento de plantas es la forma más efectiva de controlar la erosión y la sedimentación, pues, una vez ocurrido esto, las tasas de pérdida de suelo disminuyen significativamente. Las plantas cumplen un papel importante en el control de la erosión, sedimentación y la retención de los suelos, porque ayudan en la prevención de los movimientos de grandes masas de tierra especialmente en las pendientes.
- Tipo de suelo: para Dissmeyer (27), la resistencia de los suelos a la erosión depende de su consistencia, su textura, composición orgánica, estructura y permeabilidad.

- Topografía: para Geralch (28), otro factor importante relacionado directamente con la erosión es la topografía del suelo, que no es otra cosa que la forma, desniveles, pendiente y cohesividad.
- Velocidad del flujo: según Wu, Li y Huang (29) la velocidad del flujo es también un factor importante de erosión, por lo que, a mayor velocidad, mayor nivel de erosión.

#### 2.2.19. Metodologías de medición de la erosión y sedimentación

Para Auza (30) las técnicas más eficientes de medición de la erosión son:

- Inventarios de erosión (usos de la tierra).
- Investigación.
- Desarrollo y evaluación de métodos en control de erosión.

Bubenzer y Mitchell (31) señala que los índices de erosión pueden determinarse con mayor precisión a partir de experimentos, debido a que se observan los factores de erosión en forma directa.

#### 2.2.20. Métodos de estimación de la erosión

Para Zar (32), la erosión puede estimarse utilizando el embudo de impacto, que se coloca a ras del suelo, fenómeno en el que, al cesar la tormenta, se observan los depósitos del sedimento en el embudo libre de humedad. Otro método consiste en colocar papeles de diferentes pesos en los que se impregna el sedimento desprendido.

#### 2.2.21. Medición de la erosión laminar

- a) Parcelas de erosión: según Tánago (33), las parcelas de erosión, en muchos casos sirven para ser empleadas como módulos de monitoreo y control de los sedimentos y los niveles de erosión. Morgan (23) sostiene que las parcelas deben aislarse del total de la superficie donde sucede la erosión, de modo que, al hacer el control

se miden los niveles de escorrentía y la pérdida de suelo en cada parcela.

- b) Colectores de Geralch: otro método es la instalación de colectores en los que se deposita la escorrentía superficial que procede de las laderas. El sedimento depositado en los recipientes, una vez que se hayan estimado sus pesos, se seca y se miden los índices de erosión (28).
- c) Mallas de limo: con las mallas de limo se abrevia el tiempo y se reduce el costo y la estimación se realiza con mucha más precisión (27).
- d) Dendrocronología: para Brea (1), la erosión laminar es un proceso lento, el cual solo se puede apreciar entre un objeto y el nivel de la superficie.
- e) Clavos de erosión: según Pérez y Sandoval (34), con este método se utilizan clavos de erosión que son incrustados en la superficie del suelo, de forma que sólo quede visible la golilla del clavo. Luego de un tiempo se mide la distancia entre la golilla y la superficie del suelo, este dato representa la pérdida de suelo neta.

#### 2.2.22. Medición de erosión en rieles y cárcavas

Para Chappell *et al.* (35) es el método más sencillo, que consiste en calcular el volumen el cual se multiplica por la densidad del suelo donde se hace el estudio. Para la medición de la erosión y la sedimentación a nivel de cuencas hidrográficas, según Chávez (36) cuando se trata de cuencas de ríos, los métodos que se aplican son:

- Estimación de los sedimentos que están suspendidos en la parte alta.
- Medición de los sedimentos depositados en áreas específicas, de modo que, se establezcan las relaciones entre el caudal y la acumulación de sedimentos.

#### 2.2.23. Características del área de investigación

La cuenca hidrográfica es un escenario dinámico integrado por los recursos naturales, infraestructura, medios o servicios y las actividades que desarrolla el hombre la cual genera efectos positivos y negativos sobre los sistemas naturales de la cuenca, razón por la cual deben considerarse los peligros y riesgos ante eventos extremos y fenómenos naturales severos. Por otro lado, es importante reconocer que la base para el desarrollo de un pueblo es la educación y la relación entre estos dos conceptos se estrecha en la medida que aumente el compromiso de edificar una ética ciudadana y un sistema de valores basado en los principios de respeto a los ecosistemas y a la cultura.

Las características físicas de una cuenca forman un conjunto que influye profundamente en el comportamiento hidrológico de dicha zona tanto a nivel de las excitaciones como de las respuestas de la cuenca tomada como un sistema. El estudio sistemático de los parámetros físicos de las cuencas es de gran utilidad práctica en la ingeniería de la Hidrología, pues con base en ellos se puede lograr una transferencia de información de un sitio a otro, donde exista poca información.

El Estado tiene como propósito de mejorar la oferta de agua a través el mejoramiento de la eficiencia del uso y de la gestión integrada en las cuencas hidrográficas para lo cual es necesario tener conocimiento de la cantidad de agua que puede llevar un río, el caudal en las máximas avenidas y el caudal en tiempos de estiaje, para el abastecimiento de las poblaciones, en tal sentido son importantes conocer factores como caudal de los ríos, así como la capacidad del suelo de absorber el agua (infiltración), y el poder de evapotranspiración de las plantas.

Siendo el agua un recurso finito y vulnerable, esencial para sostenimiento de la vida, el desarrollo económico, la preservación del medio ambiente, actividades industriales, agropecuarias etc., su aprovechamiento debe estar enmarcado en una gestión integrada, con la participación de los usuarios y de la sociedad en su conjunto, considerando:

- El área de influencia del estudio presenta características y niveles socioeconómicos relativamente bajo debido al escaso desarrollo de la principal actividad económica que es la actividad agropecuaria,

cuya expansión está fuertemente limitada por un bajo nivel de explotación de los recursos agua y tierra.

- El problema central se ha definido como la baja producción y productividad agropecuarias, siendo la causa crítica la producción bajo riego con limitaciones y la producción de secano del área del proyecto.
- Los costos de operación y mantenimiento de la infraestructura de riego mayor y menor serán cubiertos por los agricultores en un 100 %, compromisos que son asumidos por ellos con la finalidad de asegurar la sostenibilidad del proyecto.
- Las obras y medidas del proyecto no ocasionarán impactos ambientales negativos de importancia, los cuales serán fácilmente atenuados por las medidas de mitigación planteadas.

El Centro Poblado de La Punta posee una superficie agrícola bruta total aproximadamente de 11 624.48 ha, con problemas de distinta naturaleza.

Existen terrenos donde se cultivan mediante riego, terrenos que se cultivan en seco y terrenos que solo están labrados (barbecho), en descanso, o no, son trabajados.

Solo un poco de porcentaje del río Lluchus es aprovechado para la fuente de riego de los cultivos del Centro Poblado de La Punta; esta situación, trae como consecuencia un bajo nivel de la actividad económica agrícola, lo que se constituye en el problema central.

Las causas relevantes se han identificado a la agricultura de bajo riego, deficiente, al nivel bajo tecnológico de la actividad agrícola y a las inadecuadas técnicas de riego parcelario.

A esto se mencionan efectos relevantes; como efectos directos: los bajos recursos de los agricultores; efectos indirectos: estancamiento de la actividad agrícola y migración de la población.

#### 2.2.24. Descripción general de la cuenca y del curso principal de la fuente natural

- a) Ubicación y delimitación del área de estudio: distrito de Sapallanga.

- b) Ubicación política y administrativa:
- Región: Junín.
  - Provincia: Huancayo.
  - Centro Poblado: La Punta, a 8 km. de la ciudad de Huancayo.
- c) Ubicación geográfica: el distrito de Sapallanga es uno de los 28 distritos de la provincia de Huancayo, Junín. Está ubicado en la margen izquierda del río Mantaro, a 8 km de Huancayo (sur), a 20 minutos de la ciudad de Huancayo.
- d) Extensión y límites: limita por el Norte con los distritos de Chilca y Huancán. Por el Sur y Este limita con el distrito de Pucará. Por el Oeste, con los distritos de Huayucachi y Hucrapuquio. El distrito de Sapallanga se encuentra a 3 278 msnm, región Quechua, Suni y Puna, entre las coordenadas geográficas 12°08'38.42" Latitud Sur 75°09'44.90" Longitud Oeste, respecto al Meridiano de Greenwich.
- e) Límites:
- Norte: con los distritos de Chilca y Huancayo, punto límite Huicho Cruz.
  - Oeste: con los distritos de Huayucachi, Viques y Huacrapuquio.
  - Sur: con el distrito de Pucará.
  - Este: con el anexo de San Marcos de Rocchac (Pariahuanca) y Huaribamba.

La delimitación de una cuenca se realizó sobre un plano a curvas de nivel, siguiendo las líneas del *divortium acuarum* o líneas de las altas cumbres.

#### 2.2.25. Descripción de la zona de estudio

Delimitación de la Subcuenca del río Lluchus.

- a) Área (A): el área de una cuenca, o cualquier área en un plano, se puede calcular con un planímetro, equipo diseñado para aquello.

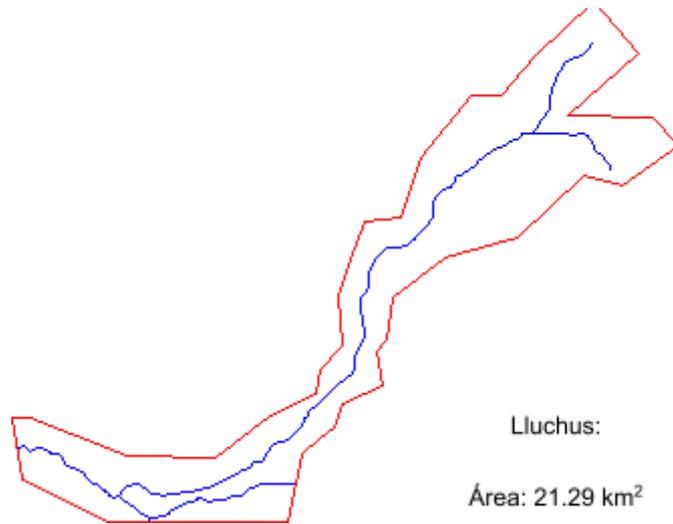


Figura 7. Área del río Lluchus.

Fuente: elaboración propia.

- b) Perímetro (P): el perímetro de una cuenca se refiere a la medición lineal del parte-agua de la cuenca y se expresa en kilómetros.

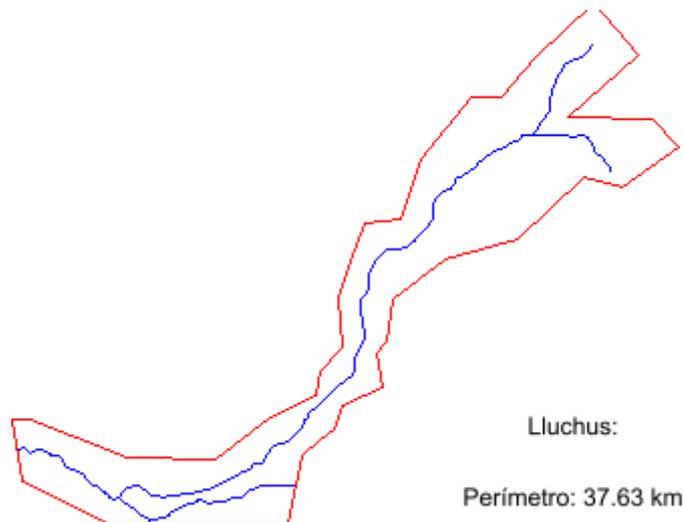


Figura 8. Perímetro de la subcuenca del Lluchus.

Fuente: elaboración propia.

#### 2.2.26. Geología del área de influencia

Tabla 3. *Geología del área de influencia.*

PERIODO		DESCRIPCIÓN
<b>Q - c</b>	Cuaternario	Fasies Continentales Sedimentarios (zona Norte y Centro). Depósitos eólicos, aluviales, fluviales, morrenas, fluvio-glaciares.
<b>Pali</b>	Devoniano - Cambriano	Sedimentos y Metamórficas Indivisa Sedimentos del Pal. Inf. Localmente meteorizados, incluye grupo Exelsior y Núcleos Pre-cambrianos.
<b>Pms - c</b>	Triásico - Permiano	Fasies Continentales Sedimentario (zona Norte y Centro) Grupo Mitu.

Fuente: recopilado del Mapa Geológico del Perú.

#### 2.2.27. Relieve

El distrito de Sapallanga (2 450 msnm) se encuentra en la región quechua. Dicha región Constituye la zona medular de la región andina y se extiende desde los 2 300 a los 3 500 msnm. El clima de esta región es templado seco, con lluvias periódicas de diciembre a marzo, con variedades sensibles de temperaturas entre el día y la noche, pero con la moderación apropiada y permisible para la vida humana. El relieve de esta región es escarpado conformado por los valles interandinos y los flancos de suaves pendientes.

Tabla 4. *Perfil longitudinal del curso de agua.*

Lluchus		
Puntos	Distancia (km)	Cota
A	0	3 200
B	6	3 300
C	7.26	3 400
D	8.29	3 500
E	9.14	3 600
F	9.57	3 700
G	10	3 800
H	10.5	3 900
I	11	4 000
J	11.5	4 100

K	12	4 200
L	13.37	4 300
M	14.88	

Fuente: compilación propia.

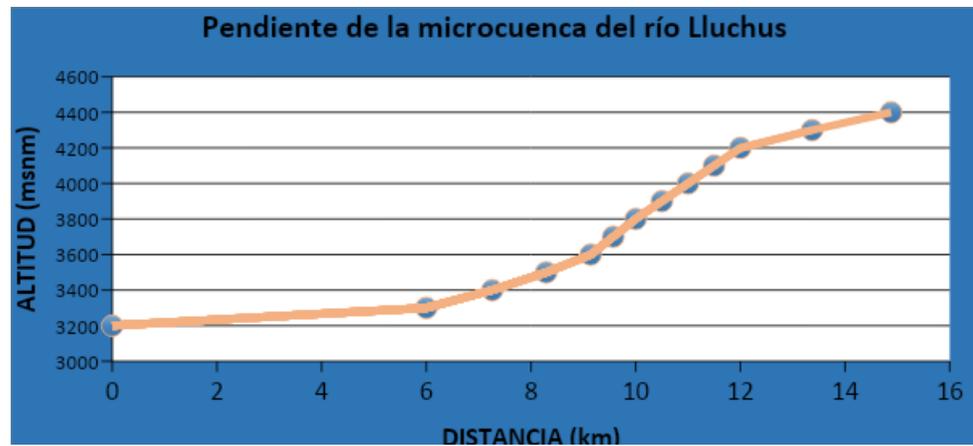


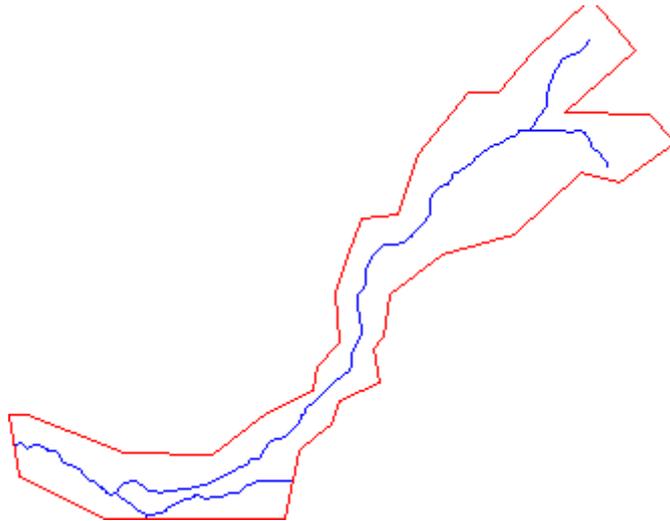
Figura 9. Gráfico de la pendiente de la microcuenca del río Lluchus.

Fuente: elaboración propia.

#### 2.2.28. Hidrología del área de influencia

En nuestra región se cuenta con cuencas y subcuencas hidrográficas. En la zona de la sierra se tiene como principal colector al río Mantaro con una longitud de 724 km y tiene 07 principales lagunas: Chinchaycocha (Junín), Huascacocha, Marcapomacocha, Coyllorcocha, Paca, Yurajcocha, Pomacocha y Huichicocha. La cuenca del Mantaro y subcuencas abarcan aproximadamente 1 541 319 ha.

- a) Sistema hidrográfico: abarca al río Chaclas que pertenece a la subcuenca del río Chanchas y esta pertenece a la cuenca del río Mantaro, ubicada a 3 400 msnm y se encuentra al norte de Huancayo, específicamente a 8 km en la provincia de Huancayo, distrito Sapallanga, anexo de Miraflores.
- b) Subcuencas tributarias: el río Chaclas es la unión de dos quebradas, específicamente de la unión de la quebrada Chaucancha con la quebrada Sulcunga.



*Figura 10.* Subcuenca del río Lluclus, de segundo orden.

Fuente: elaboración propia.

#### 2.2.29. Clima

Durante los meses que corresponden al invierno y a la primavera se produce una fuerte insolación debido a la transparencia de la atmósfera. Durante la noche la temperatura baja súbitamente, por la escasa humedad existente en el aire. En la región quechua la media anual varía entre los 7 y 4°C. Durante los meses de diciembre a marzo se presentan abundantes lluvias estacionales. El resto del año se caracterizaba por la sequía. El clima se caracteriza porque su régimen de humedad tiene dos estaciones bien marcadas: mayo-octubre estación seca y noviembre-abril estación húmeda; su régimen térmico debido a la incidencia de bajas temperaturas trae consigo frecuentes heladas en toda la estación seca y algunas dentro de la humedad, siendo estas de los cultivos entre el macollaje y el inicio de la floración. En Sapallanga, los veranos son cortos, cómodos y nublados; los inviernos son cortos, fríos y parcialmente nublados y está seco durante todo el año. La temperatura generalmente varía de 5 a 20°C y rara vez baja a menos de 3°C o sube a más de 22°C. En base a la puntuación de turismo, la mejor época del año para visitar Sapallanga para actividades de tiempo caluroso es desde finales de abril hasta principios de octubre.

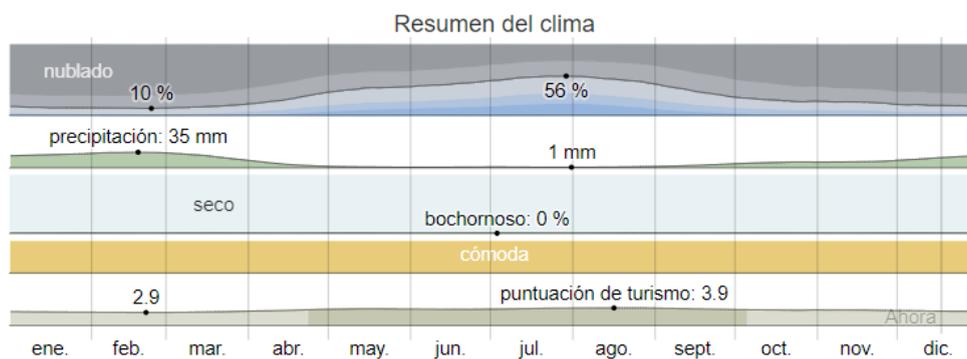


Figura 11. Variación del clima.

Fuente: Weather Spark.

La temperatura varía entre 7 a 20°C, sin embargo, hay días en que las temperaturas alcanzan indicadores bajo cero.

### 2.2.30. Temperatura

En el periodo comprendido del 11 de junio al 24 de julio, la temperatura media es de 19°C, con una temperatura mínima de 5°C.

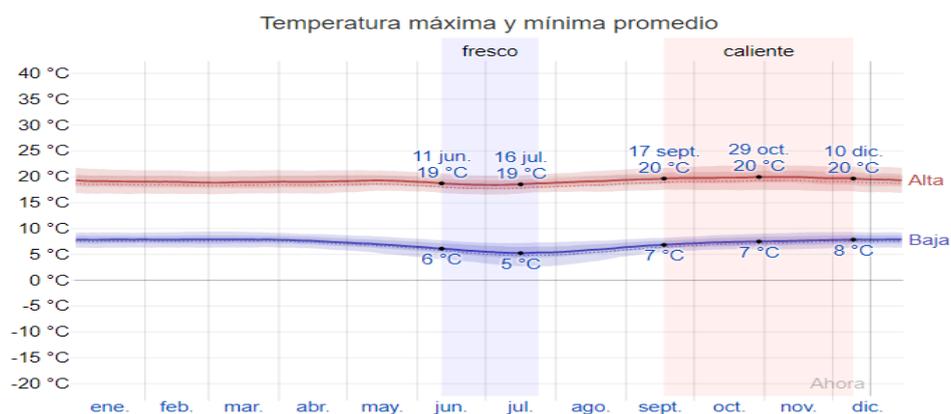


Figura 12. Temperatura promedio.

Fuente: Weather Spark.

### 2.2.31. Nubes

La nubosidad presenta días nublados parcialmente en un porcentaje del 56 % y nublados totalmente con un 44 %. Los días más despejados se inician el 30 de abril, con una duración de cuatro meses y medio. Los días más nublados se inician el 18 de setiembre hasta el 29 de abril.

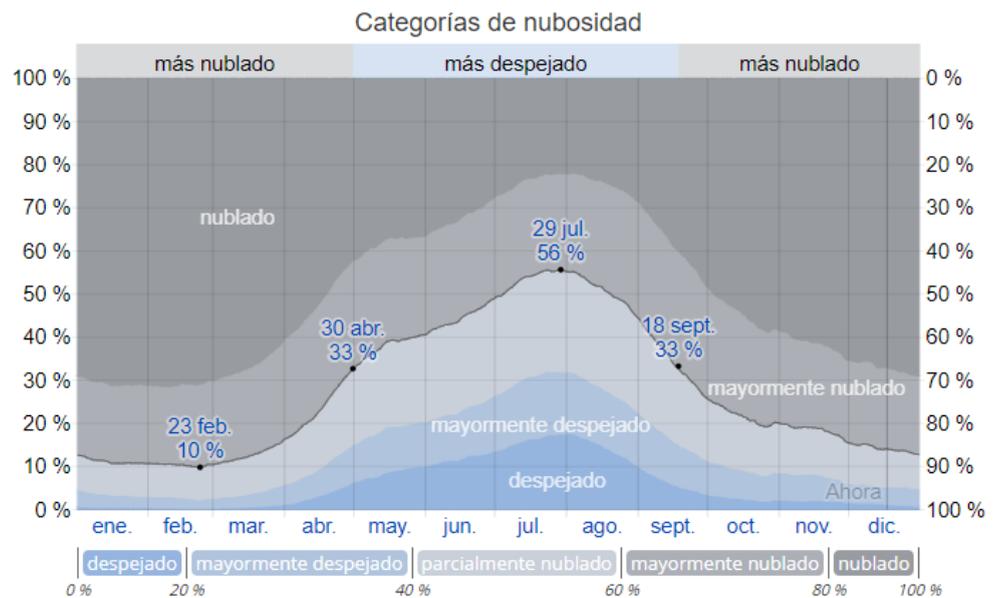


Figura 13. Nubosidad por categorías.

Fuente: Weather Spark.

### 2.2.32. Precipitación

La temporada con mayores precipitaciones dura aproximadamente cuatro meses, desde el 2 de diciembre hasta el 30 de marzo, y la temporada seca dura ocho meses, del 30 de marzo al 2 de diciembre.



Figura 14. Probabilidad diaria de precipitaciones.

Fuente: Weather Spark.

### 2.2.33. Lluvia

Las lluvias varían en función de las estaciones y generalmente, los días de lluvia duran aproximadamente cinco meses y medio, desde el 18 de octubre al 7 de abril. Los días de sequo duran aproximadamente seis meses y medio, desde el 7 de abril al 18 de octubre.

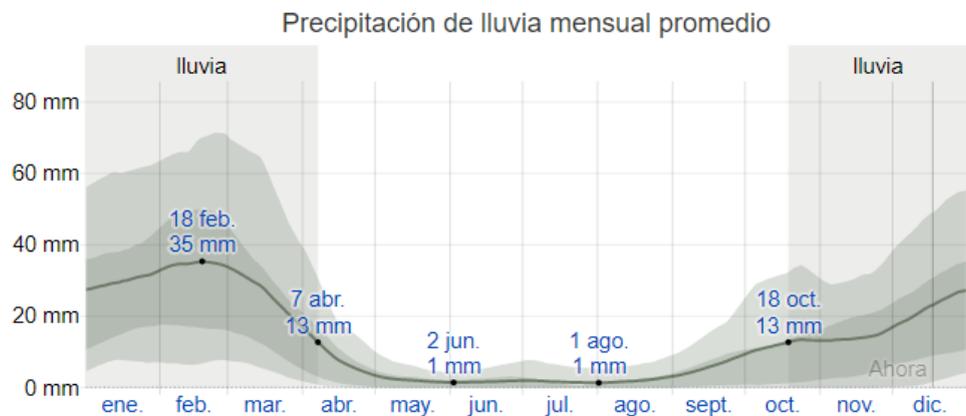


Figura 15. Precipitación de lluvia mensual promedio.

Fuente: Weather Spark.

### 2.2.34. Humedad

Por lo general las noches son húmedas y los porcentajes de humedad se mantienen con indicadores constantes de 0 %.

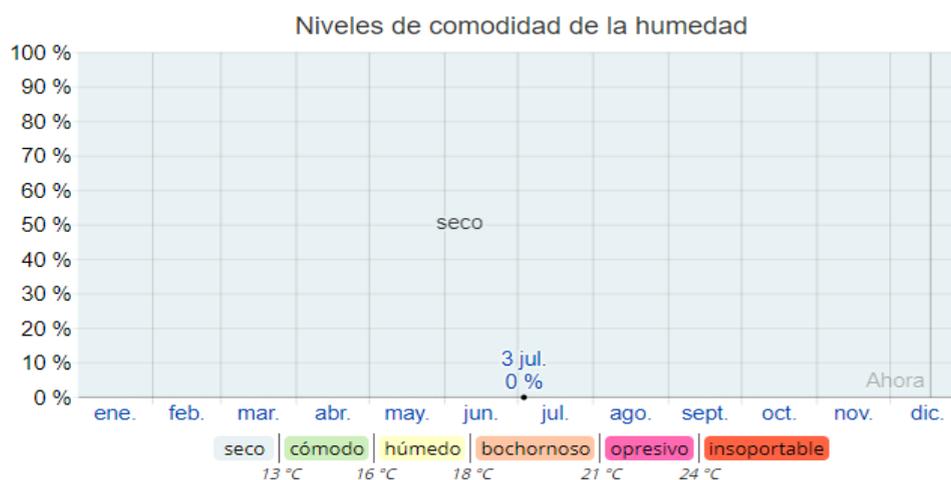


Figura 16. Niveles de comodidad de la humedad.

Fuente: Weather Spark.

### 2.2.35. Viento

Los vientos se dan en función de la topografía local y de otros factores como la velocidad y dirección, que registran niveles diversos de variación en promedios por hora. Los meses donde se presentan mayores vientos son julio y noviembre, con velocidades promedio de 9,8 km por hora, y el día donde se presenta mayores vientos es el 4 de setiembre, con una velocidad de 10.9 km por hora. Los días más calmados tienen una duración de ocho meses, del 19 de noviembre al 22 de julio, y el día más calmado es el 30 mayo con una velocidad media de 8.6 km por hora.

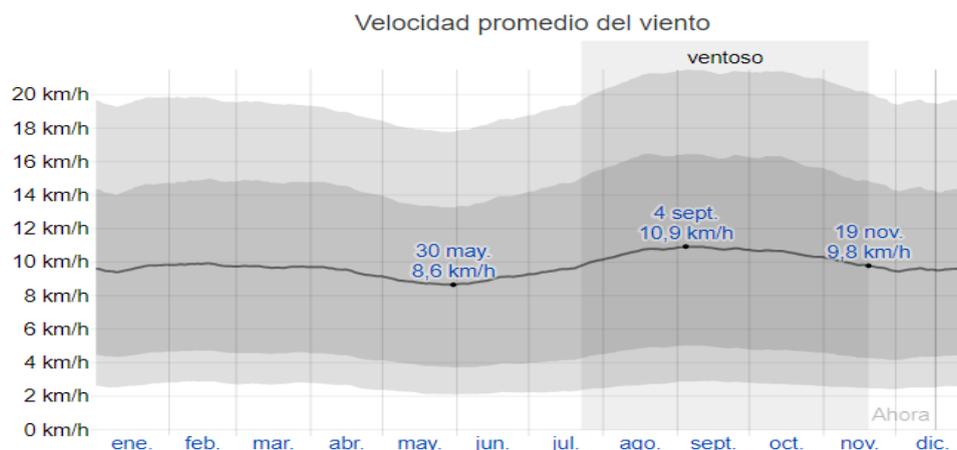


Figura 17. Velocidad promedio del viento.

Fuente: Weather Spark.

### 2.2.36. Recurso suelo

La capacidad de uso mayor de las tierras se basa en las limitaciones permanentes de los suelos para poder mantener actividades agrícolas, pecuarias o forestales dentro de los márgenes económicos.

Tabla 5. *Parámetros acerca de la capacidad de uso mayor de suelos de Sapallanga.*

Distrito	Área (Has)	A3c-Plc	F3c-P2e	Plc	Plc-X	Otras tierras
<b>Sapallanga</b>	11 624.48	2 535.66	45.03	8 698.31	14.75	330.73

Fuente: recopilado de la Oficina Nacional de Agricultura.

Por lo general, predominan suelos relativamente profundos, arcillosos, de reacción ácida, tonos rojizos a pardos. Estas zonas de vida, a pesar de tener una precipitación no mayor de 800 mm anuales y la reducida evapotranspiración debido a las temperaturas bajas, permiten llevar a cabo una agricultura de secano.

- bh-MT:
  - o Tiene una biotemperatura media anual entre 12 a 18°C.
  - o Relación de evapotranspiración potencial de 0.5 a 1.0

- o Se encuentra en la región latitudinal templada fría.
- o Provincias de humedad: húmedo.
- o Piso altitudinal: montano.
- o Con un total de potencial evapotranspiración por año de 353 707 mm.
- Páramo muy húmedo Subalpino Tropical: geográficamente, ocupa las partes orientales de los Andes en sus porciones Norte, Centro y Sur y entre los 3 900 y 4 500 msnm. La configuración topográfica está definida por áreas bastante extensas, suaves a ligeramente onduladas y colinadas.
- bs-MBT:
  - o Tiene una biotemperatura media anual entre 3 a 6°C.
  - o Relación de evapotranspiración potencial de 0.25 a 0.50
  - o Se encuentra en la región latitudinal Boreal.
  - o Provincias de humedad: Perhúmedo.
  - o Pisos altitudinales: Subalpino (Subandino).
  - o Con un total de potencial evapotranspiración por año de 177 mm a 353 mm.

#### 2.2.37. Flora:

La flora del distrito de Sapallanga se caracteriza por ser muy rica y variada, la vegetación se alterna con una gran variedad de cactus columnares, que son permanentes y caracterizan a la provincia; las lluvias alimentan el desarrollo de la vegetación herbácea o pastos naturales.

Entre las plantas cultivadas se tiene: papa, cebada, maíz, trigo, habas, alverja y en pequeña escala alfalfa. Como plantas exóticas y árboles maderables se tienen al eucalipto y el ciprés.

#### 2.2.38. Fauna

Por otro lado, el distrito de Sapallanga se caracteriza por tener una variedad de aves silvestres como son la paloma, el colibrí, el yanavico, tórtola, jilguero, gaviotas, garzas, gavilán, búhos, tucos, pitos, entre otros. Algunos mamíferos como el zorro colorado, el añas o zorrillo, la vizcacha, el venado, la vicuña, la muca o zarigüeya, etc. La fauna también está conformada principalmente por los auquénidos: alpaca, vicuña, guanaco, llama; además de ganado vacuno y ovino.

#### 2.2.39. Calidad de agua

Se tomó una muestra de agua en la cuenca y los datos arrojados en los estudios de laboratorio corresponden al análisis de los siguientes parámetros (tabla siguiente).

Tabla 6. *Parámetros de calidad de agua.*

PROPIEDAD	INSTRUMENTO	RESULTADO
pH	Potenciómetro	6 - 8
Salinidad	Conductímetro (NaCl)	No hay
Conductividad eléctrica	Potenciómetro	70 uV
STD	Conductímetro	Mínima
Turbiedad	Turbidímetro	Escasa turbidez

Fuente: elaboración propia.

#### 2.2.40. Análisis y tratamiento de la información hidrometeorología e hidrométrica

Los datos estadísticos están en base a la estación de Santa Ana:

- Análisis de evapotranspiración: aplicando el método directo:

- Se cubre y cierra la boca de la bolsa con una pequeña porción de rama de las plantas de aliso, motoy y eucalipto.
  - Se deja durante 1 hora y pesa en la balanza electrónica.
  - El tiempo y equivalencia de alcance de transpiración corresponde de la siguiente manera: chilca, motoy, eucalipto, aliso (1.5, 1.2, 1.8, 1.8 ml, respectivamente).
- Análisis de infiltración: se denomina capacidad de infiltración a la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo y la mayor o menor compactación que tiene el mismo. Para aquello se emplea el método del cilindro infiltrómetro:
    - Se planta el tubo en la superficie del suelo tanto en pendiente plana y pendiente inclinada.
    - Se impermeabiliza la base del tubo para que no exista pérdida de líquido.
    - Se coloca una cinta métrica al costado del tubo, esto permitirá medir el descenso del agua.
    - Se vierte agua en el tubo hasta una altura de 15 cm y se anota el descenso del mismo cada 5 minutos.
  - Análisis de caudal: el término caudal, gasto y descarga son sinónimos. Aforar significa medir caudales. El principal método para aforar corrientes naturales es el del correntómetro, el cual es descrito de la siguiente manera: después de seleccionar adecuadamente la sección del río, se establece la sección de aforo y se produce a medir diariamente el caudal; también se mide el nivel del río.
  - Cálculo del área transversal: antes de la piscigranja.

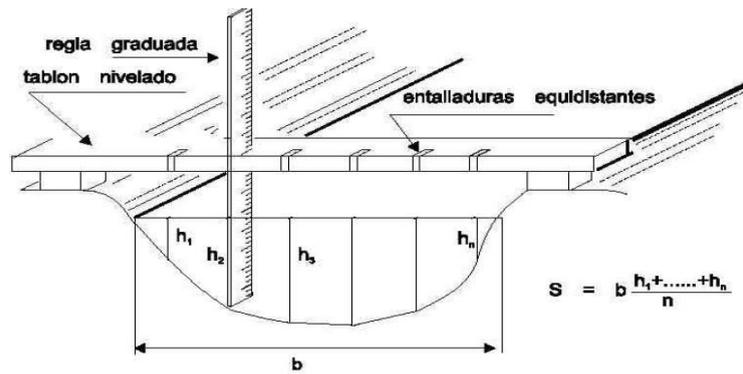


Figura 5

Figura 18. Gráfico para el cálculo de la sección transversal.

Fuente: elaboración propia.

- Método del flotador: aplicado en lugares uniformes y que tengan tramos rectos, considerando:
  - o Delimitar el área con una distancia de 10 m de longitud.
  - o Medir la longitud de la sección transversal del río.
  - o Medir las cotas del río (nivel del cauce del río) para obtener el área transversal del río.
  - o Mediante flotadores, tomar el tiempo que demora en recorrer desde la cinta superior delimitada hasta la inferior.

Tabla 7. Medición a través del flotador.

		Flotador	
		Muñequita azul 1	Muñequita azul 2
Medición 2	Tiempo (s)	MA	12.91
		MA	12.03
	<b>Promedio</b>		<b>12.47</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Área transversal del río.

Distancia horizontal (cm)	Área superior	Área inferior
	Profundidad (cm)	Profundidad (cm)
0	0	0
0.5	10	7
1	21	8.5
1.5	22.5	20.5

2	30	19
2.5	26	22
3	13	23
3.5	16.5	17.5
4	9	13.5
4.5	19	9.2
5	18	22
5.5	22	16
6	0	14
6.5		12
7		13.5
7.5		10
8		0

Fuente: elaboración propia.

- Área superior:  $S = 1.1291 \text{ m}^2$
- Área inferior:  $S = 1.1385 \text{ m}^2$

Tabla 9. *Determinación de la velocidad.*

Prueba	MA
1	12.91
2	12.03
3	
4	
5	
PROMEDIO	<b>12.47</b>
Velocidad	0.59 m/s

Fuente: elaboración propia.

$$Q = 0.75 \cdot A \cdot V$$

<u>Superior</u>	$Q \text{ ma} = (0.75) \cdot 1.1291 \text{ m}^2 \cdot 0.59 \text{ m/s}$	=	0.499 m <sup>3</sup> /s
<u>Inferior</u>	$Q \text{ ma} = (0.75) \cdot 1.1385 \text{ m}^2 \cdot 0.59 \text{ m/s}$	=	0.504 m <sup>3</sup> /s
<u>Área promedio</u>	$Q \text{ ma} = (0.75) \cdot 1.1338 \text{ m}^2 \cdot 0.59 \text{ m/s}$	=	0.502 m <sup>3</sup> /s

Tabla 10. *Determinación del área.*

Fuente: elaboración propia.

- Después de la piscigranja: método del flotador aplicado en lugares uniformes y que tengan tramos rectos:
  - o Se delimita el área con una distancia de 10 m de longitud.
  - o Se mide la longitud de la sección transversal del río.
  - o Se mide las cotas del río para obtener el área transversal del río.
  - o Mediante flotadores se toma el tiempo que demora en recorrer desde la cinta superior delimitada hasta la inferior.

Tabla 11. *Medición a través del flotador (2).*

<b>Flotador</b>			
		MA	MA
<b>Medición 2</b>	Tiempo (s)	Anilina 1	10.3
		Anilina 2	10.5
	<b>Promedio</b>		<b>10.4</b>

Fuente: elaboración propia.

2.2.41. Disponibilidad de agua a nivel mensualizado de acuerdo al planteamiento hidráulico

Miraflores es una comunidad generalmente campesina; el desvío de agua es importante y esencial para el crecimiento de las plantas, por esta razón los pobladores de las comunidades de Miraflores y Sapallanga desvían el agua.

- Usos y demandas del agua:

Tabla 12. *Usos y demandas del agua.*

FACTORES	CAUDAL	DESCRIPCIÓN
<b>Ingreso de agua a la piscigranja</b>	0.506 m <sup>3</sup> /s	Es el caudal de agua que ingresa a la piscigranja, para diversos usos, entre ellos la supervivencia de las truchas.

<b>Salida de agua de la piscigranja</b>	0.465 m <sup>3</sup> /s	El caudal de agua que se pierde por pérdida del consumo de los peses, evaporación y desvié de las aguas, dado que no toda el agua del río entra a la piscigranja haciendo que se pierda el volumen de agua.
<b>Agua utilizada para regadíos mediante un canal</b>	0.318 m <sup>3</sup> /s	El agua que se destina al regadío de la planta, además de otros usos sea industrial, es desviada del río por medio de un canal.
<b>Agua que corre por el río</b>	0.147 m <sup>3</sup> /s	Es la cantidad de agua que transcurre por el río.
<b>Agua que corre por la desembocadura del río</b>	< 0.147 m <sup>3</sup> /s	Esto es por pérdida ya sea por infiltración, escorrentía, entre otros.

Fuente: elaboración propia.

- Demanda de agua:

Tabla 13. *Áreas disponibles para la agricultura.*

<b>CULTIVO CON LLUVIAS</b>	<b>ha</b>	<b>CULTIVO CON RIEGO</b>	<b>ha</b>
<b>PAPA</b>	10	Maíz - choclo	15
<b>MAÍZ - GRANO</b>	20	Hortalizas	1
<b>MAÍZ - CHOCLO</b>	5	Avena forrajera	15
<b>TRIGO</b>	50	Haba (verde)	15
<b>CEBADA</b>	150	Alverja (verde)	15
<b>ALVERJAS</b>	0	Maíz - choclo	20
<b>HABAS</b>	8	Hortalizas	0
<b>HORTALIZAS</b>	2	Papa	25
<b>PASTOS</b>	0	Pastos	8
<b>TOTAL</b>	245	<b>TOTAL</b>	114

Fuente: elaboración propia.

COEFICIENTE DE CULTIVO	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>Kc</b>	1.05	1.07	0.57	0.30	0.42	0.60	0.71	0.97	0.93	0.95	0.56	0.84

Tabla 14. Cálculos del coeficiente de cultivo (kc).

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. Factor mensual de evapotranspiración (mf).

LATITUD SUR	MESES											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
<b>12°</b>	2.625	2.292	2.35	2.002	1.799	1.61	1.72	1.95	2.169	2.48	2.52	2.543
<b>12.1440055</b>	2.953	2.450	2.29	1.747	1.410	1.17	1.29	1.61	2.023	2.56	2.799	4.146
<b>13°</b>	2.652	2.305	2.34	1.981	1.767	1.5	1.68	1.92	2.157	2.48	2.543	2.675

Fuente: elaboración propia.

Tabla 16. Valores de evapotranspiración potencial (ETP).

ALTITUD:		3278 msnm											
PARÁMETROS	MESES												MEDIA
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
<b>MF</b>	2.95	2.45	2.289	1.74	1.41	1.17	1.29	1.61	2.02	2.562	2.799	4.14	2.205
<b>TMF (°F)</b>	54.3	53.9	53.60	53.2	51.8	50.3	50.0	51.9	54.1	55.58	55.94	55.0	53.33
<b>CH</b>	0.89	0.85	0.837	0.94	1.00	1.12	1.07	1.05	1.01	0.986	0.986	0.94	0.9748
<b>CE</b>	1.07	1.07	1.066	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	1.066	1.066	1.07	1.066
<b>ETP</b>	152	120	109.4	92.6	78.2	70.6	74.2	94.3	118	149.6	164.6	229	122.12

Fuente: elaboración propia.

- Balance hídrico mensualizado: el estudio de los datos estadísticos del balance en cuanto a ganancia y pérdida de agua se realiza con mediciones y datos por estaciones. La determinación y descripción de los principales componentes del balance hídrico se presenta a continuación.

Tabla 17. Balance hídrico mensualizado.

MES	PRECIPITACIÓN	EVAPOTRANSPIRACIÓN	EVAPORACIÓN
<b>ENERO</b>	99.7	-	-
<b>FEBRERO</b>	114.2	-	-
<b>MARZO</b>	97.2	-	-
<b>ABRIL</b>	40.3	-	-
<b>MAYO</b>	10.8	-	-
<b>JUNIO</b>	5.6	-	-

<b>JULIO</b>	5.4	-	-
<b>AGOSTO</b>	11.3	-	-
<b>SEPTIEMBRE</b>	27.1	-	-
<b>OCTUBRE</b>	63.7	-	-
<b>NOVIEMBRE</b>	74.9	-	-
<b>DICIEMBRE</b>	106.0	-	-
<b>ANUAL</b>	656.2	-	-

Fuente: compilación propia de datos de la Estación de Santa Ana.

Para la determinación del balance hídrico a escala mensual de la cuenca se debe establecer una relación de 10 %.

Tabla 18. *Balance hídrico mensual de la cuenca (10 %).*

<b>MES</b>	<b>PRECIPITACIÓN</b>	<b>INFILTRACIÓN</b>
<b>ENERO</b>	99.7	9.97
<b>FEBRERO</b>	114.2	11.42
<b>MARZO</b>	97.2	9.72
<b>ABRIL</b>	40.3	4.03
<b>MAYO</b>	10.8	1.08
<b>JUNIO</b>	5.6	0.56
<b>JULIO</b>	5.4	0.54
<b>AGOSTO</b>	11.3	1.13
<b>SEPTIEMBRE</b>	27.1	2.71
<b>OCTUBRE</b>	63.7	6.37
<b>NOVIEMBRE</b>	74.9	7.49
<b>DICIEMBRE</b>	106.0	10.60
<b>ANUAL</b>	656.2	65.62

Fuente: elaboración propia.

Cuando la relación es de 40 %, se alcanzan los siguientes datos.

Tabla 19. *Balance hídrico mensual de la cuenca (40 %).*

<b>MES</b>	<b>PRECIPITACIÓN</b>	<b>INFILTRACIÓN</b>
<b>ENERO</b>	99.7	39.86
<b>FEBRERO</b>	114.2	45.70
<b>MARZO</b>	97.2	38.89
<b>ABRIL</b>	40.3	16.11
<b>MAYO</b>	10.8	4.33
<b>JUNIO</b>	5.6	2.26

<b>JULIO</b>	5.4	2.16
<b>AGOSTO</b>	11.3	4.52
<b>SEPTIEMBRE</b>	27.1	10.84
<b>OCTUBRE</b>	63.7	25.47
<b>NOVIEMBRE</b>	74.9	29.96
<b>DICIEMBRE</b>	106.0	42.39
<b>ANUAL</b>	656.2	262.49

Fuente: elaboración propia.

- Características hidráulicas: teniendo como base la Estación Huaytapallana, los coeficientes de escorrentía deducidos y los ajustes de precipitación en función de las curvas isoyetas, se está generando los caudales para el período homogenizado 1966-95. Las descargas producidas en cada sección, susceptibles de ser reguladas, son las siguientes:

- Milpopampa: 0.11 m<sup>3</sup>/s.
- Yacutinco: 0.29 m<sup>3</sup>/s.
- Sapallanga (bocatoma): 0.55 m<sup>3</sup>/s.

De acuerdo a los indicadores registrados, se puede afirmar que:

- El agua del río Lluchus se usa para regadíos y piscigranjas.
- La pérdida masiva de las corrientes de agua del río Lluchus se genera por los regadíos, de modo que, el agua desviada no es recuperable y, por ende, no regresa al curso del río, disminuyendo su capacidad hídrica.
- El agua usada para la crianza de truchas es regresada al cauce del río, haciendo que el río no pierda su capacidad hídrica, por lo que no genera impactos negativos al río Lluchus.
- La corriente en medio del río Lluchus tiene un caudal aproximando de 0.506 m<sup>3</sup>/s, lo cual es producto de las lluvias o se da por la desglaciación del nevado del Huatapallana, lo cual puede variar dependiendo de las estaciones del año y las precipitaciones acumuladas.
- El agua que se pierde por diferentes usos no será recuperable haciendo que río abajo las comunidades, o campos de sembríos,

se queden sin agua ocasionado problemas serios, dado que en la desembocadura del río Lluchus casi no hay agua.

- Características topográficas: la subcuenca del río Lluchus, tiene pendientes pronunciadas en la parte alta, mientras que en la parte media presenta pendientes moderadas y en la zona baja, pendientes mínimas que corresponden a llanuras.

### 2.3. Definición de términos

- Afluente: río secundario que desemboca en otro considerado como principal.
- Batimetría: levantamiento del relieve de superficies subacuáticas
- Canal abierto: es una conducción abierta a la atmósfera en la que el líquido fluye sometido a la presión atmosférica.
- Captación: es la recolección de agua de lluvia para luego almacenarla y darle uso en periodos de estiaje.
- Cauce: lecho de un río, arroyo u otra corriente de agua.
- Caudal: volumen de agua que circula por el cauce de un río en un lugar y tiempo determinados.
- Cuenca: forma geográfica que hace que el agua que proviene de las montañas o de deshielo descienda hasta llegar al mar.
- Embalse: gran masa de agua depositada en una hondonada natural o en una presa.
- Erosión: proceso de desgaste que sufre el suelo por causa de factores externo.
- Escorrentía: agua de lluvia que circula libremente en la superficie de un terreno.
- Hidrografía: parte de la geografía física que estudia los mares, ríos, lagos y otras corrientes de agua.
- Pérdidas de suelo: proceso degenerativo que reduce la capacidad del suelo para seguir desempeñando sus funciones.
- Relieve: configuración de una superficie con distintos niveles que sobresalen.
- Sedimentación: proceso de formación y depósito de sedimentos.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### 3.1. Método y alcance de la investigación

##### 3.1.1. Tipo de la investigación

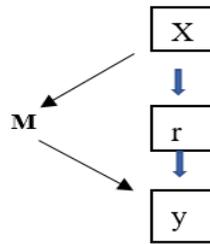
La investigación presente fue aplicada.

##### 3.1.2. Nivel de la investigación

El presente estudio mantuvo un nivel experimental y correlacional, en la medida en que se utilizaron tres módulos de 2.00 m x 3.00 m. De acuerdo a los ensayos, los módulos se presentaron con vegetación y sin vegetación, con el fin de medir la diferencia de los niveles de sedimentación.

#### 3.2. Diseño de la investigación

El estudio fue descriptivo correlacional, con el siguiente esquema:



Donde:

- M: muestra de parcelas de medición.
- X: precipitaciones.
- Y: E.
- r: relación existente entre las variables estudiadas.

### 3.3. Población y muestra

#### 3.3.1. Población

Corresponde a la Unidad de Análisis, Cuenca de río Lluchus, del Centro Poblado La Punta, del distrito de Sapallanga.

#### 3.3.2. Muestra

Subcuenca del río Lluchus.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.4.1. Técnicas de recolección de datos

Fuentes primarias:

- Datos recogidos del área de estudio.
- Fuentes bibliográficas.
- Fuentes documentales.
- Especificaciones técnicas.

Fuentes secundarias:

- Fuentes electrónicas.

Técnicas:

- Observación.
- Monitoreo.
- Ensayos experimentales.

### 3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Tabla 20. *Instrumentos de investigación.*

<b>Materiales</b>	<b>Detalle</b>	<b>Cantidad</b>
Varillas de fierro de 3/8	Para medir la erosión	150
Pintura blanca	Pintado de varillas y clavos	1 galón
Clavos con cabezales	Medición de la erosión	30
Flexómetro o wincha de 50 metros	Para medir los módulos de experimentación	1
Cuaderno de campo	Recojo de información	1
Regla de 30 cm	Medición de la erosión y sedimentación	4
Cámara fotográfica	Toma de vistas fotográficas	1
Hojas de información	Recojo de datos al detalle	20

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

#### 3.5.1. Reconocimiento directo utilizando clavos y varillas

El método y los procedimientos utilizados en la investigación se detallan a continuación:

- Reconocimiento del área de investigación.
- Cálculo del área y perímetro de la subcuenca.
- Ubicación de los tres módulos de 3.00 m x 2.50 m.
- Identificación de los módulos con vegetación y sin vegetación.
- Preparación del material requerido.
- Colocación de las varillas en los módulos experimentales, de acuerdo a su dimensionamiento.

- Seguimiento y control mensual de la erosión de suelos por efecto de las precipitaciones por un periodo de seis meses, desde noviembre hasta abril del 2018.
- Estimación de la densidad aparente del suelo en la temporada donde se registran mayores precipitaciones pluviales.
- Tratamiento y análisis de los datos registrados.

### 3.5.2. Explicación del procedimiento utilizando clavos y varillas

El método directo, por módulos, es muy efectivo en la medida en que permite estimar *in situ* los niveles de erosión y sedimentación de la subcuenca del río Lluclus.

Se instalaron tres módulos de 2.00 m x 3.50 m con un tambor de 30 cm de diámetro para medir la sedimentación. La separación entre módulos es de 20 metros.

En cada módulo se colocaron 20 clavos y 40 varillas de 3/8 de diámetro cada 50 cm a una profundidad de 25 cm para medir la erosión. Uno de los módulos se instaló con vegetación y los otros dos sin vegetación.

Se tomó una pendiente de 9 % para los tres módulos y con respecto al control se realizó cada 30 días desde la fecha de instalación, especialmente los días de precipitaciones.

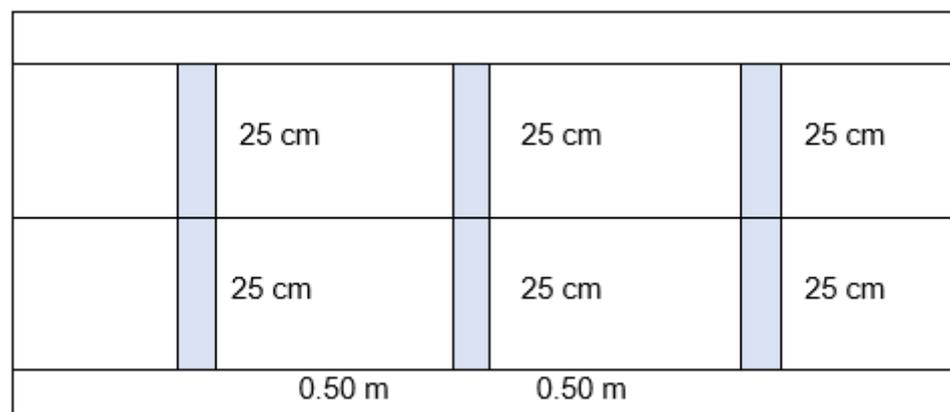


Figura 19. Diagrama de instalación de las varillas.

Fuente: elaboración propia.

### 3.5.3. Cálculo de la pérdida de suelo

Para estimar la pérdida de suelos, se utiliza la siguiente ecuación:

$$X = Y * Da * 10$$

Donde:

- X = suelo erosionado o sedimentado (t/ha).
- Y = altura media del suelo erosionado o suelo sedimentado (mm).
- Da = densidad aparente del suelo (t/m<sup>3</sup>).

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

- 4.1. Evaluación de la variación mensual de los caudales regulados del río Lluçus modificado por el embalse

Los caudales estimados de acuerdo a su variación mensual se registran entre los parámetros de 5.53 m/s y 14.5 m/s.

Con respecto al movimiento de los caudales de este río, se observa una variación estacional entre la temporada de lluvias y la época de estiaje.

- 4.2. Determinación de los efectos en la geomorfología del cauce del río Lluçus próximos al embalse

- 4.2.1. Parámetros geomorfológicos de la cuenca

Los indicadores geomorfológicos de la cuenca indican su forma oblonga con tendencia al alargamiento y una pendiente alta.

- 4.2.2. Perfil longitudinal de la cuenca

Con respecto al perfil longitudinal de la cuenca, se observó que tiene una tendencia creciente.

- 4.3. Evaluación de la alteración de la calidad de agua (temperatura, pH, conductividad eléctrica) antes y después del embalse del río Lluçus

- 4.3.1. Temperatura

Estos parámetros indican que la temperatura varía entre 11.19, 11.85, 1.20 y 10.75.

#### 4.3.2. pH

Los parámetros del pH indican una variación entre 7.70, 7.90, 8.11 y 8.39.

#### 4.4. Evaluación de la variación mensual de los caudales regulados del río Lluçus modificado por el embalse

Investigaciones sobre erosión y embalses tienen resultados aproximados con el presente estudio en la medida que el caudal del río Lluçus tiene efectos significativos que corresponden solo a niveles estacionales pues equivale a un embalse de paso sin operación.

#### 4.5. Determinación de los efectos en la geomorfología del cauce del río Lluçus próximo al embalse

En este aspecto, se alcanza a observar que la sedimentación de embalses disminuye la capacidad de almacenamiento y desgasta el lecho del río reduciendo los niveles de agua debajo de la presa y embalse; estas mismas consecuencias se observan en el río Lluçus especialmente en los meses de estiaje.

Sin embargo, se puede asumir que el nivel de degradación del lecho del río indica ritmos muy superiores a lo normal, lo que se observa con mayor énfasis en situaciones de turbulencia.

#### 4.6. Evaluación de la alteración de la calidad de agua (temperatura, pH, conductividad eléctrica) antes y después del embalse del río Lluçus

Los parámetros del pH que corresponde al afluente y efluente de este río indican una relación directa con variaciones en diferentes horarios.

#### 4.7. Análisis e interpretación de los resultados

#### 4.7.1. Precipitaciones medias

Tabla 21. *Precipitaciones medias.*

AÑOS	Cuenca Alta	Cuenca Media	Cuenca Baja
2009	2.65	4.45	9.09
2010	6.75	11.34	23.17
2011	1.97	2.55	5.21
2012	2.40	7.86	16.06
2013	0.45	8.11	16.57
2014	0.90	14.76	30.15
2015	1.40	3.07	21.00
2016	13.80	3.40	17.00
2017	9.00	8.20	18.00
2018	8.00	15.80	6.25
<b>Máxima</b>	13.80	15.80	21.00

Fuente: recopilado de SENAMHI.

Según el tramo en estudio, las estaciones pluviométricas más cercanas son Cuenca Alta y Cuenca Media, de las cuáles se determinó la precipitación media, mostrada a continuación.

Tabla 22. *Precipitación media.*

Tramo en estudio	$P_{media\ Anual}$ (mm)	$P_{media\ Mensual}$ (mm)
Río Lluchus	15.80	8.67

Fuente: recopilado de SENAMHI.

#### 4.7.2. Análisis granulométrico por tamizado

Se cotejó un peso inicial de 3 000 kg.

Tabla 23. *Análisis granulométrico por tamizado.*

Mallas		Peso retenido	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa acumulado
Pulgadas	Milímetros				
3"	75.0	643.2	21.4	21.4	78.6

2"	50.0	0.0	0.0	21.4	78.6
1 1/2"	37.5	87.7	2.9	24.4	75.6
1"	25.0	453.5	15.1	39.5	60.5
3/4"	19.0	445.7	14.9	54.3	45.7
1/2"	12.5	632.1	21.1	75.4	24.6
3/8"	9.5	235.8	7.9	83.3	16.7
1/4"	6.3	120.2	4.0	87.3	12.7
N° 4	4.8	111.2	3.7	91.0	9.0
N° 10	2.0	76.5	2.6	93.5	6.5
N° 20	0.9	56.5	1.9	95.4	4.6
N° 40	0.4	57.7	1.9	97.3	2.7
N° 50	0.3	45.5	1.5	98.8	1.2
N° 100	0.2	34.5	1.2	100.0	0.0
N° 200	0.1	0.0	0.0	100.0	0.0
Fondo	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0

Fuente: recopilado de SENAMHI.

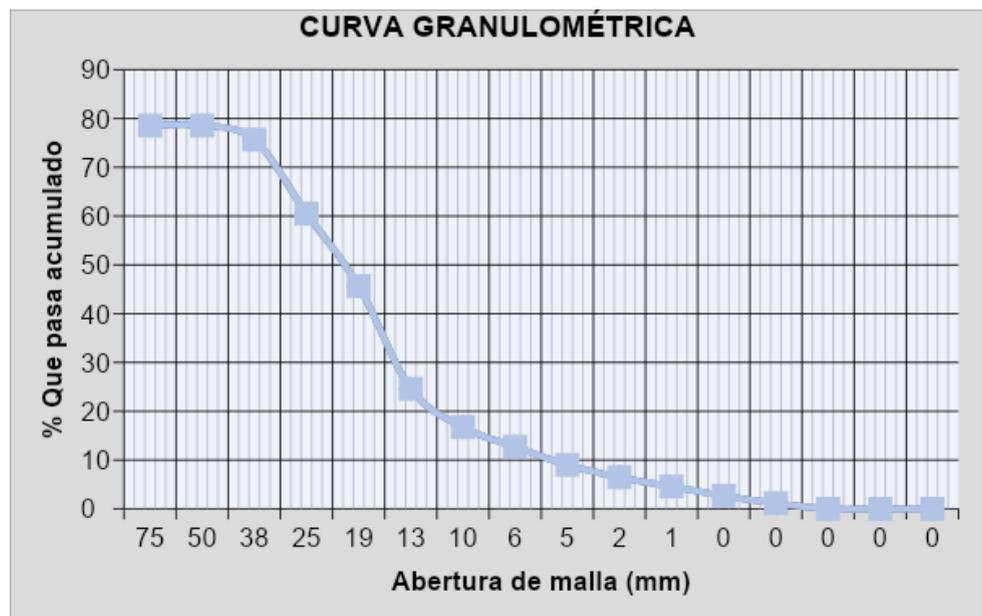


Figura 20. Curva granulométrica.

Fuente: recopilado de SENAMHI.

- Contenido de finos ( $C_f$ ) = 0 %

$$D_{10} = 5.16 \text{ mm}$$

$$D_{30} = 14.17 \text{ mm}$$

$$D_{60} = 24.79 \text{ mm}$$

- Coeficiente de uniformidad = 4.81
- Coeficiente de curvatura = 1.57

En dicho marco, se presenta la siguiente tabla.

Tabla 24. Tipo de suelo - río Lluchus.

Tramo en estudio	Tipo de suelo
Río Lluchus	Gw (Suelo Tipo A)

Fuente: recopilado de SENAMHI.

#### 4.7.3. Pendiente del tramo

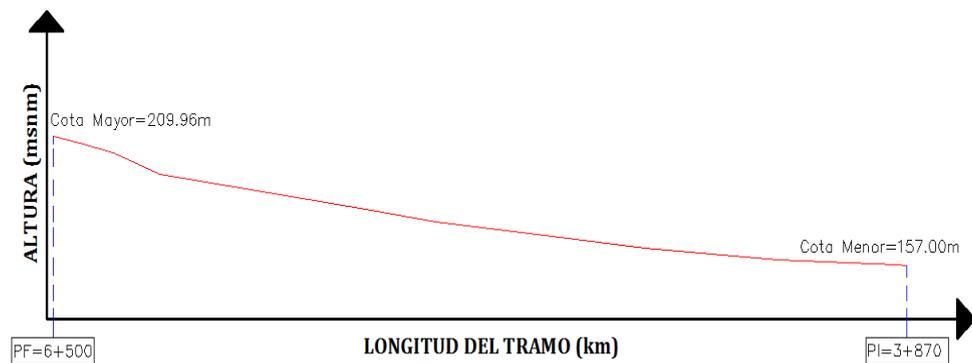


Figura 21. Pendiente del tramo.

Fuente: elaboración propia.

Aplicando el criterio de la pendiente uniforme, o media, se tiene:

$$S = \frac{H}{L} = \frac{209.96 - 157.00}{2630} = 0.0201$$

Por lo tanto, se alcanzan los resultados presentados en la siguiente tabla.

Tabla 25. Pendiente y ángulo de inclinación.

Tramo en estudio	Pendiente	Ángulo de inclinación ( $\theta$ )
Río Lluchus	2.01 %	1°9'12.97"

Fuente: elaboración propia.

#### 4.7.4. Propiedades físicas del suelo y del río

- Uso de suelo: el suelo del lugar describe principalmente maíz ( $C = 0.375$ ) y hortalizas ( $0.56$ ), por lo tanto, se presenta el resultado alcanzado en la siguiente tabla.

Tabla 26. *Uso de suelo - río Lluchus.*

Tramo en estudio	C
Río Lluchus	0.36

Fuente: elaboración propia.

#### 4.8. Práctica conservacionista

Para el tramo se consideró la técnica de protección con hierbas comunes, por lo tanto, se alcanzó el resultado siguiente (tabla).

Tabla 27. *Práctica conservacionista - río Lluchus.*

Tramo en estudio	Pc
Río Lluchus	0.01

Fuente: elaboración propia.

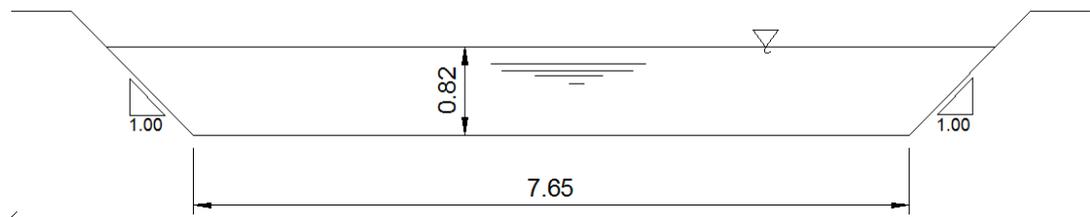


Figura 22. Radio hidráulico del río - sección inicial.

Fuente: elaboración propia.

- Sección inicial:

$$\text{Área} = y(b + zy) = 0.82(7.65 + 0.82)$$

$$\text{Área} = 6.95 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro} = b + 2y\sqrt{1 + z^2} = 7.65 + 2 \times 0.82 \times \sqrt{2}$$

$$\text{Perímetro} = 9.97 \text{ m}$$

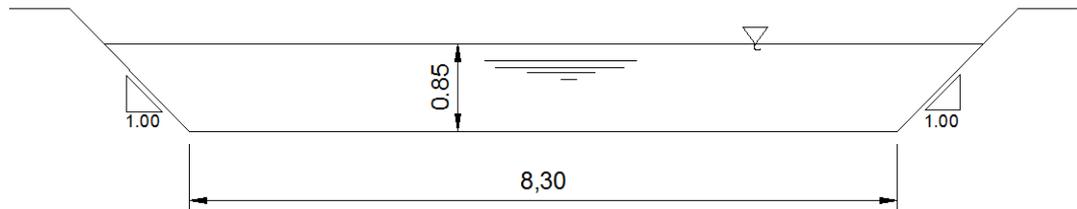


Figura 23. Radio hidráulico del río - sección final.

Fuente: elaboración propia.

- Sección final:

$$\text{Área} = y(b + zy) = 0.85(8.30 + 0.85)$$

$$\text{Área} = 7.78 \text{ m}^2$$

$$\text{Perímetro} = b + 2y\sqrt{1 + z^2} = 8.30 + 2 \times 0.85 \times \sqrt{2}$$

$$\text{Perímetro} = 10.70 \text{ m}$$

- Área promedio:

$$A_p = \frac{6.95 + 7.78}{2} = 7.37 \text{ m}^2$$

- Perímetro promedio:

$$P_p = \frac{9.97 + 10.70}{2} = 10.34 \text{ m}$$

En dicha secuencia, se sabe que:

$$R = \frac{A}{P}$$

Por lo tanto, se alcanza el resultado mostrado en la siguiente tabla.

Tabla 28. *Radio hidráulico - río Lluchus.*

Tramo en estudio	Radio hidráulico (R)
Río Lluchus	0.71 m

Fuente: elaboración propia.

- Intensidad: se calculó de la siguiente manera:

- Cálculo del tiempo de concentración ( $T_c$ ):

$$T_c = 0.000326 \left( \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right) = 0.000326 \left( \frac{2630^{0.77}}{0.0201^{0.385}} \right)$$

$$T_c = 0.6307 \text{ h}$$

- Cálculo del tiempo pico ( $T_p$ ):

$$T_p = \sqrt{T_c} + 0.6T_c = \sqrt{0.6307} + 0.6 \times 0.6307$$

$$T_p = 1.1726 \text{ h}$$

- Cálculo del tiempo base ( $T_b$ ):

$$T_b = 2.67T_p = 2.67 \times 1.1726$$

$$T_b = 3.13 \text{ h}$$

Considerando  $T_b = \Delta$ , se resuelve la siguiente expresión:

$$I = \frac{P_{media\ Anual}}{\Delta T} = \frac{15.80}{3.13}$$

Por lo tanto, se alcanza el resultado mostrado en la siguiente tabla.

Tabla 29. *Intensidad - río Lluchus.*

Tramo en estudio	Intensidad
Río Lluchus	5.05 m/h

Fuente: elaboración propia.

- Caudal directo (Qd): este caudal fue obtenido por la fórmula de Manning, la cual se expresa de la siguiente manera:

$$Q = \frac{1}{n} \times A \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{0.030} \times 7.37 \times 0.71^{\frac{2}{3}} \times 0.0201^{\frac{1}{2}}$$

Obteniendo el resultado que se denota en la siguiente tabla.

Tabla 30. *Caudal directo - río Lluchus.*

Tramo en estudio	Intensidad
Río Lluchus	27.72 m <sup>3</sup> /s

Fuente: elaboración propia.

- Coeficiente de escorrentía (C): el coeficiente de escorrentía fue C = 0.557.
- Índice de erosión hídrica (EI): por caso práctico, el índice de erosión hídrica considerado en el proyecto de investigación fue EI = 0.01 t/ha.
- Propiedades del agua y del sedimento:

Tabla 31. *Propiedades del agua y sedimento - río Lluchus.*

Tramo en estudio	$\rho_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$v$ (m <sup>2</sup> /s)
Río Lluchus	1 250	998.2	$1.011 \times 10^{-6}$

Fuente: elaboración propia.

- Propiedades de la partícula: Schoklitsch (40) propuso una ecuación para predecir la carga de fondo en kgf/s-m, basado en experimentos realizados en canales de laboratorio y en mediciones en ríos. Menciona que cuando el tamaño de las partículas no es uniforme, se recomienda que se utilice como diámetro representativo de la mezcla  $D = D_{40}$ . Por lo tanto, se alcanzaron los resultados mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 32. *Propiedades de partícula - río Lluchus.*

Tramo en estudio	D	D <sub>50</sub>	D <sub>95</sub>
Río Lluchus	17.25 mm	20.75 mm	75 mm

Fuente: elaboración propia.

#### 4.9. Resultados del cálculo de la erosión del suelo por los diferentes métodos

La erosión del suelo se obtuvo por los diferentes métodos explicados anteriormente.

- Método de ecuación universal de pérdida de suelo:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P_c \quad \dots (i)$$

- Índice medio de erosividad anual:

$$R = 6.866 \times \left( \frac{p^2}{P} \right)^{0.85} \quad \dots (ii)$$

De los datos calculados establecidos anteriormente, se tiene lo reportado en la siguiente tabla.

Tabla 33. *Datos de precipitación media anual y mensual - río Lluchus.*

Tramo en estudio	Pmedia.anual (mm)	Pmedia.mensual (mm)
------------------	-------------------	---------------------

Río Lluchus	15.80	8.67
-------------	-------	------

Fuente: elaboración propia.

Reemplazando en (ii):

$$R = 6.866x\left(\frac{8.67^2}{15.80}\right)^{0.85} = 25.93$$

- Valor de erodabilidad: de estudios de laboratorio realizados se determinó que se tiene un tipo de arena bien graduada, por lo tanto, es clasificado como un suelo de **TIPO A**.

$$K = 0.195$$

- Factor topográfico:

$$L_s = 0.00984xL^{0.63}xS^{1.18}$$

Calculando  $L$ : se tiene que la pendiente del tramo es 2.01 %, por lo tanto, el valor de  $m$  corresponde a 0.3.

Tabla 34. Valor de pendiente (%) y su equivalencia en distancia.

PENDIENTE (%)	m
< 1	0.2
1.0 a 3.0	0.3
3 a 5	0.4
> 5	0.5

Fuente: elaboración propia.

Luego  $L$ :

$$L = \frac{0.3}{22.13} \left( 65.41 \text{sen}^2 1.9^\circ + 4.56 \text{sen} 1.9^\circ + 0.0654 \right) = 3.91 \times 10^{-3}$$

Entonces  $L_s$ :

$$L_s = 0.00984x(3.91x10^{-3})^{0.63} x0.0201^{1.18} = 2.98x10^{-6}$$

- Magnitud de la pendiente: de los cálculos anteriores se tiene que la pendiente es 2.01 %.
- Índice relativo o factor de uso y manejo del suelo: de los cálculos anteriores se tiene que el valor de C para los diferentes cultivos que se dan es de 0.36.
- El índice relativo a la práctica conservacionista: de los cálculos anteriores, se tiene que el valor  $P_c$  es de 0.01, reemplazando los valores anteriormente calculados en la ecuación (i), se tiene que la erosión es:

$$A = 25.93x0.195x2.98x10^{-6}x0.0201x0.36x0.01 = 1.09x10^{-9} t/ha$$

- Método de Onstad Foster:

$$Y = WxKxL_sxSxCxP_c \quad (i)$$

- Cálculo de W, Q y  $q_p$ :

$$W = 0.646EI + 0.45x(Qxq_p)^{0.333} \dots(ii)$$

$$Q = Ve = \sum Q_{directos} x\Delta t = 27.72x3\ 600 = 99\ 792\ m^3$$

$$q_p = \frac{CIA}{3.6} = \frac{0.557x5.05x552.80}{3.6} = 431.93\ m^3/s$$

Reemplazando en (ii), se tiene:

$$W = 0.646x0.10 + 0.45x(99792x431.93)^{0.333} = 156.92$$

Reemplazando en (i), se tiene:

$$Y = 156.92 \times 0.195 \times 2.98 \times 10^{-6} \times 0.0201 \times 0.36 \times 0.01 = 6.60 \times 10^{-9} \text{ t/ha}$$

- Ecuación universal de pérdida de suelo modificado:

$$A = 11.80 \times (Q \times q_p)^{0.56} \times K \times L_s \times S \times C \times P_c \quad (i)$$

De los valores anteriormente calculados, se reemplazó en (i):

$$A = 11.80 \times (99\,792 \times 431.93)^{0.56} \times 0.195 \times 2.98 \times 10^{-6} \times 0.0201 \times 0.36 \times 0.01 = 9.35 \times 10^{-6} \text{ t}$$

- Módulo Musgrave:

$$E = 0.00527 E' C S^{1.35} \times L^{0.30} \times P_{30}^{1.75} \dots (i)$$

- Cálculo de la erodabilidad: para el modelo de Musgrave, el índice de erodabilidad es el mismo parámetro (K) que el método de USLE, por lo tanto,  $E' = 0.195$ .
- Precipitación máxima en 30 minutos:

$$P_{30} = 15.80 \text{ mm}$$

Luego reemplazando en (i), se tiene:

$$E = 0.00527 \times 0.195 \times 0.36 \times 0.0201^{1.35} \times (2.98 \times 10^{-6})^{0.30} \times 15.80^{1.75} = 5.22 \times 10^{-6} \text{ t/año}$$

- Resumen de la obtención de erosión por los diferentes métodos:

Tabla 35. Resumen de los resultados de erosión por diferentes métodos.

Método	Erosión del suelo	Unidades
Método de Ecuación Universal de pérdida de suelo	$1.09 \times 10^{-9}$	t/ha
Método de Onstad Foster	$6.60 \times 10^{-9}$	t/ha
Ecuación universal de pérdida de suelo modificado	$9.35 \times 10^{-6}$	t
Módulo Musgrave	$5.22 \times 10^{-6}$	t/año

Fuente: elaboración propia.

#### 4.10. Resultados del cálculo del transporte de sedimentos por arrastre por los diferentes métodos

- Método de Schoklitsch:

$$T_F = 2500S^{\frac{1}{3}} \left[ qS^{\frac{7}{6}} - 2.351 \times 10^{-5} \Delta^{\frac{5}{3}} D^{\frac{7}{18}} \right] \left( \frac{Kg}{s} - m \right) \dots (i)$$

$$S_F = \frac{2500}{\gamma_s} S^{1/3} \left[ qS^{7/6} - 2.351 \times 10^{-5} \Delta^{5/3} D^{7/18} \right] \left( \frac{m^3}{s} - m \right) \dots (ii)$$

- Magnitud de la pendiente: la pendiente S, se determinó anteriormente y tiene un valor de 2.01 %.
- Caudal unitario (q): el caudal unitario se determina con la fórmula de Du Boys, fórmula que utiliza para calcular este mismo parámetro en su ecuación de cálculo de sedimentos de fondo.

$$q = \frac{R_h^{5/3} S^{1/2}}{n} = \frac{0.71^{5/3} \times 0.0201^{1/2}}{0.030} = 2.67 \text{ m}^3 / \text{s. m}$$

- Densidad relativa de las partículas sumergidas:

$$\Delta = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma} = \frac{1250 - 998.2}{998.2} = 0.252$$

- Diámetro representativo: de los cálculos anteriores se tiene que  $d = 17.25$  mm, reemplazando los valores calculados anteriormente en (i) y (ii) respectivamente se obtiene:

$$T_F = 2500 \times 0.0201^{\frac{1}{3}} \left[ 2.67 \times 0.0201^{\frac{7}{6}} - 2.351 \times 10^{-5} \times 0.252^{\frac{5}{3}} \times 0.01725^{\frac{7}{18}} \right] = 19.021$$

$$T_F = 10.021 \left( \frac{kg}{s} - m \right)$$

$$S_F = \frac{2500}{1250} \times 0.0201^{\frac{1}{3}} \left[ 2.67 \times 0.0201^{\frac{7}{6}} - 2.351 \times 10^{-5} \times 0.252^{\frac{5}{3}} \times 0.01725^{\frac{7}{18}} \right] = 0.01522$$

$$S_F = 0.01522 \left( \frac{m^3}{s} - m \right)$$

- Método de Meyer - Meter y Müller:

$$T_F = 8 \gamma_s g^{\frac{1}{2}} \Delta^{\frac{1}{2}} D_m^{\frac{3}{2}} \left[ \left( \frac{n'}{n} \right)^{\frac{3}{2}} \tau_* - 0.047 \right]^{\frac{3}{2}} \left( \frac{Kg}{s} \cdot m \right) \dots (i)$$

$$S_F = 8 g^{1/2} \Delta^{1/2} D_m^{3/2} \left[ \left( \frac{n'}{n} \right)^{3/2} \tau_* - 0.047 \right]^{3/2} \left( m^3 / s \cdot m \right) \dots (ii)$$

- Rugosidad debida a las partículas de sedimento en fondo plano:

$$n' = \frac{D_{90}^{1/6}}{26} = \frac{0.075^{1/6}}{26} = 0.0250$$

- Parámetro de Shields:

$$\tau_* = \frac{RS}{\Delta D_m} = \frac{0.71 \times 0.0201}{0.252 \times 0.01725} = 3.283$$

Luego, reemplazando en (i) y (ii) respectivamente se obtiene:

$$T_F = 8 \times 1250 \times 9.81^{\frac{1}{2}} \times 0.252^{\frac{1}{2}} \times 0.01725^{\frac{3}{2}} \left[ \left( \frac{0.025}{0.030} \right)^{\frac{3}{2}} 3.283 - 0.047 \right]^{\frac{3}{2}} = 136.64$$

$$T_F = 136.64 (kg/s.m)$$

$$S_F = 8 \times 9.81^{\frac{1}{2}} \times 0.252^{\frac{1}{2}} \times 0.01725^{\frac{3}{2}} \left[ \left( \frac{0.025}{0.030} \right)^{\frac{3}{2}} 3.283 - 0.047 \right]^{\frac{3}{2}}$$

$$S_F = 0.10932 (m^3/s.m)$$

- Método de Einstein y Brown:

$$T_F = \sqrt{g \left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right) D^3} 40 \left[ \frac{\gamma R_h S_f}{(\gamma_s - \gamma) D} \right]^3 \dots (i)$$

Ya que los valores necesarios para aplicar la ecuación ya se cotejaron, simplemente se reemplaza en (i):

$$T_F = \sqrt{9.81 \times \left( \frac{1250 - 1000}{1000} \right) 0.01725^3} 40 \left[ \frac{998.2 \times 0.71 \times 0.0201}{(1250 - 1000) \times 0.01725} \right]^3$$

$$T_F = 5.12 (kg/s.m)$$

- Cuadro resumen de los resultados del transporte de sedimentos por arrastre con los métodos aplicados:

Tabla 36. Resumen de los resultados del transporte de sedimentos por arrastre por diferentes métodos.

Método	Transporte unitario en peso (kg/s.m)	Transporte unitario en volumen (m <sup>3</sup> /s.m)
Método de Schoklitsch	19.021	0.01522
Método de Meyer - Meter y Müller	136.64	0.10932
Método de Einstein y Brown	5.12	

Fuente: elaboración propia.

4.11. Resultados del cálculo del transporte de sedimentos por suspensión por los diferentes métodos

- Método de Bagnold:

$$S_{bs} = \frac{e_s(1-e_b)\tau_b\bar{u}}{(\rho_s-\rho)g\cos\beta[(w_s/\bar{u})-\tan\beta]} \quad \dots(i)$$

- Factor de eficiencia relativa a la carga en suspensión:

El factor de eficiencia relativa se va a tomar el promedio de estos parámetros:

$$e_s = \frac{0.01+0.02}{2} = 0.015$$

- Factor de eficiencia relativa a la carga de fondo:

El factor de eficiencia relativa a la carga de fondo se tomó del promedio de los siguientes parámetros:

$$e_b = \frac{0.01+0.02}{2} = 0.015$$

- Esfuerzo cortante de fondo:

$$\tau_b = \gamma x R x S = 1250x9.81x0.71x0.0201 = 175 \text{ N/m}^2$$

- Velocidad promedio en profundidad (m/s):

$$\bar{u} = \frac{V_*}{K} \ln \frac{11y}{k}$$

Donde:

- $K$ : constante de Karman = 04
- $k$ : rugosidad absoluta para un fondo con transporte de arena.
- $V_*$ : velocidad de corte.

$$V_* = \sqrt{\frac{\gamma R S}{\rho}} = \sqrt{\frac{1250 \times 0.71 \times 0.0201}{1250}} = 0.119 \text{ m/s}$$

$$\bar{u} = \frac{V_*}{K} \ln \frac{11y}{k} = \frac{0.119}{0.4} * \ln \frac{11x\left(\frac{0.82+0.85}{2}\right)}{5 \times 10^{-2}} = 1.55 \text{ m/s}$$

- Velocidad de caída del sedimento:

$$w_s = F_1 [g \Delta D]^{1/2}$$

Donde:

$$F_1 = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{g \Delta D^3}} - \sqrt{\frac{36v^2}{g \Delta D^3}}$$

$$F_1 = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36(1.011 \times 10^{-6})^2}{9.81 \times 0.252 \times 0.01725^3}} - \sqrt{\frac{36(1.011 \times 10^{-6})^2}{9.81 \times 0.252 \times 0.01725^3}} = 0.815$$

$$w_s = 0.815 [9.81 \times 0.252 \times 0.01725]^{1/2} = 0.168 \text{ m/s}$$

Luego, reemplazando en (i):

$$S_{bs} = \frac{0.015(1-0.015) \times 175 \times 1.55}{(1250-1000) \times 9.81 \times \cos 1.9^\circ \times ((0.168/1.55) - \tan 1.9^\circ)}$$

$$S_{bs} = 0.02174 (\text{m}^3 / \text{s} \cdot \text{m})$$

La relación entre los parámetros de erosión y sedimentación se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 37. Relación de los parámetros de erosión y sedimentación.

ÍNDICE DE EROSIÓN	PARÁMETROS DE SEDIMENTACIÓN
Para una variación mensual de los caudales en los intervalos 5.53 m <sup>3</sup> /s y 14.5 m <sup>3</sup> /s. Índice medio de erosión de 25.93	La carga de sedimentos de fondo o transporte de arrastre se puede considerar de 19.021 (kg/s – m) en unidades de peso, y 0.01522 (m <sup>3</sup> /s.m) en unidades de volumen.

Fuente: elaboración propia.

- Erosión de suelos y sedimentación de embalses: indicadores cuantitativos.

Variable erosión de suelos	Variable sedimentación en embalses	Mallas milímetros	Peso retenido	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa acumulado	Cuenca Alta	Cuenca Media	Cuenca Baja
4.18	11.90	750.00	6 432.00	214.00	214.00	786.00	265.00	445.00	909.00
4.64	11.79	500.00	0.00	0.00	214.00	786.00	675.00	1 134.00	2 317.00
3.09	11.58	375.00	877.00	29.00	244.00	756.00	197.00	255.00	521.00
1.52	11.26	250.00	4 535.00	151.00	395.00	605.00	240.00	786.00	1 606.00
0.28	10.81	190.00	4 457.00	149.00	543.00	457.00	45.00	811.00	1 657.00
0.21	9.74	125.00	6 321.00	211.00	754.00	246.00	90.00	1 476.00	3 015.00
0.25	9.42	95.00	2 358.00	79.00	833.00	167.00	140.00	307.00	2 100.00
0.67	10.54	63.00	1 202.00	40.00	873.00	127.00	1 380.00	340.00	1 700.00
1.49	11.69	48.00	1 112.00	37.00	910.00	90.00	900.00	820.00	1 800.00
2.28	12.13	20.00	765.00	26.00	935.00	65.00	800.00	1 580.00	625.00
2.04	12.53	9.00	565.00	19.00	954.00	46.00			
3.33	12.23	4.00	577.00	19.00	973.00	27.00			
		3.00	455.00	15.00	988.00	12.00			
		2.00	345.00	12.00	1 000.00	0.00			
		1.00	0.00	0.00	1 000.00	0.00			

Tabla 38. Indicadores cuantitativos de erosión de suelos y sedimentación de embalses.

Fuente: elaboración propia.

- Análisis de relación entre los puntajes de las variables: en esta sección se presenta el análisis de la relación entre los puntajes de las variables “Erosión de suelos” y “Sedimentación en embalses”, puesto que ambas variables poseen una medición en escala ordinal y, además, poseen una distribución normal; en dicho marco, se hizo uso del coeficiente de Correlación de Pearson, cuyo cálculo se realizó haciendo uso del SPSS Versión 20.

Tabla 39. Prueba de correlación de Pearson.

Correlaciones		
	VARIABLE EROSIÓN DE SUELOS	VARIABLE SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES

Correlación de Pearson	VARIABLE EROSIÓN DE SUELOS	Coefficiente de correlación	1.000	0.845
		Sig. (bilateral)	.	0.000
		N	131	131
	VARIABLE SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES	Coefficiente de correlación	0.845	1.000
		Sig. (bilateral)	0.000	.
		N	131	131

Fuente: elaboración propia con SPSS.

La Correlación de Pearson hallada fue de 0.845, al comparar el valor del coeficiente con la tabla de valores publicada por Suárez (41) se puede concluir que existe una correlación directa o positiva alta entre las variables.

Tabla 40. *Escala de intervalos del coeficiente de Correlación de Pearson.*

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta.
-0.9 a -0.99	Correlación negativa muy alta.
-0.7 a -0.89	Correlación negativa alta.
-0.4 a -0.69	Correlación negativa moderada.
-0.2 a -0.9	Correlación negativa baja.
-0.01 a -0.19	Correlación negativa muy baja.
0	Correlación nula.
0.01 a 0.19	Correlación positiva muy baja.
0.2 a 0.39	Correlación positiva baja.
0.4 a 0.69	Correlación positiva moderada.
0.7 a 0.89	Correlación positiva alta.
0.9 a 0.99	Correlación positiva muy alta.
1	Correlación positiva grande y perfecta.

Fuente: Suárez (41).

#### 4.12. Prueba de hipótesis

- Prueba de la hipótesis general:

- a) Planteamiento de hipótesis:

Hipótesis nula:

$H_0: p(\text{Pearson}) \geq 0.05$

$H_0$ : no existe relación significativa entre la erosión de suelos y la sedimentación en embalses en la represa del río Lluchus, Huancayo, 2018.

Hipótesis alterna:

$H_1: \rho \text{ (Pearson)} < 0.05$

$H_1$ : existe relación significativa entre la erosión de suelos y la sedimentación en embalses en la represa del río Lluclus, Huancayo, 2018.

b) Nivel de significancia:

$$\alpha = 0.05$$

c) Estadístico de prueba:

Correlación de Pearson, debido a que las variables pertenecen a la escala ordinal y sus puntajes poseen una distribución normal.

$$t = \frac{r_s \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r_s^2}}$$

Grados de libertad:

$$- \text{gl} = 131-2 = 129$$

$$- \text{gl} = 129$$

d) Región de aceptación y rechazo:

$$t(\alpha; \text{gl}) = t(0.05; 129) = 1.96$$

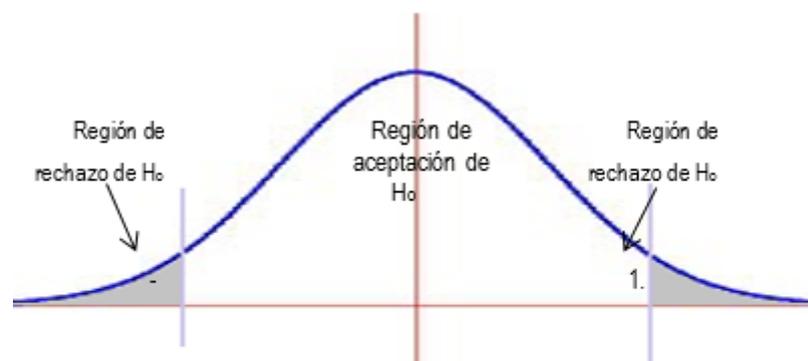


Figura 24. Estimación de la región de rechazo.

Fuente: elaboración propia.

Aceptar  $H_0$  si:  $-1.96 < t_c < 1.96$

Rechazar  $H_0$  si:  $-1.96 \geq t_c \geq 1.96$

e) Prueba de hipótesis:

Reemplazando se tiene:

$$t = \frac{0.845 \cdot \sqrt{131-2}}{\sqrt{1-0.845}}$$

$$t = 17.95$$

f) Decisión estadística:

Puesto que el valor de t calculado es mayor que valor de t teórico ( $17.95 > 1.96$ ), se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis de investigación ( $H_1$ ).

g) Conclusión estadística

Se concluye que existe relación significativa entre la erosión de suelos y la sedimentación en embalses en la represa del río Lluclus, Huancayo, 2018.

- Prueba de la primera hipótesis específica:

Tabla 41. Prueba de correlación de la primera hipótesis específica.

Correlaciones			VARIABLE EROSIÓN DE SUELOS	DIMENSIÓN UNO
Correlación de Pearson	VARIABLE EROSIÓN DE SUELOS	Coefficiente de correlación	1.000	0.830
		Sig. (bilateral)	.	0.000
	DIMENSIÓN UNO	N	131	131
		Coefficiente de correlación	0.830	1.000
	Sig. (bilateral)	0.000	.	
	N	131	131	

Fuente: elaboración propia con SPSS.

a) Planteamiento de hipótesis:

Hipótesis nula:

$H_0: p \text{ (Pearson)} \geq 0.05$

$H_0$ : no existe relación significativa entre la erosión de suelos y la dimensión uno en la represa del río Lluchus, Huancayo, 2018.

Hipótesis alterna:

$H_1: p \text{ (Pearson)} < 0.05$

$H_1$ : existe relación significativa entre la erosión de suelos y la dimensión uno en la represa del río Lluchus, Huancayo, 2018.

b) Nivel de significancia:

$\alpha = 0.05$

c) Estadístico de prueba:

Correlación de Pearson, debido a que las variables pertenecen a la escala ordinal y sus puntajes poseen una distribución normal.

$$t = \frac{r_s \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r_s^2}}$$

Grados de libertad:

- gl =  $131-2 = 129$

- gl = 129

d) Región de aceptación y rechazo:

$t(\alpha;gl) = t(05;129) = 1.96$

Aceptar  $H_0$  si:  $-1.96 < t_c < 1.96$

Rechazar  $H_0$  si:  $-1.96 \geq t_c \geq 1.96$

e) Prueba de hipótesis:

Reemplazando se tiene:

$$t = \frac{0.830 \cdot \sqrt{131-2}}{\sqrt{1-0.830}}$$

$$t = 16.90$$

f) Decisión estadística:

Puesto que el valor de t calculado es mayor que valor de t teórico (16.90 > 1.96), se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y se acepta la hipótesis de investigación (H<sub>1</sub>).

g) Conclusión estadística

Se concluye que existe relación significativa entre la erosión de suelos y la dimensión uno en la represa del río Lluchus, Huancayo, 2018.

- Prueba de la segunda hipótesis específica:

Tabla 42. Prueba de correlación de la segunda hipótesis específica.

Correlaciones			VARIABLE EROSIÓN DE SUELOS	DIMENSIÓN DOS
Correlación de Pearson	VARIABLE EROSIÓN DE SUELOS	Coefficiente de correlación	1.000	0.675
		Sig. (bilateral)	.	0.034
	DIMENSIÓN DOS	N	131	131
		Coefficiente de correlación	0.675	1.000
		Sig. (bilateral)	0.034	.
		N	131	131

Fuente: elaboración propia con SPSS.

a) Planteamiento de hipótesis:

Hipótesis nula:

H<sub>0</sub>: p (Pearson) ≥ 0.05

$H_0$ : no existe relación significativa entre la erosión de suelos y la dimensión dos en la represa del río Lluchus, Huancayo, 2018.

Hipótesis alterna:

$H_1$ :  $p$  (Pearson) < 0.05

$H_1$ : existe relación significativa entre la erosión de suelos y la dimensión dos en la represa del río Lluchus, Huancayo, 2018.

b) Nivel de significancia:

$$\alpha = 0.05$$

c) Estadístico de prueba:

Correlación de Pearson, debido a que las variables pertenecen a la escala ordinal y sus puntajes poseen una distribución normal.

$$t = \frac{r_s \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r_s^2}}$$

Grados de libertad:

$$- \text{gl} = 131-2 = 129$$

$$- \text{gl} = 129$$

d) Región de aceptación y rechazo:

$$t(\alpha; \text{gl}) = t(05; 129) = 1.96$$

Aceptar  $H_0$  si:  $-1.96 < t_c < 1.96$

Rechazar  $H_0$  si:  $-1.96 \geq t_c \geq 1.96$

e) Prueba de hipótesis:

Reemplazando se tiene:

$$t = \frac{0.675 \cdot \sqrt{131-2}}{\sqrt{1-0.675}}$$

$$t = 10.40$$

f) Decisión estadística:

Puesto que el valor de t calculado es mayor que valor de t teórico (10.40 > 1.96), se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y se acepta la hipótesis de investigación (H<sub>1</sub>).

g) Conclusión estadística:

Se concluye que existe relación significativa entre la erosión de suelos y la dimensión dos en la represa del río Lluchus, Huancayo, 2018.

- Prueba de la tercera hipótesis específica:

Tabla 43. Prueba de correlación de la tercera hipótesis específica.

Correlaciones			VARIABLE EROSIÓN DE SUELOS	DIMENSIÓN TRES
Correlación de Pearson	VARIABLE EROSIÓN DE SUELOS	Coefficiente de correlación	1.000	0.750
		Sig. (bilateral)	.	0.000
	DIMENSIÓN TRES	N	131	131
		Coefficiente de correlación	0.750	1.000
		Sig. (bilateral)	0.000	.
		N	131	131

Fuente: elaboración propia con SPSS.

a) Planteamiento de hipótesis:

Hipótesis nula:

H<sub>0</sub>: p (Pearson) ≥ 0.05

H<sub>0</sub>: no existe relación significativa entre la erosión de suelos y la dimensión tres en la represa del río Lluchus, Huancayo, 2018.

Hipótesis alterna:

$H_1: p(\text{Pearson}) < 0.05$

$H_1$ : existe relación significativa entre la erosión de suelos y la dimensión tres en la represa del río Lluchus, Huancayo, 2018.

b) Nivel de significancia:

$$\alpha = 0.05$$

c) Estadístico de prueba:

Correlación de Pearson, debido a que las variables pertenecen a la escala ordinal y sus puntajes poseen una distribución normal.

$$t = \frac{r_s \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r_s^2}}$$

Grados de libertad:

$$- \text{gl} = 131-2 = 129$$

$$- \text{gl} = 129$$

d) Región de aceptación y rechazo:

$$t(\alpha; \text{gl}) = t(0.05; 129) = 1.96$$

Aceptar  $H_0$  si:  $-1.96 < t_c < 1.96$

Rechazar  $H_0$  si:  $-1.96 \geq t_c \geq 1.96$

e) Prueba de hipótesis:

Reemplazando se tiene:

$$t = \frac{0.750 \cdot \sqrt{131-2}}{\sqrt{1-0.750^2}}$$

$$t = 12.88$$

f) Decisión estadística:

Puesto que el valor de  $t$  calculado es mayor que valor de  $t$  teórico (12.88 > 1.96), se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis de investigación ( $H_1$ ).

g) Conclusión estadística:

Se concluye que existe relación significativa entre la erosión de suelos y la dimensión tres en la represa del río Lluchus, Huancayo, 2018.

#### 4.13. Resultados del tratamiento y análisis de la información

- Tratamiento de información:

En este capítulo se realiza la explicación de las áreas de medición de la investigación, con la toma de muestras correspondientes. El análisis de los índices de erosión en los ensayos en el área de estudio se asoció con los módulos de experimentación, cuyas dimensiones fueron de 3.50 m por 2.00 m de los cuales dos módulos tienen vegetación y el tercer módulo no tiene vegetación, además en cada módulo se tuvieron 50 varillas de acero liso,

utilizándose en total 150 varillas. La pendiente para los tres módulos fue de

9 %.

Método utilizado: método directo.

Experimento 1:

Tabla 44. *Ensayo 1 sobre promedios de erosión.*

Módulos	Cantidad de varillas	$\Sigma$	$\bar{x}$
Módulo 1: sin vegetación	50	360	7.20
Módulo 2: con vegetación	50	14	0.28
Módulo 3: con vegetación	50	30	0.60

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: al observar la tabla anterior, se infiere lo siguiente:

- En el módulo 1, sin vegetación, se utilizaron 50 varillas de erosión, por lo que la suma fue de 360 mm de corte laminar en total y el promedio fue de 7.20.
- En el módulo 2, con vegetación, también se instalaron 50 varillas de erosión, cuyos indicadores en la suma total fue de 14 mm, con un promedio de 0.28.
- En el módulo 3, con vegetación, se instalaron 50 varillas de erosión con las que se alcanzó una suma de 30 mm con un promedio 0.60.

Experimento 2:

Tabla 45. *Ensayo 1 sobre promedios de sedimentación.*

Módulos	Cantidad de varillas	$\Sigma$	$\bar{x}$
Módulo 1: sin vegetación	50	48	0.96
Módulo 2: con vegetación	50	12	0.24
Módulo 3: sin vegetación	50	56	1.12

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: al observar la tabla anterior, se infiere lo siguiente:

- En el módulo 1, sin vegetación, se utilizaron 50 varillas para estimar la sedimentación, por lo que la suma fue de 48 mm y el promedio fue de 0.96.
- En el módulo 2, con vegetación, también se instalaron 50 varillas de sedimentación, cuyos indicadores en la suma total fue de 12 mm, con un promedio de 0.24.
- En el módulo 3, sin vegetación, se instalaron 50 varillas de sedimentación con las que se alcanzó una suma de 56 mm con un promedio 1.12.

### Experimento 3:

Tabla 46. *Ensayo 2 sobre promedios de erosión.*

Módulos	Cantidad de varillas	$\Sigma$	$\bar{x}$
Módulo 1: sin vegetación	50	380	7.60
Módulo 2: con vegetación	50	42	0.84
Módulo 3: sin vegetación	50	406	8.20

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: al observar la tabla anterior, se infiere lo siguiente:

- En el módulo 1, sin vegetación, se utilizaron 50 varillas de erosión, por lo que la suma fue de 380 mm de corte laminar en total y el promedio fue de 7.60.
- En el módulo 2, con vegetación, también se instalaron 50 varillas de erosión, cuyos indicadores en la suma total fue de 42 mm, con un promedio de 0.84.
- En el módulo 3, sin vegetación, se instalaron 50 varillas de erosión con las que se alcanzó una suma de 406 mm con un promedio 8.20.

### Experimento 4:

Tabla 47. *Ensayo 2 sobre promedios de sedimentación.*

Módulos	Cantidad de varillas	$\Sigma$	$\bar{x}$
Módulo 1: sin vegetación	50	30	0.60
Módulo 2: sin vegetación	50	12	0.24
Módulo 3: sin vegetación	50	40	0.80

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: al observar la tabla anterior, se infiere lo siguiente:

- En el módulo 1, sin vegetación, se utilizaron 50 varillas de sedimentación, por lo que la suma fue de 30 mm de corte laminar en total y el promedio fue de 0.60.

- En el módulo 2, sin vegetación, también se instalaron 50 varillas de sedimentación, cuyos indicadores en la suma total fue de 12 mm, con un promedio de 0.24.
- En el módulo 3, sin vegetación, se instalaron 50 varillas de sedimentación con las que se alcanzó una suma de 40 mm con un promedio 0.80.

Experimento 5:

Tabla 48. *Ensayo 3 sobre promedios de erosión.*

Módulos	Cantidad de varillas	$\Sigma$	$\bar{x}$
Módulo 1: sin vegetación	50	450	9.00
Módulo 2: sin vegetación	50	160	3.20
Módulo 3: sin vegetación	50	432	8.64

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: al observar la tabla anterior, se infiere lo siguiente:

- En el módulo 1, sin vegetación, se utilizaron 50 varillas de erosión, por lo que la suma fue de 450 mm de corte laminar en total y el promedio fue de 9.00.
- En el módulo 2, sin vegetación, también se instalaron 50 varillas de erosión, cuyos indicadores en la suma total fue de 160 mm, con un promedio de 3.20.
- En el módulo 3, sin vegetación, se instalaron 50 varillas de erosión con las que se alcanzó una suma de 432 mm con un promedio 8.64.

Experimento 6:

Tabla 49. *Ensayo 3 sobre promedios de sedimentación.*

Módulos	Cantidad de varillas	$\Sigma$	$\bar{x}$
Módulo 1: sin vegetación	50	72	1.44
Módulo 2: con vegetación	50	16	0.32
Módulo 3: con vegetación	50	76	1.52

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: al observar la tabla anterior, se infiere lo siguiente:

- En el módulo 1, sin vegetación, se utilizaron 50 varillas de sedimentación, por lo que la suma fue de 72 mm de corte laminar en total y el promedio fue de 1.44.
- En el módulo 2, con vegetación, también se instalaron 50 varillas de sedimentación, cuyos indicadores en la suma total fue de 16 mm, con un promedio de 0.32.
- En el módulo 3, con vegetación, se instalaron 50 varillas de sedimentación con las que se alcanzó una suma de 76 mm con un promedio 1.52.

Experimento 7:

Tabla 50. *Ensayo 4 sobre promedios de erosión.*

Módulos	Cantidad de varillas	$\Sigma$	$\bar{x}$
Módulo 1: sin vegetación	50	250	5.00
Módulo 2: con vegetación	50	18	0.36
Módulo 3: sin vegetación	50	264	5.28

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: al observar la tabla anterior, se infiere lo siguiente:

- En el módulo 1, sin vegetación, se utilizaron 50 varillas de erosión, por lo que la suma fue de 250 mm de corte laminar en total y el promedio fue de 5.00.
- En el módulo 2, con vegetación, también se instalaron 50 varillas de erosión, cuyos indicadores en la suma total fue de 18 mm, con un promedio de 0.36.
- En el módulo 3, sin vegetación, se instalaron 50 varillas de erosión con las que se alcanzó una suma de 264 mm con un promedio 5.28.

Experimento 8:

Tabla 51. *Ensayo 4 sobre promedios de sedimentación.*

Módulos	Cantidad de varillas	$\Sigma$	$\bar{x}$
Módulo 1: sin vegetación	50	38	0.76
Módulo 2: con vegetación	50	14	0.28
Módulo 3: sin vegetación	50	32	0.64

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: al observar la tabla anterior, se infiere lo siguiente:

- En el módulo 1, sin vegetación, se utilizaron 50 varillas de sedimentación, por lo que la suma fue de 38 mm de corte laminar en total y el promedio fue de 0.76.
- En el módulo 2, con vegetación, también se instalaron 50 varillas de sedimentación, cuyos indicadores en la suma total fue de 14 mm, con un promedio de 0.28.
- En el módulo 3, sin vegetación, se instalaron 50 varillas de sedimentación con las que se alcanzó una suma de 32 mm con un promedio 0.64.

Experimento 9:

Tabla 52. *Ensayo 5 sobre promedios de erosión.*

Módulos	Cantidad de varillas	$\Sigma$	$\bar{x}$
Módulo 1: sin vegetación	50	330	6.60
Módulo 2: con vegetación	50	140	2.80
Módulo 3: con vegetación	50	460	9.20

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: al observar la tabla anterior, se infiere lo siguiente:

- En el módulo 1, sin vegetación, se utilizaron 50 varillas de erosión, por lo que la suma fue de 330 mm de corte laminar en total y el promedio fue de 6.60.
- En el módulo 2, con vegetación, también se instalaron 50 varillas de erosión, cuyos indicadores en la suma total fue de 140 mm, con un promedio de 2.80.
- En el módulo 3, con vegetación, se instalaron 50 varillas de erosión con las que se alcanzó una suma de 460 mm con un promedio 9.20.

Experimento 10:

Tabla 53. *Ensayo 5 sobre promedios de sedimentación.*

Módulos	Cantidad de varillas	$\Sigma$	$\bar{x}$
Módulo 1: sin vegetación	50	36	0.72
Módulo 2: sin vegetación	50	12	0.24
Módulo 3: sin vegetación	50	30	0.60

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: al observar la tabla anterior, se infiere lo siguiente:

- En el módulo 1, sin vegetación, se utilizaron 50 varillas de sedimentación, por lo que la suma fue de 36 mm de corte laminar en total y el promedio fue de 0.72.
- En el módulo 2, sin vegetación, también se instalaron 50 varillas de sedimentación, cuyos indicadores en la suma total fue de 12 mm, con un promedio de 0.24.
- En el módulo 3, sin vegetación, se instalaron 50 varillas de sedimentación con las que se alcanzó una suma de 30 mm con un promedio 0.60.

Experimento 11:

Tabla 54. *Ensayo 6 sobre promedios de erosión.*

Módulos	Cantidad de varillas	$\Sigma$	$\bar{x}$
Módulo 1: sin vegetación	50	380	7.60
Módulo 2: con vegetación	50	170	3.40
Módulo 3: sin vegetación	50	440	8.80

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: al observar la tabla anterior, se infiere lo siguiente:

- En el módulo 1, sin vegetación, se utilizaron 50 varillas de erosión, por lo que la suma fue de 380 mm de corte laminar en total y el promedio fue de 7.60.

- En el módulo 2, con vegetación, también se instalaron 50 varillas de erosión, cuyos indicadores en la suma total fue de 170 mm, con un promedio de 3.40.
- En el módulo 3, sin vegetación, se instalaron 50 varillas de erosión con las que se alcanzó una suma de 440 mm con un promedio 8.80.

Experimento 12:

Tabla 55. *Ensayo 6 sobre promedios de sedimentación.*

Módulos	Cantidad de varillas	$\Sigma$	$\bar{x}$
Módulo 1: sin vegetación	50	32	0.64
Módulo 2: con vegetación	50	18	0.36
Módulo 3: sin vegetación	50	28	0.56

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: al observar la tabla anterior, se infiere lo siguiente:

- En el módulo 1, sin vegetación, se utilizaron 50 varillas de erosión, por lo que la suma fue de 32 mm de corte laminar en total y el promedio fue de 0.64.
- En el módulo 2, con vegetación, también se instalaron 50 varillas de erosión, cuyos indicadores en la suma total fue de 18 mm, con un promedio de 0.36.
- En el módulo 3, sin vegetación, se instalaron 50 varillas de erosión con las que se alcanzó una suma de 28 mm con un promedio 0.56.

Experimento 13:

Tabla 56. *Comparativo erosión - sedimentación, sin vegetación.*

Módulos	Cantidad de varillas	$\Sigma$ erosión	$\Sigma$ sedimentación
Módulo 1: sin vegetación	50	480	46
Módulo 2: sin vegetación	50	240	24
Módulo 3: sin vegetación	50	438	38

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: al observar la tabla anterior, se infiere lo siguiente respecto de los experimentos sin vegetación:

- En el módulo 1, sin vegetación, se utilizaron 50 varillas de erosión, cuya suma fue de 480 mm; el indicador de sedimentación alcanzó 46 mm.
- En el módulo 2, sin vegetación, también se instalaron 50 varillas de erosión, cuya suma fue de 240 mm; el dato correspondiente de sedimentación fue de 24 mm.
- En el módulo 3, sin vegetación, se instalaron 50 varillas de erosión, cuya suma fue de 438 mm y para la sedimentación 38 mm.

Experimento 14:

Tabla 57. *Comparativo erosión - sedimentación, con vegetación.*

Módulos	Cantidad de varillas	$\Sigma$ erosión	$\Sigma$ sedimentación
Módulo 1: con vegetación	50	160	24
Módulo 2: con vegetación	50	140	18
Módulo 3: con vegetación	50	166	26

Fuente: elaboración propia.

Interpretación: al observar la tabla anterior, se infiere lo siguiente respecto de los experimentos con vegetación:

- En el módulo 1, con vegetación, se utilizaron 50 varillas de erosión, cuya suma fue de 160 mm; el indicador de sedimentación alcanzó 24 mm.
- En el módulo 2, con vegetación, también se instalaron 50 varillas de erosión, cuya suma fue de 140 mm; el dato correspondiente de sedimentación fue de 18 mm.
- En el módulo 3, con vegetación, se instalaron 50 varillas de erosión, cuya suma fue de 166 mm y para la sedimentación 26 mm.

#### 4.14. Discusión de resultados

La investigación se vincula con el estudio presentado por Grosso (5) sobre sostenibilidad ambiental en la explotación de presas en Lima - Perú, donde

plantea que los recursos naturales deben ser utilizados de manera racional lo que implica la protección de los ecosistemas y el ambiente. En el presente estudio se alcanzan indicadores de erosión y sedimentación, fenómenos cuyas consecuencias pueden reducirse si se toman medidas preventivas que eviten el desgaste continuo de los suelos, lo que a su vez puede derivar en efectos nefastos para la seguridad alimentaria de la población.

Asimismo, en el trabajo desarrollado por Brea (1), en el cual se analizan y evalúan los procesos de erosión y sedimentación, sus causas y consecuencias, se plantean medidas preventivas en bases a labores y actividades *in situ* de los suelos susceptibles a la erosión y sedimentación, tales como la ejecución de obras de restauración, reforestación, cuidado de la vegetación en sus diversos tipos, en la medida en que sirve como muro de contención natural del control del flujo de agua.

Por otra parte, este estudio implica utilizar los métodos y procedimientos propuestos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), con énfasis en el método directo de reconocimiento a través del cual es posible medir los índices de erosión y sedimentación utilizando materiales de bajo costo y fáciles de utilizar.

De la misma forma, la presente investigación se relaciona con el estudio desarrollado por Morales (6) sobre el aporte de sedimentos al embalse de río Hato, - Cundinamarca, Colombia, para caracterizar el impacto de la erosión, el uso de los recursos naturales y el desgaste de los suelos por la erosión. La autora sostiene que a mayores pendientes, se alcanzan mayores niveles de escorrentía y que empleando paquetes informáticos, es posible determinar la pérdida de suelos.

Conviene subrayar que en las investigaciones realizadas sobre erosión y sedimentación en cuencas, la relación entre estas dos variables es directa y el método más apropiado para reducir sus efectos sobre los ecosistemas y la sostenibilidad es la protección de los tipos de vegetación que hay en los suelos como los arbustos, matorrales, etc.

## CONCLUSIONES

Al término de la investigación, se alcanzan a establecer las siguientes conclusiones:

- La influencia por erosión pluvial indica que en un suelo con vegetación, los promedios varían entre un máximo de 9.2 mm y un mínimo de 0.28 mm, mientras que un suelo sin vegetación, la variación de los promedios es de un máximo de 9.0 mm y un mínimo de 3.2 mm.
- Con respecto a la influencia de la sedimentación, los experimentos indican que en un suelo con vegetación, los promedios varían entre un máximo de 1.52 mm y un mínimo 0.24 mm, mientras que en un suelo sin vegetación, el máximo promedio es de 1.12 mm y el mínimo llega a 0.24 mm.
- El promedio acumulado de erosión con vegetación es de 155.33 mm durante el periodo en estudio, mientras que el promedio acumulado de sedimentación es de 22.67 mm durante el periodo en estudio.
- Asimismo, es posible deducir que existe una relación directa entre la erosión y sedimentación, lo que se verifica en los cuadros comparativos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BREA, J. y BALOCCHI, F. *Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas*. Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, Ciencia y Cultura, 2015.
- (2) FLORES, J., y otros. *Determinación de la erosión actual y potencial de los suelos de Chile*. Chile: Centro de Información de Recursos Naturales, 2010.
- (3) DÍAZ, O. Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. *Ingeniería e Investigación*. 2010, 31(3).
- (4) PACHECO, L. *Teoría de transporte y producción de sedimentos y su aplicación en embalses*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 2005.
- (5) GROSSO, M. *Sostenibilidad ambiental de presas y embalses*. España: Comité Nacional Español de Grandes Presas, 2014.
- (6) MORALES, L. y PORRAS, J. Determinación del aporte de sedimentos al embalse de "El Hato" en el Municipio de Carmen de Carupa - Cundinamarca, a través de la ecuación universal de pérdida de suelo. Tesis (Título de Ingeniero Ambiental y Sanitario). Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2014.
- (7) GAYOSO, J. y ALARCÓN, D. *Guía de conservación de suelos forestales*. Chile: INFOR, 1999.
- (8) HONORATO, R. *Suelos degradados y agricultura sustentable*. Chile: Universidad de Chile, 2002.
- (9) SUÁREZ, J. *Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos, 1998.
- (10) DERPSCH, R. [en línea]. Entender el proceso de la erosión y de la infiltración de agua en el suelo, 2004 [fecha de consulta: 01 de marzo de 2018]. Disponible en: <http://www.rolfderpsch.com/erosion-es.html>.
- (11) CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL. *Análisis de crecientes, pérdida de suelo, de sedimentación y análisis batimétrico*. Cundinamarca : Compañía de Proyectos Ambientales e Ingeniería CPA - Ubaté, 2006.
- (12) GUEVARA, E. *Manejo integrado de cuencas, documento de referencia para América Latina y El Caribe*. s.l.: FAO, 1997.
- (13) WORLD VISION [en línea]. Manual de manejo de cuencas, 2004. Disponible en: [http://www.edeca.una.ac.cr/files/EDECA/Gestion%20desarrollo%20local/VM-Manual\\_de\\_Manejo\\_de\\_Cuencas\\_.pdf](http://www.edeca.una.ac.cr/files/EDECA/Gestion%20desarrollo%20local/VM-Manual_de_Manejo_de_Cuencas_.pdf).

- (14) ROCHA, A. *Introducción a la hidráulica fluvial*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 1998.
- (15) LENNTECH. *Agua residual y purificación del aire*. España: Potablewater, 2006.
- (16) VERA, L. *Análisis de foro de la Estación Hidrométrica Obrajillo - periodo 2000-2001*. Lima: UNMSM, 2002.
- (17) PEÑAS, F. Clasificación del régimen hidrológico natural y predicción de características hidroecológicas en el tercio norte de la Península Ibérica. Tesis Doctoral. Santander: Universidad de Cantabria, 2014.
- (18) BUSTAMANTE, C. Efectos ambientales generados por la construcción y operación de un embalse. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Sincelejo: Universidad de Sucre, 2008.
- (19) FLORES, J. Impactos ambientales de presas y bordos. Tesis (Título de Ingeniero Civil). México D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, 2001.
- (20) LÓPEZ, R., PONS, P. y BATALLA, R. Efectos hidrogeomorfológicos aguas abajo de embalses. Cimbra. 2004.
- (21) GARCÍA, P. *Procesos y control de la erosión*. Denver: Outskirts Press, 2008.
- (22) JICA [en línea]. Plan de control de sedimentos, 2007. Disponible en: [https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12124483\\_07.pdf](https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12124483_07.pdf).
- (23) MORGAN, R. *Soil erosion & conservation*. Cranfield: Blackwell, 2005.
- (24) RAMÍREZ, F. y HINCAPIÉ, G. Riesgo a la erosión en la zona cafetera. Cenicafé. 2009, 60(2). ISSN: 0120-0275.
- (25) HESSION, W., y otros. Riparian deforestation, stream narrowing, and loss of stream ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2004, 101(39).
- (26) MATHER, A. Forest transition theory and the reforestation of Scotland. *Scott. Geog.* 2004, 120.
- (27) DISSMEYER, G. y FOSTER, G. *A guide for predicting sheet and rill erosion on forestland*. Estados Unidos: USDA Forest Service, 1984.
- (28) GERALCH, T. *Współczesny rozwój stoków w dorzeczu górnego Grajcarka*. Francia: Prace Geograf, 1966.
- (29) WU, S., LI, J. y HUANG, G. An evaluation of grid size uncertainty in empirical soil loss modeling with digital elevation models. *Envir. Modeling and Assessment*. 2005, 10.
- (30) AUZA, M. *Degradación de Tierras: Erosión Hídrica y Modelo USLE*. Bolivia: UMSS, 2011.

- (31) BUBENZER, G. y MITCHELL, J. *Soil loss estimation*. Liverpool: Soil Erosion, 1980.
- (32) ZAR, J. *Biostatistical analysis*. Estados Unidos: Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, 1999.
- (33) TÁNAGO, M. La ecuación universal de pérdidas de suelo: Pasado, presente y futuro. *Ecología*. 1991, 5.
- (34) PÉREZ, J. y SANDOVAL, J. *Seguimiento de la desviación del río el Hato para la construcción de la presa El Hato*. Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 2013.
- (35) CHAPPELL, A., y otros. Simulations to optimize sampling of aeolian sediment transport in space and time for mapping. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2003, 28.
- (36) CHÁVEZ, H. y CIPIRAN, A. Influencia del puente Chuquillanqui y terraplén de acceso en la sedimentación del río Chuquillanqui, tramo puente Chuquillanqui. Tesis (Título de Ingeniero Civil). Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2012.
- (37) SCHOKLITSCH, A. *Handbuch des Wasserbaues*. Vienna: Springer-Verlag, 1962.
- (38) SUÁREZ, M. *Cómo calcular el coeficiente de correlación de Karl Pearson*. Ecuador: Universidad Técnica del Norte, 2011.

## **ANEXOS**

**Anexo 1. Matriz de consistencia.**

**Título de la investigación:** “Influencia de la erosión del suelo en la sedimentación en embalses para su disposición final en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018”.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema general: ¿Cuál es la influencia de la erosión del suelo en la sedimentación en embalses para su disposición final en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018?</p> <p>Problemas específicos: *¿Cuál es la influencia de la erosión hídrica en la sedimentación en embalses para su disposición final en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018? *¿Cuál es la influencia de los sedimentos en el almacenamiento de agua en la represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018? *¿Cuál es la influencia de la topografía en la sedimentación de los suelos adyacentes al río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018?</p>	<p>Objetivo general: Determinar la influencia de la erosión del suelo en la sedimentación en embalses para su disposición final en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.</p> <p>Objetivos específicos: *Determinar la influencia de la erosión hídrica en la sedimentación en embalses para su disposición final en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018. *Determinar la influencia de los sedimentos en el almacenamiento de agua en la represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018. *Determinar la influencia de la topografía en la sedimentación de los suelos adyacentes al río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.</p>	<p>Hipótesis general: La erosión por salpicadura, erosión laminar, y erosión en surcos entre otros influyen significativamente en la sedimentación en embalses para su disposición final en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.</p> <p>Hipótesis específicas: *La erosión hídrica a través de su agregación, su textura, capacidad de infiltración, influyen significativamente en la sedimentación en embalses para su disposición final en la subcuenca y represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018. *Los sedimentos a través de producción media anual de sedimentos por erosión superficial, coeficiente de retención de sedimento y coeficiente de erosión, influyen significativamente en el almacenamiento de agua en la represa del río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018. *La topografía a través de factores de inclinación, longitud de la pendiente, distancia horizontal, forma de la pendiente, influyen significativamente en la sedimentación de los suelos adyacentes al río Lluchus - Huancayo durante el periodo 2017 - 2018.</p>	<p>Variable independiente (X): *Erosión del suelo.</p> <p>Dimensiones: -Movimientos de masa. -Hídrica. -Eólica. -Gravitatoria. -Superficie erosionada. -Laminar. -Cárcavas. -Corrosión.</p> <p>Variable dependiente (Y): *Sedimentación en embalses.</p> <p>Dimensiones: -Eficiencia de retención. -Material de lecho. -Transporte de material de lecho. -Material fino. -Carga lavada. -Sedimento de fondo.</p>	<p>Tipo de investigación: *Aplicada, observacional, comparativa.</p> <p>Nivel de investigación: *Básica.</p> <p>Diseño de investigación: *Correlacional - demostrativo.</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD     OG[O.G.] &lt;--&gt; CF[C.F.]     OG -- PE 1 - CF1 --&gt; CF     OG -- PE 2 - CF2 --&gt; CF     HG[H.G.]     </pre> </div> <p>Población: *60</p> <p>Muestra: *26</p> <p>Método de investigación: *Inductivo - deductivo, analítico - sintético.</p> <p>Método específico: *Enfoque: cualitativo - cuantitativo.</p>



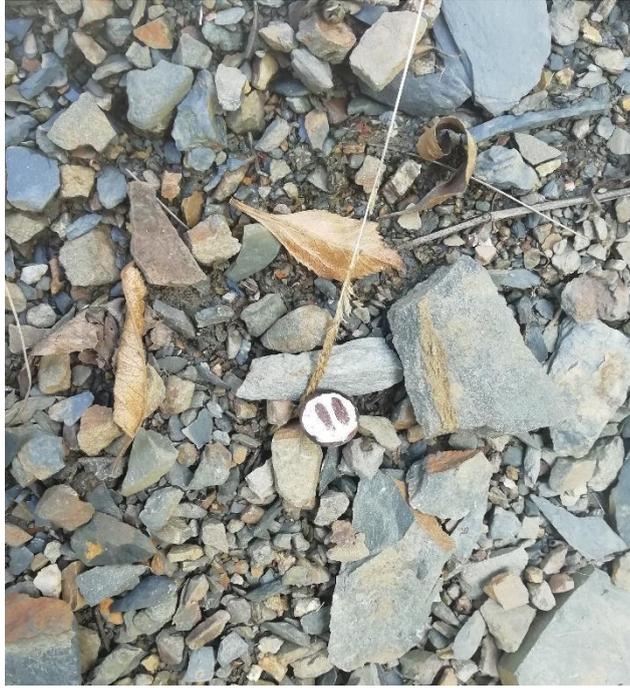
**Anexo 2. Panel fotográfico.**



Fotografía 1. Punto de muestreo N° 1.



Fotografía 2. Resultado de erosión en el punto de muestreo N° 1.



Fotografía 3. Punto de muestreo N° 2.



Fotografía 4. Resultado de erosión en el punto de muestreo N° 2.



Fotografía 5. Punto de muestreo N° 3.



Fotografía 6. Resultado de erosión en el punto de muestreo N° 3.



Fotografía 7. Punto de muestreo N° 4.



Fotografía 8. Resultado de erosión en el punto de muestreo N° 4.



Fotografía 9. Punto de muestreo N° 5.



Fotografías 10 y 11. Deslizamiento de tierra en el punto de muestreo N° 5.



Fotografía 12. Presa N° 1 - río Lluchus.



Fotografía 13. Presa N° 2 - río Lluchus.



Fotografía 14. Deslizamiento de tierra.



Fotografía 15. Acumulación de sedimentos en las orillas del río.



Fotografía 16. Desprendimiento de las paredes ribereñas del río.



Fotografía 17. Deslizamiento de tierras aguas arriba de la presa N° 1.



Fotografía 18. Erosión de los bordes del río.



Fotografía 19. Deslizamiento de tierras aguas arriba de la presa N° 2.



Fotografía 20. Acumulación de sedimentos durante años en la presa N° 1.