

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE GAVIONES PARA MITIGACIÓN DE EROSIÓN  
DE LADERAS EN EL RÍO CAPLINA, TACNA**

**TESIS**

Presentada Por:

**Bach. Kharen Mamani Quenta**

**Bach. Eddy Frank Coronado Choquecahua**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

TACNA – PERÚ

2025

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN**

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

“DISEÑO DE GAVIONES PARA MITIGACIÓN DE EROSIÓN DE  
LADERAS EN EL RÍO CAPLINA, TACNA”

Tesis sustentada y aprobada el día 21 de febrero del 2025 estando  
integrado el Jurado Calificador por:

**PRESIDENTE**

  
: .....  
Ph.D. Ing. Edwin Martin Pino Vargas

**SECRETARIO**

  
: .....  
Mtro. Ing. Wilber Percy Mendoza Ramirez

**VOCAL**

  
: .....  
Mtro. Ing. César José Avendaño Jihuallanga

**ASESOR DE TESIS**

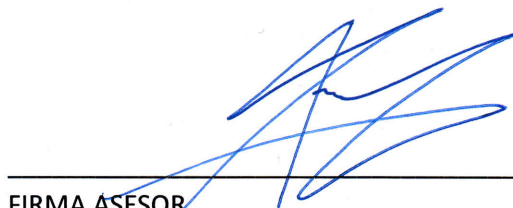
  
: .....  
Mtro. Ing. César José Avendaño Jihuallanga

## CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, César José Avendaño Jihuallanga, en mi condición de ASESOR acreditado con Resolución de Facultad N° 197-2023-FIAG/UNJBG del 14 de abril del 2023, del Trabajo de Tesis titulado: "DISEÑO DE GAVIONES PARA MITIGACIÓN DE EROSIÓN DE LADERAS EN EL RÍO CAPLINA, TACNA". Presentado por la Bach. Kharen Mamani Quenta y Bach. Eddy Frank Coronado Choquecahua. Para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y similitud de trabajos de investigación y producción intelectual de la UNJBG; considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 19 %. Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis enunciada líneas arriba, la cual esta expedita para continuar con los trámites para optar el título profesional de Ingeniero Civil, según corresponda para su publicación en el Repositorio Institucional.

Tacna, 27 de febrero del 2025.

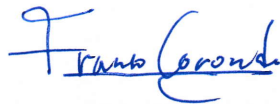


FIRMA ASESOR

Nombres y apellidos: Mtro. Ing. César José Avendaño Jihuallanga  
DNI: 41607963



Huella dactilar



FIRMA AUTOR

Nombre y apellidos: Eddy Frank Coronado Choquecahua  
DNI:71790643



Huella dactilar



FIRMA AUTOR

Nombre y apellidos: Kharen Mamani Quenta  
DNI: 76415999



Huella dactilar

## **DEDICATORIA**

*Dedico esta tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a él tengo salud y fortaleza los cual me ayudo en este logro, a mis padres, Desiderio Coronado Romero y Nelly Felipa Choquecahua Chambilla, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante a lo largo de mi vida, porque sin su apoyo y aliento, este logro no habría sido posible*

*Eddy Frank Coronado Choquecahua*

## **DEDICATORIA**

*La presente Tesis se la dedico a Dios por brindarme salud, fortaleza y siempre guiar mi camino*

*A mis padres Fernando Mamani Ticona y Esperanza Quenta Aguilar por su apoyo incondicional y sus consejos para hacer de mí una mejor persona*

*Kharen Mamani Quenta*

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, agradecer a Dios, así como también agradecer a mi asesor de tesis, Mtro. Ing. César José Avendaño Jihuallanga, por su invaluable orientación, apoyo paciencia durante el proceso de la elaboración de esta tesis.*

*Agradesco a mis profesores des la escuela de Ingeniera Civil, quienes con sus aportes y sugerencias potenciaron mi formación y desarrollo de esta tesis.*

*Finalmente, a mis padres, Desiderio Coronado Romero y Nelly Felipa Choquecahua Chambilla, por su apoyo constante y por creer en mí, incluso en los momentos más difíciles.*

*Eddy Frank Coronado Choquecahua*

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, agradecer a Dios*

*Agradezco a los docentes que me enseñaron en mi etapa universitaria que con sus conocimientos ha sido fundamental en la realización de esta tesis.*

*Kharen Mamani Quenta*

## ÍNDICE GENERAL

HOJA DE JURADOS .....	i
CERTIFICADO DE SIMILITUD.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
INDICE DE FIGURAS .....	ixx
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
RESUMEN.....	11
ABSTRACT .....	12
INTRODUCCIÓN .....	13
CAPÍTULO I.....	14
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	14
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2.1 Problema General.....	15
1.1.1. Problemas específicos .....	15
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.4 OBJETIVOS .....	17
1.4.1 Objetivo General .....	17
1.4.2 Objetivos Específicos.....	17
1.5 HIPÓTESIS.....	17

1.5.1	Hipótesis general.....	17
1.5.2	Hipótesis específicas .....	17
2	MARCO TEORICO.....	18
2.1	ANTECEDENTES.....	18
2.1.1.	Antecedentes Internacionales.....	18
2.1.2.	Antecedentes nacionales .....	18
2.1.3.	Antecedentes locales .....	18
2.2	BASES TEÓRICAS.....	19
2.2.1	Erosión Hídrica .....	19
2.2.2	Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).....	21
2.2.3	Modelo de Elevación Digital (DEM).....	24
2.2.4	Sistema de Información Geográfico (SIG) .....	24
2.3	Muro de Gaviones:.....	25
2.3.1	Gaviones tipo caja y tipo colchón .....	26
2.3.2	Gavión tipo saco: .....	27
2.4	Diseño de muros de gaviones.....	30
2.4.1	Determinación del empuje .....	31
2.4.2	Teoría de Rankine .....	32
2.4.3	Teoría de Coulomb: .....	34
2.4.4	Efecto de la cohesión del suelo .....	35
2.4.5	Efecto sísmico: .....	36
2.4.6	Efecto de la superficie freática.....	37
2.5	Definición de términos.....	38

2.5.1	Cuenca Hidrográfica .....	38
2.5.2	Erosión Hídrica .....	38
2.5.3	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).....	38
2.5.4	Modelo Universal Soil Loss Equation (USLE).....	38
2.5.5	Sistema de Información Geográfica (SIG).....	39
2.5.6	Subcuenca .....	39
3	CAPÍTULO III.....	40
	MARCO METODOLÓGICO .....	40
3.1	TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	40
3.1.1	Tipo de investigación .....	40
3.1.2	Diseño de investigación .....	40
3.1.3	Nivel de investigación.....	40
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO .....	41
3.2.1	Población.....	41
3.2.2	Muestra.....	41
3.3	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	41
3.3.1	Variable dependiente.....	41
3.3.2	Variable Independiente .....	41
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	42
3.4.1	Técnicas .....	42
3.4.2	Instrumentos.....	42
4	CAPÍTULO IV.....	43

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	43
4.1 Cálculo de la pérdida de suelo promedio anual .....	43
4.1.1 Factor de erosividad de la lluvia (R) .....	43
4.1.2 Factor de erodibilidad de los Suelos (K).....	53
4.1.1 Factor de longitud y Pendiente (LS) .....	56

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Muro de Gaviones.....	25
<b>Figura 2.</b>	Gavion tipo Colchon.....	27
<b>Figura 3.</b>	Gavion tipo saco .....	28
<b>Figura 4.</b>	Abertura de la malla .....	30
<b>Figura 5.</b>	Empuje del suelo sobre un elemento móvil .....	32
<b>Figura 6.</b>	Teoría de Rankine .....	33
<b>Figura 7.</b>	Teoria de Coulomb .....	34
<b>Figura 8.</b>	Fuerzas debidas el Sismo .....	36
<b>Figura 9.</b>	Presiones generadas por la superficie freática .....	37
<b>Figura 10.</b>	Factor R .....	53
<b>Figura 11.</b>	.....	55
	Ilustración 8 Cargado de los valores de K obtenidos en ArcGIS .....	55
<b>Figura 12.</b>	.....	55
	Factor de erodibilidad del suelo en la Sub cuenca del Rio Caplina .....	55
<b>Figura 13.</b>	.....	57
	Ventana Del Raster Calculator Para Obtener El Factor F .....	57
<b>Figura 14.</b>	Raster del Factor F.....	57
<b>Figura 15.</b>	Raster del Factor M .....	58
<b>Figura 16.</b>	Raster del Factor S.....	59
<b>Figura 17.</b>	Raster del Factor LS .....	60
<b>Figura 18.</b>	Ráster de la Erosión en la Sub Cuenca del Rio Caplina .....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> .....	23
Valores del Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) .....	23
<b>Tabla 2.</b> Características del Alambre .....	29
<b>Tabla 3.</b> Precipitaciones de la estación de Calana.....	43
<b>Tabla 4.</b> Precipitaciones de la estación de Calana.....	45
<b>Tabla 5.</b> Precipitaciones de la estación de Calana. ....	45
<b>Tabla 6.</b> Precipitaciones de la estación de Paucarani .....	46
<b>Tabla 7.</b> Precipitaciones de la estación de Jorge Basadre .....	48
<b>Tabla 8.</b> Precipitaciones de la estación de Tarata.....	49
<b>Tabla 9.</b> Precipitaciones Medias mensuales .....	50
<b>Tabla 10.</b> Cálculo del Valor de R en las Estaciones meteorológicas .....	52
<b>Tabla 11.</b> Categoría De La Erosión Y Porcentaje De Área.....	68

## RESUMEN

Esta tesis tiene como objetivo principal analizar la erosión hídrica en la subcuenca del río Caplina utilizando el Modelo Universal de Pérdida de Suelo (USLE) junto con herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología empleada se basó en el modelo USLE para calcular la pérdida de suelo en diferentes zonas de la subcuenca. Se elaboraron mapas temáticos para visualizar la distribución espacial de la erosión hídrica. Los factores analizados incluyeron la erosividad de la lluvia (R), la erodabilidad del suelo (K), la longitud y pendiente del terreno (LS), la cobertura y manejo del suelo (C) y las prácticas de conservación (P).

Los resultados revelaron que la mayor parte de la subcuenca presenta erosión ligera, con un leve incremento en áreas con pendientes pronunciadas y escasa cobertura vegetal, identificándose como las más vulnerables.

Para mitigar la erosión, se realizó el diseño de gaviones en el área donde la erosión es moderada a alta dentro del distrito de Pachía.

El análisis de la erosión hídrica en la subcuenca del río Caplina utilizando el modelo USLE y SIG ha permitido identificar patrones de erosión que requieren intervención urgente. Las estrategias de mitigación propuestas buscan proteger las áreas más afectadas y promover prácticas sostenibles para conservar el suelo y utilizar de manera responsable los recursos naturales de la región. Esta investigación proporciona una base sólida para la toma de decisiones y el desarrollo de políticas eficaces en la gestión del suelo.

**Palabras clave:** erosión hídrica; sistema de información geográfico; medidas de mitigación

## **ABSTRACT**

The main objective of this thesis is to analyze water erosion in the Caplina River sub-basin using the Universal Soil Loss Model (USLE) together with Geographic Information Systems (GIS) tools. The methodology used was based on the USLE model to calculate soil loss in different areas of the subbasin. Thematic maps were created to visualize the spatial distribution of water erosion. The factors analyzed included rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), land length and slope (LS), soil cover and management (C), and conservation practices (P).

The results revealed that most of the subbasin presents light erosion, with a slight increase in areas with steep slopes and little vegetation cover, identifying them as the most vulnerable.

To mitigate erosion, the design of gabions was carried out in the area where erosion is moderate to high within the Pachía district.

The analysis of water erosion in the Caplina River sub-basin using the USLE and GIS model has made it possible to identify erosion patterns that require urgent intervention. The proposed mitigation strategies seek to protect the most affected areas and promote sustainable practices to conserve soil and responsibly use the region's natural resources. This research provides a solid basis for decision-making and the development of effective policies in land management.

Keywords: water erosion; geographic information system; mitigation measures

## INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica es un problema global que afecta la sostenibilidad de los recursos naturales y los cultivos. De acuerdo con la FAO, aproximadamente el 33% de las tierras agrícolas en el mundo sufren degradación del suelo, incluida la erosión. Este fenómeno no solo reduce la productividad agrícola, sino que también provoca sedimentación en cuerpos de agua, pérdida de biodiversidad y emisiones de gases de efecto invernadero (Pimentel, 2006). Para abordar estos problemas, se han realizado numerosos estudios internacionales que utilizan el Modelo Universal de Pérdida de Suelo (USLE) como herramienta estándar para evaluar y mitigar la erosión hídrica. Además, se han integrado tecnologías geoespaciales y geomáticas para mejorar la precisión de las evaluaciones (Renard et al., 1997).

En Perú, la erosión hídrica es un problema significativo debido a la diversidad geográfica y climática del país. Las regiones de la sierra y la costa presentan altas tasas de erosión que ponen en riesgo la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental. Las políticas nacionales están empezando a centrarse en la gestión integrada de cuencas y la conservación de suelos, lo que destaca la necesidad de estudios específicos que orienten la toma de decisiones a nivel regional. La utilización de modelos predictivos como el USLE, junto con herramientas geoespaciales, es fundamental para diseñar estrategias eficaces de manejo del suelo y del agua en Perú (Morales et al., 2018).

A nivel local, es urgente realizar evaluaciones precisas que identifiquen las áreas más afectadas y propongan medidas de mitigación adecuadas. Este estudio se enfoca en analizar la subcuenca del río Caplína utilizando el Modelo Universal de Pérdida de Suelo (USLE) junto con herramientas geoespaciales para evaluar la magnitud y distribución de la erosión hídrica en el año 2025.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **13.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

“Los sedimentos transportados por la erosión de laderas provocan el atasco de Estructuras hidráulicas” (Acuña, 2020, p. 20), su magnitud depende de la corriente de agua proporcional a las pendientes del relieve y a su longitudinal (Rocha, 2015).

A consecuencia de las intensas lluvias en febrero del 2019 la bocatoma Chuscuco y calientes, presentó diversos tipos de daños estructurales produciendo la inoperatividad y desaprovechamiento hidráulico (Coaquira, 2020).

La erosión del suelo conlleva a una serie de impactos que a su vez se encuentran relacionados con la capacidad productiva del suelo y el agotamiento de los nutrientes (Issaka & Ashraf, 2017).

En los últimos años, la ampliación de la zona urbana ha desarrollado un crecimiento poblacional y económico con dirección hacia la zona ribereña, estando expuestos al peligro ante las crecidas del caudal del río (Benaute & Madolyn, 2019), las actividades antropogénicas que se realizaron alrededor del río Caplína, originó alteraciones morfológicas de cuerpos de agua y reducción del ancho mínimo de cauce (Calizaya y Ramiro, 2019).

## **13.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **13.2.1 Problema General**

- ¿Cuál es la erosión hídrica en la subcuenca del río Caplína, Tacna, durante los últimos años, y cómo se pueden identificar eficazmente las áreas más afectadas?

#### **1.1.1. Problemas específicos**

- ¿Cuál es la pérdida de suelo promedio anual en diferentes áreas de la subcuenca del río Caplína calculada mediante la USLE?
- ¿Cuáles son las áreas más vulnerables a la erosión hídrica en la subcuenca del río Caplína según los resultados de la USLE y el análisis geoespacial?
- ¿Cuál será el diseño de gaviones para el área de estudio?

### **13.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Las infraestructuras hidráulicas son indispensables para la protección de cultivos agrícolas de inundaciones por incremento de caudal del río Caplína, los gaviones reducen pérdidas económicas que obtiene la población de la zona de estudio por la agricultura (Balasubramanian & Balasubramanian, 2017).

La delimitación de faja marginal buscará un mecanismo para la conservación y preservación de las fuentes naturales del río Caplína ocasionada por factores Antropogénicos. (Issaka & Ashraf, 2017).

Según Issaka & Ashraf (2017), los gaviones disminuyen la cantidad de erosión este suele ser severo en áreas descuidadas y desprotegidas, la contaminación de masas de agua y humedales

cercanos y la reducción de la productividad de las tierras de cultivo están vinculadas al proceso de erosión.

La identificación de áreas vulnerables para incorporar gaviones, aumenta la eficacia de las acciones de protección y prevención para salvaguardar a la población y proteger al río Caplína ante eventualidades inundaciones máximas y Fenómenos del niño (Rocha, 2015).

## **13.4 OBJETIVOS**

### **13.4.1 Objetivo General**

- Mitigar la erosión de laderas con gaviones en el río Caplína, Pachía, Tacna”

### **13.4.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar la erosión hídrica en la subcuenca del río Caplína, Pachía, Tacna”
- Elaborar la propuesta de diseño de gaviones.

## **13.5 HIPÓTESIS**

### **13.5.1 Hipótesis general**

- Es posible mitigar la erosión con el diseño de gaviones usando modelación hidráulica en un flujo con dentritos.

### **13.5.2 Hipótesis específicas**

- Es posible identificar áreas vulnerables de erosión según el modelamiento hidráulico en la subcuenca del río Caplína, Tacna

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **14.1 ANTECEDENTES**

##### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

la estructura de gaviones, usadas en caídas son ambientalmente sostenibles y económicamente inclusivas. Desde el punto de vista de la calidad del agua, sustancias físicas y químicas como sedimentos y materia orgánica en suspensión pueden pasar aguas abajo a través del cuerpo permeable (Daneshfaraz et al, 2021).

Se estima que el transporte total anual de sedimentos representa alrededor del 20-25% de la pérdida total anual de suelo dentro del territorio serbio (Petkovic et al., 1999).

##### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

La estabilidad de un muro se pierde debido a agentes naturales, pueden ser presiones hidrostáticas, intemperismo, erosión, deforestación. Para proteger se debe de realizar mantenimientos de la estructura (Novoa, 2018).

##### **2.1.3. Antecedentes locales**

El caudal máximo para delimitar la faja marginal del río Caplína en el sector del Río Seco es de 91.30 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de TR=100 años, de acuerdo al ANA para asentamientos poblacionales (Santos, 2018), los caudales máximos instantáneos estimados para el modelamiento hidráulico son 47.01 m<sup>3</sup>/s, 60.39 m<sup>3</sup>/s, 82.55 m<sup>3</sup>/s, para periodos de retorno de, 100, 200, y 500 años respectivamente (Choque, 2020).

La precipitación anómala del año 2020 generó destrozos en la ciudad de Tacna, arrastrando aprox. 80 metros cúbicos de agua con piedras y lodo por las quebradas desde la zona de la bocatoma Challata pasando por los Baños Termales Calientes (SENAMHI, 2019). Los gaviones a la altura del puente peatonal San José de Piedra Blanca Colapsaron debido al mal diseño (Diario Caplína,2020).

## **14.2 BASES TEÓRICAS**

### **14.2.1 Erosión Hídrica**

Se considera un proceso de transporte y separación de partículas del suelo debido a las precipitaciones, afectando la fertilidad y productividad del suelo, ya que, el proceso reduce los niveles de materia orgánica. Puede llegar a diversos grados de intensidad que pueden generar un ambiente desfavorable para el crecimiento vegetal y sobre todo un desequilibrio a nivel de cuencas hidrológicas. Se tienen los siguientes procesos de erosión.

#### *14.2.1.1 Desprendimiento*

En este proceso intervienen las gotas de lluvia que, al momento de caer, desprenden partículas de la superficie del suelo y algunas de estas partículas podrían moverse hacia la parte más baja del terreno.

#### *14.2.1.2 Transporte*

Es el desplazamiento del material desprendido. En esta etapa se pueden producir diferentes tipos de erosión, por ejemplo: erosión en cárcavas, erosión laminar, erosión en surcos, etc.

#### *14.2.1.3 Sedimentación*

En este proceso el suelo que ya está desprendido y transportado, se acumula en diferentes sitios modificando las formas del relieve terrestre.

También se tiene los siguientes tipos de erosión, los cuales pueden clasificarse en:

a. Erosión natural o geológica

Este tipo de erosión ocurre de forma natural y sin intervención del hombre. Existen factores como el agua y el viento, que al estar en movimiento sobre la superficie arrasan con las partículas del suelo.

b. Erosión antrópica o acelerada

Es el proceso causado por acción del hombre, que altera la capa superficial como resultado del mal manejo del suelo.

También debemos estudiar las formas de erosión.

a. Erosión por salpicaduras

Esto es causado principalmente por las gotas de lluvia que caen directamente sobre la superficie de la tierra. El efecto de la erosión dependerá de la forma y el tamaño de las gotas y de la capacidad de erosión del suelo.

b. Erosión laminar

La erosión laminar es la pérdida de una capa delgada y uniforme en un terreno inclinado. Es considerada de una forma más perjudicial ya que es provocada por precipitaciones.

c. Erosión en surcos

Se da cuando el agua de lluvia se concentra y al no usar métodos para conservar el suelo, se lleva parte de la superficie terrestre, iniciando con pequeños canales que finalmente se convierten en surcos.

d. Erosión en cárcavas

Se considera un estado más avanzado de los surcos, es decir, varían dependiendo de las dimensiones del caudal ya que son de gran tamaño y profundidad.

### 14.2.2 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)

Desarrollada originalmente por Wischmeier & Smith (1965), “La USLE ayuda a estimar la tasa de erosión hídrica en terrenos agrícolas y naturales, la cantidad media de suelo que se pierde por unidad de área durante un período específico” (p. 20) La ecuación 1, es una herramienta determinante que consiste de los siguientes factores:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Donde:

A: Pérdida de suelo promedio anual (toneladas por hectárea por año, t/ha/año).

R: Factor de erosividad de la lluvia (MJ·mm/(ha·h·a)).

K: Factor de erodabilidad del suelo (t·ha·h/(ha·MJ·mm)).

LS: Factor de longitud y pendiente del terreno (adimensional).

C: Factor de cobertura y manejo del suelo (adimensional).

P: Factor de prácticas de conservación (adimensional).

A continuación, realizamos la descripción de los factores:

#### 14.2.2.1 Factor R (Erosividad de la lluvia)

La ecuación 2, representa el efecto de la lluvia en la erosión. Se calcula considerando la intensidad y la energía cinética de las lluvias en una región específica. Roose (1995), citado por Ramos (2001) calculó el factor R, mediante la siguiente ecuación.

$$R = 1,73 * 0.5 * P$$

Donde:

P: Precipitación media anual, generándose el mapa de isoerodientes, del cual se obtiene la superficie que representa el factor R.

#### 14.2.2.2 Factor K (Erodabilidad del suelo)

Indica la susceptibilidad del suelo a la erosión, dependiendo de sus propiedades físicas y químicas, como textura, estructura, contenido de materia orgánica y permeabilidad.

Para obtener esta variable, nos dirigimos a la página de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) donde descargamos el mapa digital de suelos del mundo en formato shapefile y para la metodología, consideramos la ecuación 3, que es la fórmula de Williams (2000), presentada a continuación:

$$K = 0,1317 * A*B*C*D$$

Dónde:

A: Contenido de fracción de arena (0,05 - 2 mm de diámetro) en %

B: Contenido de fracción de limo (0,002 - 0.05 mm de diámetro) en %

C: Contenido de fracción de arcilla (< 0,002 mm de diámetro) en %

D: Contenido de carbono orgánico %

#### 14.2.2.3 Factor LS (Longitud y pendiente del terreno)

Es la combinación de dos factores: longitud de la pendiente (L) y grado de la pendiente (S), siendo una fórmula combinada según Wischmeier y Smith (1965).

$$LS = (L / 22,13) ^m * (0,065 + 0,045S + 0,0065S^2)$$

Donde:

L: Longitud de la pendiente en metros

S: Pendiente en porcentaje

m: Exponente que varía con la pendiente.

#### 14.2.2.4 Factor C (Cobertura y manejo del suelo)

Refleja el impacto de las prácticas de manejo y el tipo de vegetación sobre la erosión. Se basa en la comparación entre las tasas de erosión de suelo cubierto y descubierto. Para obtener el factor C, se puede utilizar el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).

### Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)

Es un indicador utilizado en teledetección para evaluar la cantidad y salud de la vegetación en una determinada área. Su base teórica se fundamenta en cómo la vegetación refleja la luz en diferentes longitudes de onda, para ello, se aplica la ecuación 5, haciendo uso de imágenes satelitales.

$$NDVI = \frac{B5 - B4}{B5 + B4}$$

Donde:

B4: es el valor de reflectancia en el infrarrojo cercano (Infrarrojo cercano - NIR) B3: es el valor de reflectancia en el rojo (Red - RED)

Finalmente, aplicando la ecuación 6, se determinará el factor C.

$$C = \frac{1 - NDVI}{2}$$

Se utilizó esta fórmula debido a que es una herramienta efectiva y accesible para estimar el impacto de la cobertura vegetal en la erosión del suelo.

#### **Tabla 1.**

*Valores del Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)*

Valores	Descripción
- 1 – 0	Cuerpos de agua
0 – 0,2	Suelo denudado
0,2 – 0,4	Vegetación escasa
0,4 – 0,6	Vegetación buena
0,6 - 1	Vegetación buena o abundante

*Nota:* Datos tomados de la FAO

e. Factor P (Prácticas de conservación). Representa la efectividad de prácticas de manejo y conservación del suelo, como terrazas, contornos de cultivos y franjas de vegetación. Se determina mediante tablas basadas en las prácticas específicas aplicadas en la región. Cuando no es posible determinar esto según como lo refiere Rodríguez (2007), el factor es igual a 1.

#### **14.2.3 Modelo de Elevación Digital (DEM)**

Es una ilustración gráfica 3D sobre datos tridimensionales basado en celdas, que permite cuantificar las características de la superficie de suelo. Y se pueden clasificar en los siguientes Modelos Digitales.

a. **Modelo Digital de Superficie (MDS)**

Representa todos los elementos que forman parte de la superficie de la tierra, como la vegetación, edificaciones, etc.

b. **Modelo Digital de Terreno (MDT)**

Muestra la forma del terreno desnudo, es decir, sin vegetación, sin edificaciones y cualquier otro elemento que no forme parte del terreno.

#### **14.2.4 Sistema de Información Geográfico (SIG)**

Es un sistema conformado por un conjunto de medios y métodos informáticos, considerado como hardware y software que utiliza datos geográficos que se usan para recolectar, almacenar, manejar, analizar y extender geográficamente la información determinada con la finalidad de solucionar problemas complicados de planificación y gestión. Los Sistemas de Información Geográfica es un campo muy amplio y puede ser aplicado en diferentes actividades que cuenten con componentes espaciales, los campos más utilizados son los siguientes: Medio Ambiente, Infraestructuras, Recursos Minerales, Información de Rutas, Geomarketing y Cartografía. Para la interpretación de información

geográfica, se conocen muchos softwares que se utilizan para el análisis de resultados, y los principales son:

a. ArcGIS. Es un sistema completo que permite analizar, recopilar, organizar, etc, toda información geográfica, y es la plataforma más empleada usada a nivel mundial.

b. QGis. Es un software libre que nos permite generar, analizar, editar, etc, cualquier información geoespacial. Con el tiempo se ha ido estableciendo como un sistema que puede tener muchas funcionalidades.

### **14.3 Muro de Gaviones:**

Los muros de gaviones están formados por cajas flexibles hechas de malla de alta resistencia, con dimensiones de hasta medio metro o menor, y se rellenan con bloques de roca sólida hasta formar una estructura firme. Esta estructura modular permite crear diferentes formas y configuraciones para el muro (López, 2012).

## **Figura 1.**

### *Muro de Gaviones*



*Nota:* La figura muestra el muro de Gaviones. Fuente: López (2012).

En el lugar de construcción, los gaviones se unen entre sí mediante una costura manual utilizando el mismo alambre de la malla. Los bloques de roca empleados para el relleno deben ser resistentes a la meteorización o desintegración, y sus dimensiones deben ser de una a dos veces la menor medida de la malla, con el fin de prevenir la pérdida de material y garantizar la mayor densidad posible (Tamariz, 2019)

#### **14.3.1 Gaviones tipo caja y tipo colchón**

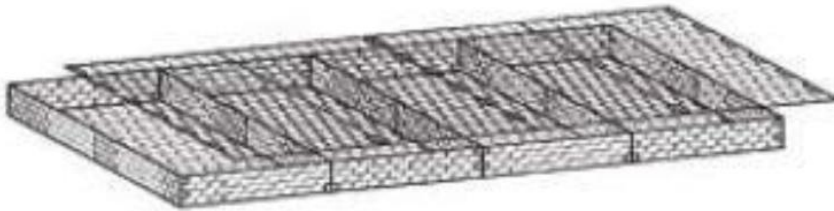
Son paralelepípedos rectangulares de variadas dimensiones, compuestos por una malla metálica tejida a doble torsión que conforma una base, paredes verticales y una tapa, la cual puede ser fabricada de forma separada si en el caso es necesario. Se llenan con bloques de roca intactos en el mismo lugar donde se colocara dichos muros, cuyo peso debe ser adecuado. Para este fin, el peso específico de los bloques

debe ser igual o superior a 2 ton/m<sup>3</sup>. Dependiendo de la estructura de las mallas, estas pueden ser (Piñar, 2008):

- De abertura hexagonal (tejidos).
- De abertura ortogonal (electrosoldados).

**Figura 2.**

*Gavión tipo colchón*



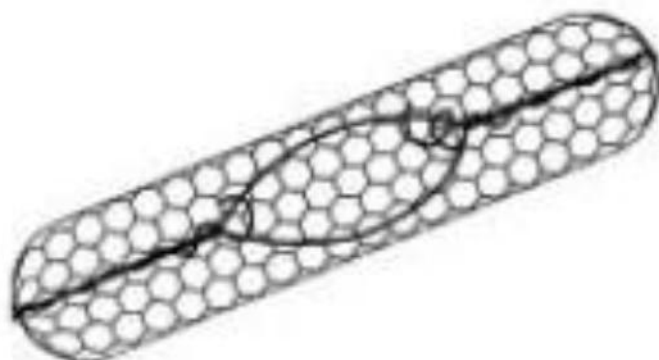
*Nota:* La figura muestra el enmallado tipo colchón. Fuente: Piñar (2008).

**14.3.2 Gavión tipo saco:**

Son elementos formados por un solo panel de malla, cuyos bordes libres tienen que estar reforzados con un alambre grueso que atraviesa las mallas de manera alternada hasta formar una estructura resistente.

### **Figura 3.**

*Gavión tipo saco*



*Nota:* La figura muestra el enmallado tipo Saco. Fuente: Piñar (2008).

#### *14.3.2.1 Características de los Alambres*

Los alambres utilizados en la fabricación, ensamblaje e instalación de los gaviones deben cumplir con las normas establecidas por la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT NBR) 8964 y la American Society for Testing Materials (ASTM) 641. Esto garantizará que el acero dulce recocido tenga una resistencia a la ruptura promedio de entre 38 y 48 kg/mm<sup>2</sup>, además de cumplir con las características especificadas a continuación. (Piñar, 2008)

Carbono: % 0.06-0.10

Fosforo: % P máx. 0.04

Azufre: % S máx. 0.05

Además, es requisito que todos los alambres estén recubiertos con una aleación de zinc-aluminio al 5% (Zn 5 Al MM), de acuerdo con las especificaciones de la ASTM 8565.

**Tabla 2.**

*Características del alambre*

Diámetro nominal del alambre	Mínimo peso de revestimiento (g/m <sup>2</sup> )
2.2	240.0
2.4 y 2.7	260.0
3.0	275.0

*Nota:* Adaptado de ASTM 8565 (2018)

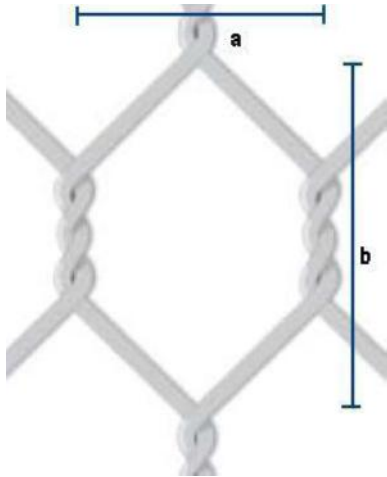
*14.3.2.2 Malla:*

La malla está formada por una red tejida con un patrón hexagonal, lograda al entrelazar dos hilos de alambre resistentes mediante tres giros (doble torsión), conforme a las especificaciones NBR 10514 y ASTM 9755.

Debido a que las estructuras están expuestas a tensiones causadas por asentamientos diferenciales del terreno, empujes externos, entre otros factores, no se recomienda utilizar gaviones con aberturas de malla mayores a 8 x 10 cm. Una abertura más grande reduciría la cantidad de acero en los gaviones, lo que resultaría en un debilitamiento de la estructura (Piñar, 2008)

**Figura 4.**

*Detalle de la abertura del alambre*



*Nota:* La figura muestra el ancho de la abertura del alambre. Fuente: Piñar (2008).

#### **14.4 Diseño de muros de gaviones**

Los muros de gaviones funcionan como muros de gravedad y trabajan por su propio peso, cuyo objetivo principal es resistir los empujes laterales del terreno. Estas estructuras están específicamente diseñadas para soportar el empuje activo del suelo, ya que, debido a su flexibilidad, se espera que se produzcan deformaciones en el suelo lo suficientemente significativas como para alcanzar esta condición, lo que a su vez reduce la resistencia cortante en comparación con la condición de reposo.

Por otro lado, es importante considerar que el muro en sí mismo es una estructura drenante, lo que impide la formación de empujes debido al agua. No obstante, es necesario verificar esta condición en el lugar para asegurar que no haya elementos que favorezcan la acumulación de agua detrás del muro, lo que podría generar empujes horizontales y consecuentemente causar daños al muro.

En la Mecánica de Suelos, se acepta que la resistencia al corte de los suelos sigue el criterio de falla de Mohr-Coulomb, el cual establece que la resistencia en cualquier plano de falla potencial dentro del suelo depende del esfuerzo normal efectivo que actúa sobre dicho plano. Sin embargo, debido a la complejidad de realizar un análisis de esfuerzos efectivos a corto plazo en suelos con baja permeabilidad, frecuentemente se opta por utilizar los esfuerzos totales (Piñar, 2008). La resistencia al corte en el plano de falla potencial se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

$$\tau = c + \sigma(\tan\varphi)$$

Donde:

$\tau$  = resistencia al corte total del plano

$c$  = cohesión total del suelo

$\varphi$  = ángulo de fricción del suelo

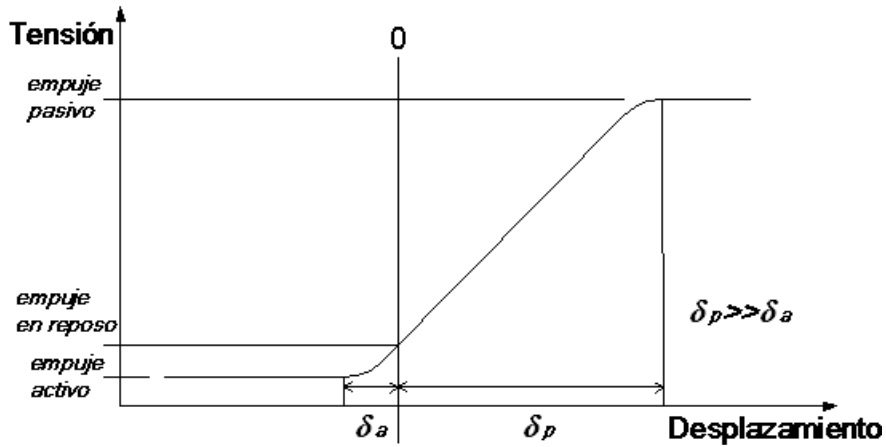
$\sigma$  = esfuerzo normal en el plano de falla.

#### **14.4.1 Determinación del empuje**

El empuje de tierra es la fuerza resultante de las presiones laterales que el suelo ejerce sobre una estructura de soporte o fundación. Estas presiones se originan por el peso propio del suelo y las cargas adicionales que se aplican sobre él. (Ballón, 2020)

**Figura 5.**

*Empuje del suelo sobre un elemento móvil*



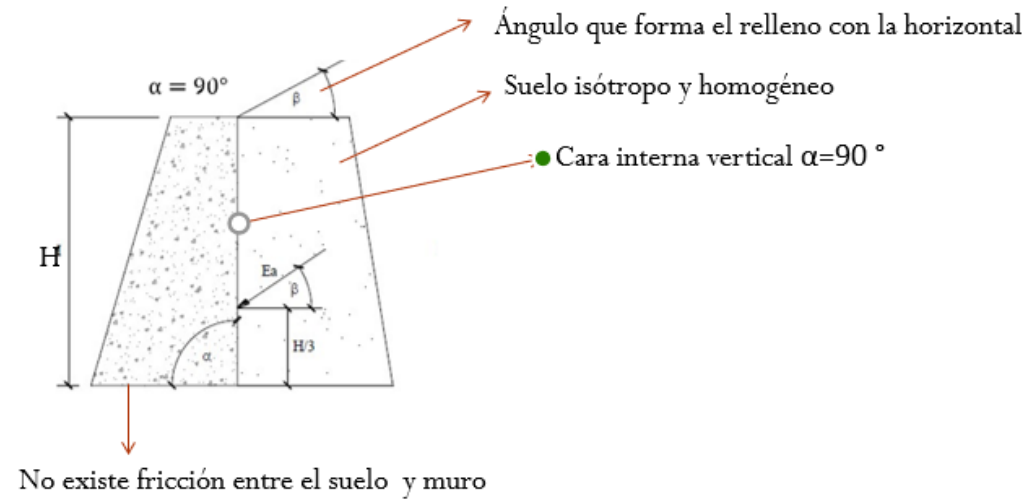
*Nota:* La figura muestra el empuje del suelo versus el desplazamiento. Fuente: Ballón (2020).

#### 14.4.2 Teoría de Rankine

La teoría de Rankine para determinar la magnitud de los empujes del suelo sobre los muros se establece en las siguientes hipótesis:

**Figura 6.**

*Teoría de Rankine*



*Nota:* La figura muestra el detalle del empuje del suelo. Fuente: Ballón (2020).

Según la teoría de Rankine, la presión activa y pasiva es respectivamente:

$$P_a = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * K_a$$

$$P_p = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * K_p$$

Los coeficientes de los empujes varían si el terraplén de relleno es horizontal o inclinado.

Para terraplén horizontal se tiene:

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\Phi}{2} \right)$$

$$K_p = \tan^2 \left( 45 + \frac{\Phi}{2} \right)$$

Para terraplén inclinado se tiene:

$$K_a = \cos \beta * \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \Phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \Phi}}$$

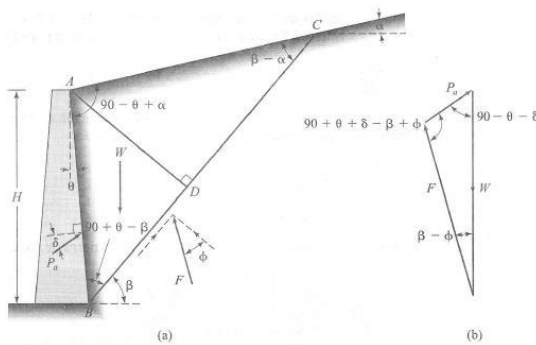
$$K_p = \cos \beta * \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \Phi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \Phi}}$$

### 14.4.3 Teoría de Coulomb:

El suelo se considera una masa homogénea e isotrópica, con fricción interna y cohesión. " $\Phi$ " representa el ángulo de fricción interna del suelo. La cuña de falla se comporta como un cuerpo rígido. " $\delta$ " es el ángulo de fricción entre el suelo y el muro, también llamado ángulo de rugosidad del muro. Se propone que la falla es plana y que el muro tiene una longitud unitaria.

**Figura 7.**

*Teoría de Coulomb*



*Nota:* La figura muestra el detalle del ángulo de fricción del Suelo. Fuente: Ballón (2020).

Para calcular la presión activa y pasiva del suelo según la teoría de Coulomb, se emplean las siguientes ecuaciones.

$$P_a = \frac{1}{2} * K_a * \gamma * H^2$$

$$P_p = \frac{1}{2} * K_p * \gamma * H^2$$

Donde:

$K_a$  y  $K_p$ , son los coeficientes de la presión activa y pasiva:

$$K_a = \frac{\cos^2(\Phi - \theta)}{\cos^2(\theta) * \cos(\delta + \theta) * \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\delta + \Phi) * \text{sen}(\Phi - \alpha)}{\cos(\delta + \theta) * \cos(\theta - \alpha)}} \right]^2}$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\Phi + \theta)}{\cos^2(\theta) * \cos(\delta - \theta) * \left[ 1 - \sqrt{\frac{\text{sen}(\Phi - \delta) * \text{sen}(\Phi + \alpha)}{\cos(\delta - \theta) * \cos(\alpha - \theta)}} \right]^2}$$

Donde:

$\varphi$ , Ángulo de fricción interna del muro

$\delta$ , Ángulo de fricción suelo-muro

$\alpha$ , Ángulo de inclinación del terraplén

$\Theta$ , Ángulo de inclinación de la cara interna del muro

#### 14.4.4 Efecto de la cohesión del suelo

Cuando el suelo que conforma el terreno sostenido es cohesivo, aparece una fuerza adicional de resistencia, denominada  $C$ , que actúa sobre la superficie de rotura. Esta fuerza se calcula multiplicando la cohesión del suelo por la longitud de la superficie de rotura.

Además, en el estado activo se generan tensiones en la parte superior del terraplén, lo que da lugar a la formación de grietas de tracción. Estas grietas reducen el área útil resistente de la superficie de rotura, incrementando el empuje sobre la estructura de contención. Para los fines de diseño, la profundidad de estas grietas, denotada como  $z_0$ , se calcula de la siguiente manera:

$$z_0 = \frac{2c}{\gamma} \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right)$$

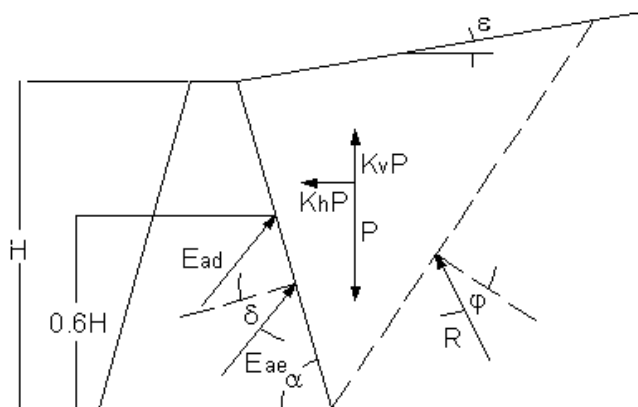
De esta manera, el punto más crítico para la formación de una grieta de tracción se encuentra al final de la superficie de rotura, lo que provoca su reducción.

#### 14.4.5 Efecto sísmico:

Durante un sismo, el empuje activo aumenta debido a las aceleraciones horizontales y verticales del terreno. Estas aceleraciones generan fuerzas de inercia tanto en la dirección horizontal como en la vertical, las cuales deben ser tomadas en cuenta al analizar el equilibrio de fuerzas. (Piñar, 2008)

**Figura 8.**

*Fuerzas debidas el Sismo*



Fuente: Piñar (2008)

*Nota:* La figura muestra las fuerzas que se generan con el Sismo. Fuente: Piñar (2008).

Por lo general, estas aceleraciones se expresan en términos de la aceleración debida a la gravedad y dependen del nivel de riesgo sísmico de la región. Así, las fuerzas de inercia se calcularán como una fracción del peso de la cuña de suelo.

$$I_h = K_h P.$$

y

$$I_v = K_v P$$

Los coeficientes de aceleración horizontal ( $K_h$ ) y vertical ( $K_v$ ) son utilizados para calcular las fuerzas de inercia. En caso de que haya cargas aplicadas sobre el terraplén, también se deben incluir las fuerzas de inercia correspondientes a esas cargas.

#### 14.4.6 Efecto de la superficie freática

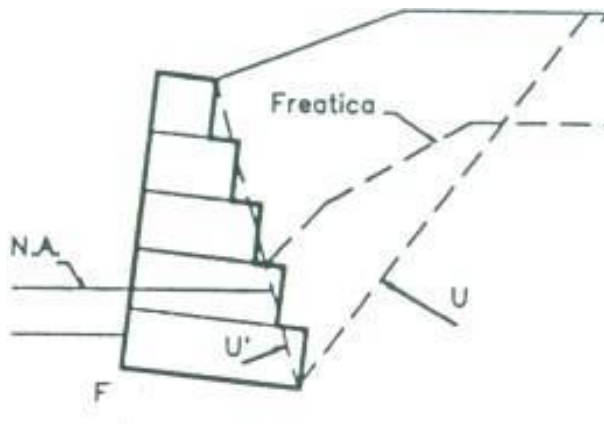
Los valores de estos coeficientes suelen estar especificados en normativas nacionales, dependiendo del nivel de riesgo sísmico en cada área.

##### Efecto de la superficie freática

La presencia de una superficie freática dentro del macizo sostenido genera un incremento en el empuje activo. Este aumento se debe a la aparición de una fuerza  $U$ , provocada por la presión del agua que actúa sobre la superficie de falla.

#### Figura 9.

*Presiones generadas por la superficie freática*



*Nota:* La figura muestra la presión que genera la superficie freática. Fuente: López (2012).

Para calcular la fuerza U, se determina la presión del agua a lo largo de la superficie de falla, considerando la diferencia de altura entre cada punto de la superficie freática y la superficie de falla. La fuerza U se obtiene luego integrando estas presiones a lo largo de la superficie de falla.

## **14.5 Definición de términos**

### **14.5.1 Cuenca Hidrográfica**

Una cuenca hidrográfica es una región delimitada geográficamente donde toda la precipitación y los flujos de agua superficiales convergen hacia un único punto de salida, y es esencial para la comprensión y gestión del ciclo hidrológico y los recursos hídricos (Chorley, 1969).

### **14.5.2 Erosión Hídrica**

Es un proceso físico donde las partículas de suelo se desprenden y son transportadas por acción de las lluvias, ocasionando un deterioro de los suelos debido a la desaparición del suelo superficial (Álvarez, 2019).

### **14.5.3 Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI)**

Es un indicador esencial en la teledetección para evaluar la salud y la densidad de la vegetación terrestre. Este índice se calcula a partir de la reflectancia en el espectro del infrarrojo cercano y el rojo, y sus valores oscilan entre -1 y 1, representando distintas condiciones de cobertura vegetal y suelo (Tucker, 1979).

### **14.5.4 Modelo Universal Soil Loss Equation (USLE)**

Es una herramienta fundamental para predecir la erosión del suelo en campos agrícolas, considerando factores como la erosividad de la lluvia, la

erodabilidad del suelo, la topografía, la cobertura vegetal y las prácticas de conservación (Wischmeier y Smith, 1965).

#### **14.5.5 Sistema de Información Geográfica (SIG)**

Es una herramienta tecnológica que integra hardware, software y datos geográficos para capturar, gestionar, analizar y mostrar información georreferenciada, permitiendo visualizar y entender patrones y relaciones espaciales (Burrough, 1986).

#### **14.5.6 Subcuenca**

Es una superficie de terreno conformada por ríos secundarios que fluyen en su totalidad en dirección al río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca, una subcuenca es aquel que tiene un área que varía entre 10.000 a 60.000 hectáreas (Moreno, 2017).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **15.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

##### **15.1.1 Tipo de investigación**

Diseño experimental, porque se desea comprobar los efectos de los muros de contención (gaviones) con una modelación específica, en este caso el investigador tiene un papel activo, pues lleva a cabo una propuesta de diseño.

##### **15.1.2 Diseño de investigación**

El diseño de la investigación es no experimental, puesto que se enfoca en responder a las interrogantes planteadas en la investigación de forma significativa para determinar la estrategia a seguir en la búsqueda, de la investigación bibliográfica para tratar las preguntas planteadas y el estudio; es decir, un entendimiento más detallado de trabajos anteriores, información y datos divulgados por diferentes medios, la recolección de datos se da directamente por el investigador sin alterar las variables. (Hernandez et al., 2014)

##### **15.1.3 Nivel de investigación**

El estudio es de nivel descriptivo, porque involucra en la recolección de datos para verificar la hipótesis o responder a interrogantes relacionadas con la situación y conlleva a la obtención de nuevos conocimientos. (Nicomedes, 2018).

## **15.2 POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO**

### **15.2.1 Población**

La población para el estudio serán las laderas del río Caplína que se centra en la subcuenca del río Caplína, la cuenca del río Caplína se encuentra situada en el sur del Perú, en la región y provincia de Tacna y abarca los distritos de Palca, Pachía, Calana, Pocollay, Alto de la alianza y Tacna.

La subcuenca del río Caplína, que es la zona de estudio específica, tiene una superficie de 1,085.21 km<sup>2</sup>, se extiende en dirección noreste-suroeste y cuenta con el río Palca como su principal tributario (Gobierno Regional de Tacna, 2023).

### **15.2.2 Muestra**

La muestra es Laderas del río Caplína, altura de urb. San José, en el distrito de Pachía provincia de Tacna.

## **15.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

### **15.3.1 Variable dependiente**

Diseño del Gavión

Indicadores:

- Dimensiones
- Forma
- Materiales

### **15.3.2 Variable Independiente**

Erosión hídrica

Indicadores:

- Factor R
- Factor K
- Factor LS

## **15.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **15.4.1 Técnicas**

Para estimar la erosión hídrica utilizando el Método Universal de Pérdida de Suelo (USLE) con imágenes satelitales, se siguen varios pasos clave. Este enfoque aprovecha las herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y datos satelitales para calcular los factores que componen la ecuación USLE

Revisión documentaria. A fin de recolectar la información bibliografía sobre el tema de investigación, lo que comprende la revisión de tesis, artículos científicos, normas técnicas peruanas, normas internacionales y demás información que permita validar la dosificación de la base estabilizada.

### **15.4.2 Instrumentos**

Los materiales que se utilizaron para el procesamiento de datos fueron:

- Software: Auto Cad, Qgis y Arc Gis
- Modelo Digital de Elevación (DEM)
- Imágenes satelitales Landsat
- Herramientas para el procesamiento de ArcGis

Validez de los instrumentos. Para garantizar la confiabilidad de la siguiente de esta investigación se recopila los certificados de ensayos de ensayos de laboratorio que son validados por especialistas y validados por especialistas de la supervisión de obra.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 16.1 Cálculo de la pérdida de suelo promedio anual

##### 16.1.1 Factor de erosividad de la lluvia (R)

Para el cálculo de R se tomaron datos de 10 estaciones que se encontraban dentro de la cuenca, se tomaron las meteorológicas que tienen influencia dentro del área de la cuenca delimitada son las estaciones meteorológicas, las estaciones de Calana, calientes, Palca, Paucarani, Jorge Basadre, Tarata, Challata, Yarada, y la Bocatoma, se recolecto datos pluviométricos.

##### 16.1.1.1 Cálculo de las precipitaciones medias mensuales

**Tabla 3.**

*Precipitaciones de la estación de Calana*

PRECIPITACIONES DE LA ESTACION "CALANA" (mm/mes)												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1970	1.2	0	0.9	0.2	1.2	0.1	0.92	0	1.2	1	0	0
1971	2.11	0.4	0	0	0.5	0.32	0.04	6.13	0.53	0	0	1.9
1972	1.03	0.13	0.01	0.01	1.62	0.34	16.03	7.71	11.71	1.11	9.2	2.61
1973	3.51	4.6	0.2	0	0.01	4.9	1.81	4.84	2.4	1.21	1.8	0.41
1974	11.13	0.51	0	0.9	0	0.72	1.01	2.02	4.61	0.8	4	0
1975	7.7	2.71	0.01	0	0	0.91	0.02	0.41	1.7	0	0	0.51
1976	2.92	2.2	0.01	0	0.04	9.11	3.62	16.73	8.12	1.02	0	3.2
1977	4.6	0.01	0	0	0	0	1.82	2.66	2.6	0.22	0.41	0
1978	0	0	0	2.03	0.02	0.96	0.2	0.95	0.71	0.01	0.01	0
1979	1.2	0.01	3.5	0	0	0.02	0.01	0.02	0.62	0.03	0	0
1980	0	0	0	0	0	0.2	1.02	0.52	0.02	0.01	0	0.02
1981	0.03	0	0.01	0.01	0	0	0.01	0	1.1	0	0	0.02
1982	0	0.01	1.5	0	0.03	0.08	0.03	3.21	5.11	5.61	7.8	9.4
1983	52.73	35	0.4	0.51	19.11	7.42	14.22	18.11	1.82	0.9	2.8	2.3
1984	0	0	0	0	0.02	10.52	0.02	3.74	0.81	6.91	0	0
1985	0	2.01	0	0.01	0	0.42	0.02	1.31	4.51	3.31	0.01	0.6

1986	4.3	8.1	0	0.01	2.12	1.07	4.06	1.45	7.6	1.25	0.03	0.61
1987	1	0.01	2.1	0.11	0.22	0.98	8.99	1.1	3.24	2.15	0	1.1
1988	0.77	0	0.41	0.02	0.01	0.77	0.54	1.45	12.12	0.62	0.01	0.01
1989	0	1.81	0	0	0.07	1.67	1.57	2.29	3.33	0	0	0
1990	0	0	0	0.3	0.02	0.02	1.92	0	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	10
1992	0	0	0	3.2	20.9	3.42	0.01	0	0	0.81	0	0
1993	0	0	0	0	6.01	7.6	4.62	2.31	0	0	0	0.4
1994	3.8	0	0	1.01	0.21	1.5	0.02	3.04	0	0.41	1	0.21
1995	0	0	9.6	0	0.01	0.01	0.01	2.3	1.6	0.4	0	0.01
1996	0.01	1.4	0	0	0	1.4	0.12	4.52	0	0	0.3	0
1997	4.72	3.5	0.8	0	6.3	1.81	6.21	8.7	21	5.8	8.71	
1998	34.5	2.01	0	1.1	0.21	0.81	1.62	5.1	2.21	1.3	0	1.41
1999	0.9	0.4	0.3	0	0	1.12	0.02	0.72	2.3	1.31	2.5	9.11
2000	7.32	0.81	0.6	0.02	0.01	2.2	3	1.81	0.11	1.12	0	1.01
2001	0.44	0.71	0.81	0.3	0	1.14	1.45	1.96	2.71	0.11	0.01	2.11
2002	0	5.3	5.1	2.61	0	0.22	12.92	2.23	0.41	0.62	0.62	1.01
2003	5.22	0	0	0.74	1.2	0.63	3.93	2.32	2.32	0.3	0.8	0
2004	0.4	1.2	0	0	0.35	0.6	1.63	3.61	0.71	0.11	0.11	0.2
2005	2.4	0.2	0	0.32	0.53	1.54	0.32	1.32	3.32	0	0	0
2006	0.01	0.21	0	0	0.5	3.31	0.64	2	0.41	0.51	0.3	0.3
2007	0.01	1.2	0	0.1	0.5	1.51	0.6	10.01	4.31	0.3	2	0
2008	5.2	0.01	0	0.2	0.21	2.9	0.12	1.01	4.01	0.5	0	0.4
2009	0	0.8	0	0	0	0.3	2.15	2.6	2.8	0.6	3.81	5.6
2010	0	0.1	0	2.9	1.2	3.1	0.6	0	0.7	0	0	0
2011	2.4	11.82	0	0	1	7.5	3.51	3.7	3.3	0	0.61	1.8
2012	5.5	3.6	2.6	0.3	0	2.3	1.6	5.7	3.1	1	0	0
2013	0.7	1.3	2.4	0	0.5	0	0.9	1.2	0	0	0	0
2014	0	0	0	0				0	5.1	0.5	2	1.4
2015	0.71	0.7	4.6	0	4.2	0	3.5	18.4	5.4	1		
2017	0.4	3.6	0	0	0.5	0.8	6.7	4.3	7.3	0.3	3.7	0
2018	0.3	0.3	0	0	0.6	1.5	3.7	1.2	0	4.7	0.2	0
2019	20.5	10.2	0	0.1	1.2	1.3	5.7	1.1	5	3.1	2.1	0.1
2020	25	23.7	0				0.7	4.3	0.4	1.1	0.3	10.2
2021	0	0	0.2	0	3.8	0.1	1.5	3.5	1.9	0.6	0	2.4
2022	0.6	1.3	4.2	0	0	1.9	0.1	0.1	1.9	0.3	0	0
2023	5.8	0	0	0	1.3	0.4	1.3	3.8	5.3	0	2.8	0.1
Promedio	4.17	2.49	0.76	0.33	1.49	1.79	2.44	3.35	3.05	1.04	1.11	1.38

**Tabla 4.***Precipitaciones de la estación de Calana*

AÑO	PRECIPITACIONES DE LA ESTACION "CALIENTES" (mm/mes)											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
2018	0	0	0	0	0	0	1.7	0	0	0.8	0	0
2019	30.2	11	0	0	0	0	0.3	0	0	0.2	3.1	0
2020	35.9	21.2	0							0	0	20.5
2021	0.5	0	0	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0
2022	0	3.3	1.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8
2023	7.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2024	0	7.1	0	0								
Promedio	10.6	6.09	0.2	0	0	0	0.4	0.3	0	0.17	0.52	3.55

*Nota: Datos tomados del Visor del Ana (2025)***Tabla 5. .***Precipitaciones de la estación de Calana*

año	PRECIPITACIONES DE LA ESTACION "PALCA" (mm/mes)											
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1977	39.8	64.8	18.9	0	0	0	0	0	0	0	0	13.1
1978	26.31	0	11.5	0	0	0	0	0	0	0	2.2	1.8
1979	32.91	0	18.46	0	0	0	0	0	0	0	0	13.21
1980	2.22	0.01	10.27	0	0.01	0	0	0	0	3.01	0	6.8
1981	53.62	33.24	14.63	0	0	0	0	0	0	0	4.11	8.01
1982	15.46	20.73	7.52	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0
1983	0	0	9.62	0	0	0	0	0.01	6.31	0	0	0.01
1984	46.53	22.56	35.02	0	0	7.72	0	3.91	0	7.9	3.7	0
1985	1.1	56.5	4.4	0	0	0	0	0	0			4.5
1986	38.7	7.7	1.7	0	0	0	0	4.7	0	0	0	1.2
1987	20.81	0.2	0	0	0	0	0	0	0	2.7	0	0
1988	24.4	0	34.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0.3
1989	3.3	44.8	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	0.9	14.8	5.4	0	0	1.4	0	0	0	0	1.1	44
1991	19.9	0	25.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	3.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	46.7

1993	75	6	1	0	0	0	0	13.5	0	0	0	4.6
1994	26.3	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17.8
1995	22.3	0	29.4	1	0	0	0	0	0	0	0	0.02
1996	14	6.9	0	0	0	0.03	0	0.7	0	0	0.7	0
1997	71.7	63.3	17	0	0	0	0	1.5	1	0	0.01	1.02
1998	29.3	2.1	0	0	0	2.5	0		0	0	0	4.8
1999	5.3	98.6	33.5	0	0	0	0	0	0	0	0	8.01
2000	69.8	30.81	24.4	0	0	0.02	0.03	0	0	0	0	7.04
2001	31.11	82.02	39.92	0.02	0.01	0	0	0.02	0.01	0.02	0	2.22
2002	5.63	39.42	31.95	0.03	0.82	0.7	14.3	0	0	0	0.01	2.71
2003	13.2	1.33	30.52	0	0.04	0	0.01	0	0	0	0	0.06
2004	12.57	35	0.02	0	0	0	5.41	0.01	0	0	0	0.71
2005	19.13	22.06	7.32	0	0	0	0	0	8.8	0	0	11.12
2006	13.49	48.35	12.28	0	0	0	0	0	0	4.51	0.02	1.92
2007	6.02	21.66	3.7	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.32
2008	81.77	22.02	12.53	0	0	0	0	0	0	0	0	7.43
2009	0.55	41.23	11.81	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0
2010	0.03	14.45	0	0.01	1.53	0	0	0	0	0	0	4.52
2011	61.7	70.54	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	0.01	20.24
2012	88.3	93.03	7.82	1.81	0	0	0	0	0	0	0	17.63
2013	29.93	30.32	14.25	0	8.4	0	0	0	0	0	0	0
Promedio	27.21	28.12	12.86	0.08	0.29	0.33	0.53	0.68	0.44	0.50	0.33	6.81

*Nota:* Elaboración Propia

**Tabla 6.**

*Precipitaciones de la estación de Paucarani*

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1979	91.5	16.32	71.27	0.01	0	0	1.8	0	0	13.82	5.14	31.72
1980	30.85	34.21	80.36	1.2	0	0	1.21	0	0	41.73	0	23.82
1981	87.74	165.4	52.56	34.82	0	0	0	5.74	50.43	2.3	28.92	93.02
1982	137.1	59.03	35.99	40.42	1.21	4.1	0	0	20.91	39.73	63.68	46.61
1983	5.61	16.23	0	0	0	0	0	3.7	10.33	0	0.01	30.15
1984	161.3	257.4	137.7	3.61	0	19.2	0.1	0.21	0	45.94	50.72	11.64
1985	65.22	220.6	49.46	18.85	0	16.2	0	2.01	2.3	0	109.4	104.9

1986	140.7	133.7	99.21	23.92	3.61	0	2.21	9.1	0	0	14.2	179.8
1987	126	4.85	0	0	5	9.31	64.72	0	0	0	0	0
1988	115.4	8.02	63.29	5	0	0	0	0	2	0	0	55.41
1989	87.32	123.5	179.5	39.53	0	3	3.52	0	0	0.51	0	5.7
1990	114	16.82	62.34	7.5	13.5	61.8	0	0	0	0	6.21	111.1
1991	99.08	54.07	49.07	11.04	0	27.01	0	0	0	0	34.73	0
1992	63.57	0	0	0	0	9.5	0	11	0	0	31.52	74.12
1993	225.5	24.83	113	0	0	7.91	0	13.01	0	10.5	16.02	45.8
1994	116.6	200.8	85.01	36.51	0	0	0		3.11	0	25.01	45.41
1995	51.52	33.71	86.52	8.2	3.4	0	0	0	0	1.82	10.51	34.31
1996	120	68.72	35.3	12.32	5.01	0.01	0	1.55	0.02	0.05	23.93	31.72
1997	153.6	179.4	52.1	6.11	11.1	0	0.01	22	17.4	0.6	15.5	18.67
1998	157.3	34.92	27.04	3.6	0	9.22	0	0	0.1	0.02	26	42.75
1999	92.01	217.9	191.1	37	0	0	0.01	0.01	8.3	4.8	0	35
2000	125.1	110.2	67.91	10.8	0	0	1	0	0	9.5	0	69.6
2001	92.9	160.4	123.1	26.6	0	0.2	0	10.6	0	6.3	0	28.5
2002	57.4	129.6	163.4	17.9	0	10.1	4.7	0	0	8.3	21.7	24.4
2006	125.9	110	142.9	22.5	0	0	0	0	0	30.5	19.8	33.6
2007	97.5	101.4	72.2	4.5	0	0	0	0	0	1.4	13.1	35.1
2008	137	38.5	58.4	0	0	0	0	4.8	0	2.3	0	59.9
2009	24.4	103.1	45.7	18.4	0	0	0.6	0	0	1.7	24.2	26.7
2010	65.7	82.2	31.5	7.1	2.8	0	0	0	0.7	5.8	0.4	45.3
2011	90.6	115.4	21.4	32.5	21.3	0	1.7	0	1.2	0	9.3	125.6
2012	165	169.9	31.4	49.6	0	0	0	0	1.3	15.2	0	89.1
2013	114.5	58.6	44.6	0	3.7	13.2	1.1	3.5	0	4.4	0	55.4
2014	121	1.6	17.1	37.2	0	0	0	0	0	21.9	16.3	0
2015	72.7	83.3	111.3	39.7	0	0	0	0.2	0	2.2	3.1	0
2016	27.8	168.1	1.7	9.8	0	4.9	8.7	0	0	2.5	1.6	21.3
2017	143.5	81	92	4.5	2.3	0	0	0	2	1.1	12.1	
2018	97.3	143.3	38.1	13.2	0.4	19.3	19.3	0	0	10.2	2	35.3
2019	138.9	110.3	40.2	1.8	3.9	0.4	0	0	3	5.2	26.1	36.5
2020	132.7	147	68	7.8	0	0	0	0	4.4		4.4	143.6
2021	45.3	48.9	65.7	25.2	5.5	0		0	7.4	2	40.3	103.5
2022	127.8	91.3	54.3	2.1	0	0	0	0	0	0	12.3	103.5
2023	66.9	29.8	90.2	9.2	1.3	0	0	0	0	22.8	14.4	69.3

*Nota:* Elaboración Propia

**Tabla 7.***Precipitaciones de la estación de Jorge Basadre*

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1994	5.6	0.01	0	1.3	1	2.41	3.22	5.1	1.52	0.65	0.92	0.71
1995	0.3	0	6.02	0.04	0.1	0.02	0.82	1.51	2.13	0.41	0	0.01
1996	0.02	0.85	0	0.01	0.05	1.82	0.82	5.44	0.51	0.01	0.21	0.01
1997	9.04	3.41	0.02	0.02	5.05	3.36	10.83	11.73	20.96	3.78	4.54	8.8
1998	20.32	0.23	0.01	0.01	0.01	0.86	0.85	4.94	1.23	0.9	0	0.41
1999	0.41	0.03	0.52	0	0	0.06	0.94	0	1.83	1.11	1.1	4.4
2000	5.25	0.32	1.42	0.1	0.02	9.42	14.41	14.63	1.23	4.92	0	0
2001	2.07	6.65	4.62	0.8	0.02	4.05	0.61	2.93	3.81	0.31	0.01	1.5
2002	0.01	0.82	3.81	1.02	0.01	0.25	14.15	5.39	1.24	1.54	0.01	0.02
2003	2.83	0	0	0.21	0.23	0.06	4.62	3.13	5.63	0	0.33	0.03
2004	0	1.2	0	0	0.01	0.01	2.13	4.52	0.61	0.65	0	0.02
2005	0.31	0.1	0	0.8	0.53	0.02	0.44	2.2	4.12	0	0	0.4
2006	0.42	0.01	0.02	0	0	2.52	2.51	5.81	1.95	0.08		0.01
2007	0.01	0.91		0	0.3	2.22	1.33	9.73	7.01	0.44	1.61	0
2008	2.58	0.01	1.2			1.7	0.52	4.18	4.71	0.92	0.3	0.7
2009	0	0.72	0	0	0.01	0.02	2.11	3.06	4.13	2.12	2.73	3.62
2010	0.1	0.02	0	2.23	1.76	1.44	0.01	0.62	1.63	0	0	0.11
2011	1.42	8.11	0	0	0.9	9.42	5.43	5.91	4.4	0.1	1	1.1
2012	4.5	2.1	0.7	0.2	0	1.12	1.53	7.62	6.93	1.72	0	0.01
2013	0	0.4	1.2	0	0.2	0.4	0.9	1.9	0.9	0.2	0.2	0
2017	0.1	2	0	0	0.3	0.4	9.7	2.4	10.3	1.3	6.9	0
2018	0.1	0.3	0	0	0.5	2.7	5.3	1	0.1	4.2	0.3	0.8
2019	14.1	8.3	0	0.2	0.4	1.1	6.2	0.3	4.8	3.1	0.9	0
2021	1.3	0	0	0	1.5	0.3	4.3	3	4.9	2	0	1.7
2022	0.1	1.1	0	0.1	0.1	1	1.3	0.4	1.9	0.3	0	0
2023	3.2	0	0.1	0	1.9	1.5	3.1	7.6	10	0.1	2.8	2.3
Prom	2.89	1.54	0.91	0.42	0.73	1.93	3.78	4.41	4.17	1.29	1.07	1.14

*Nota:* Elaboración Propia

**Tabla 8.***Precipitaciones de la estación de Tarata*

Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
1967	16.6	151.4	105.4	0.4	0	0	0.01	0	0	0.4	0	8.8
1968	108.6	24.4		0	0.2	0	0	0	0	4	5	0
1969	52.1	62.1	0	4.2	0	0	0	0.2	0.5	0	0.8	21.6
1970	46.1	36.1	25.6	0	0	0	0	0	0	1.7	0	6.3
1971	76.74	46.65	2.62	3.91	0	0	0	0	0	0	6.7	23.2
1972	161.8	134.7	55.9	0.4	0	0.1	0	0	0.3	2.2	0	40.9
1973	107.5	118	60.2	9.5	0	0	0	0	0.2	0.1	0	2.7
1974	213.6	110	25.2	9.4	0	0				0	0	0
1975	29.22	126.7	87.5	0	0	2.3	0	0	0	0	0	14.7
1976	143.6	48.52	12.8	10.21	0.01	0	0	1	20.7	0	0	2.4
1977	67.4	82.4	68	0	0	0	0	0	0	0	0	0.7
1978	35.9	9.7	11.5	0	0	0	0	0	0	0	0	
1980					0		0		0	0	0	2.1
1981	0		2.3	0	0	0	0	0	0		4	8.6
1982	15.4	0										
1983								0	0	0.9	0	0
1984	68.2	97.1		0	0	6		7	0	0	23.1	0
1985	7.9	123.4	53	5.1	0	0	0					
1986		85.6		0	0	0	0	0	0		0	
1987		16	1	0	0	0	0	0	0		0	0
1988	90.8	1.9	25.3	10.5	0	0	0	0	0	0	0	0
1989	24.5	163.9	7.1	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0
1990	14.5			0	0.01	0.03	0	0	0	0	0	0
1991	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1993	144.4	38.8	73.9	0	0	0	0	21.8	0	0	0	30.1
1994	93.4	115.4	18.3	0.6	0	0	0		0	0	0	21.2
1995	44.2	0	75.8	3.3	0	0	0	0	0	0	0	6.7
1996	15.2	25.9	2	0	0	0	0	0	0	0	2.6	3
1997	132.8	104	39.1	2.8	0	0	0	0	18	0	0	9.2
1998	140.3	28.2	0.2	0	0	3.1	0	0	0	0	0.2	9.1
1999	16	147.6	93.8	1.7	0	0	0	0	0	0	0	13.8
2000	140.6	104.3	51.9	3.7	0	3	0.51	0	0	0	0	8.92
2001	68.72	237.6	111.6	12.4	0.01	0	0	4.11	2.2	2.41	0.02	4.31
2002	29.14	141.4	60.41	0.83	0.02	3.81	19	0	0	0.71	0.71	13.21
2003	11.92	22.23	48.11	0.01	0.03	0	0.01	0.4	0	0	0	3.52

2004	63.4	102.2	5.52	0	0	0	4.5	0.05	0	0	0	1.5
2005	84.41	49.53	11.2	0.11	0	0	0.01	0	11.61	0	0.21	28.32
2006	56.72	94.12	80.02	0.01	0	0	0	0	0	6.3	0.05	7.63
2007	36.32	47.41	39.05	0	0	0	0	0	0	0	0	9.5
2008	169	38.81	18.05	0	0	0.4	0	1.8	0	0.01	0	15.32
2009	8.52	117.6	17.81	1	0	0	0.01	0	0	0	2.22	0.4
2010	7.43	34.21	1.33	0.21	1.52	0	0	0	0.01	0	0	10.17
2011	74.12	110.6	2.03	1.74	7.1	0	0.3	0	0	0	1.11	54.3
2012	94.1	203	41.35	14.23	0	0	0	0	0	2.41	0	59.93
2013	50.44	77.94	58.2	0	15.2	1.5	0	0.5	0	0.3	0	14.5
2014	62	0.02	1.1									
2017	166	94.3	79.4	0	0	0	0	0	0	0	0.1	23.6
2018	43	43.9	18.9	0.6	0	2.9	3.1	0	0	0	0	2.4
2019	137.3	130.1	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0	11.5
2020	135.1	159	105.4									
2022	71.6	52	50	0	0	0	0	0	0	0	0	75.5
2023	93.1	47.5	79.1	1.7	0	0	0			2.3	3	7.5
2024	26.9	133.5	78.5	0.6								
Total general	69.93	78.80	38.43	2.05	0.49	0.48	0.58	0.82	1.14	0.52	1.02	12.28

*Nota:* Elaboración Propia

**Tabla 9.**

*Precipitaciones Medias mensuales*

ESTACIONES	PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES													
	ENE	FEB	MA R	AB R	MA Y	JU N	JUL	AG O	SEP	OC T	NO V	DIC	TO T	ANU AL
CALANA	4.17	2.49	0.7 6	0.3 3	1.4 9	1.7 9	2.4 4	3.3 5	3.0 5	1.0 4	1.1 1	1.3 8	1.9 5	23.4 1
CALIENTES	10.6	6.09	0.2	0	0	0	0.4	0.3	0	0.1 7	0.5 2	3.5 5	1.8 2	21.8 2

PALCA	27.2 1	28.1 2	12. 86	0.0 8	0.2 9	0.3 3	0.5 3	0.6 8	0.4 4	0.5 0	0.3 3	6.8 1	6.5 2	78.1 8
PAUCAR ANI JORGE BASADR E	102. 67	94.1 6	67. 90	15. 00	2.0 0	5.1 3	2.6 4	2.0 8	3.2 1	7.5 0	16. 25	50. 66	30. 77	369. 20
	2.89	1.54	0.9 1	0.4 2	0.7 3	1.9 3	3.7 8	4.4 1	4.1 7	1.2 9	1.0 7	1.1 4	2.0 2	24.2 8
TARATA	69.9 3	78.8 0	38. 43	2.0 5	0.4 9	0.4 8	0.5 8	0.8 2	1.1 4	0.5 2	1.0 2	12. 28	17. 21	206. 54
CHALLA TA	23.6 9	22.6 4	36. 85	32. 64	27. 81	24. 67	26. 35	25. 64	23. 53	26. 58	23. 84	22. 18	26. 37	316. 39
YARADA	0.71	1.16	0.0 0	0.0 0	0.0 8	0.1 3	3.1 0	0.5 4	1.1 9	0.4 4	0.0 9	0.1 6	0.6 3	7.61
CALIENT ES 2	29.0 3	38.7 5	35. 13	23. 60	20. 06	18. 21	19. 12	16. 21	15. 94	14. 70	14. 19	15. 81	21. 73	260. 75
CALANA 2	3.68	2.38	0.7 3	0.3 0	1.3 6	1.8 0	2.3 4	3.1 8	3.0 7	0.9 9	1.1 6	1.3 6	1.8 6	22.3 4
BOCATO MA	86.3 6	105. 09	56. 57	13. 87	3.2 0	1.4 7	2.7 7	1.2 0	1.0 8	6.0 6	5.8 7	44. 77	27. 36	328. 30

*Nota:* Elaboración Propia

### 16.1.1.2 Aplicación de la fórmula Fournier para el cálculo de R en cada estación meteorológica

Aplicamos la siguiente formula:

$$R = \sum_{I=1}^{I=12} \frac{(Pm)^2}{PA}$$

Pm = Precipitación media mensual (mm)

PA = Precipitación anual (mm)

**Tabla 10.**

*Cálculo del Valor de R en las Estaciones meteorológicas*

ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	R
CALANA	0.74	0.26	0.02	0.00	0.10	0.14	0.26	0.48	0.40	0.05	0.05	0.08	2.58
CALIENTES	5.15	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.58	7.45
PALCA	9.47	10.12	2.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.59	22.31
PAUCARANI JORGE	28.55	24.01	12.49	0.61	0.01	0.07	0.02	0.01	0.03	0.15	0.72	6.95	73.62
BASADRE	0.34	0.10	0.03	0.01	0.02	0.15	0.59	0.80	0.72	0.07	0.05	0.05	2.93
TARATA	23.68	30.06	7.15	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.73	61.66
CHALLATA	1.77	1.62	4.29	3.37	2.44	1.92	2.19	2.08	1.75	2.23	1.80	1.55	27.02
YARADA	0.07	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	1.26	0.04	0.18	0.03	0.00	0.00	1.76
CALIENTES 2	3.23	5.76	4.73	2.14	1.54	1.27	1.40	1.01	0.97	0.83	0.77	0.96	24.62
CALANA 2	0.61	0.25	0.02	0.00	0.08	0.14	0.24	0.45	0.42	0.04	0.06	0.08	2.42
BOCATOMA	22.72	33.64	9.75	0.59	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00	0.11	0.10	6.11	73.08

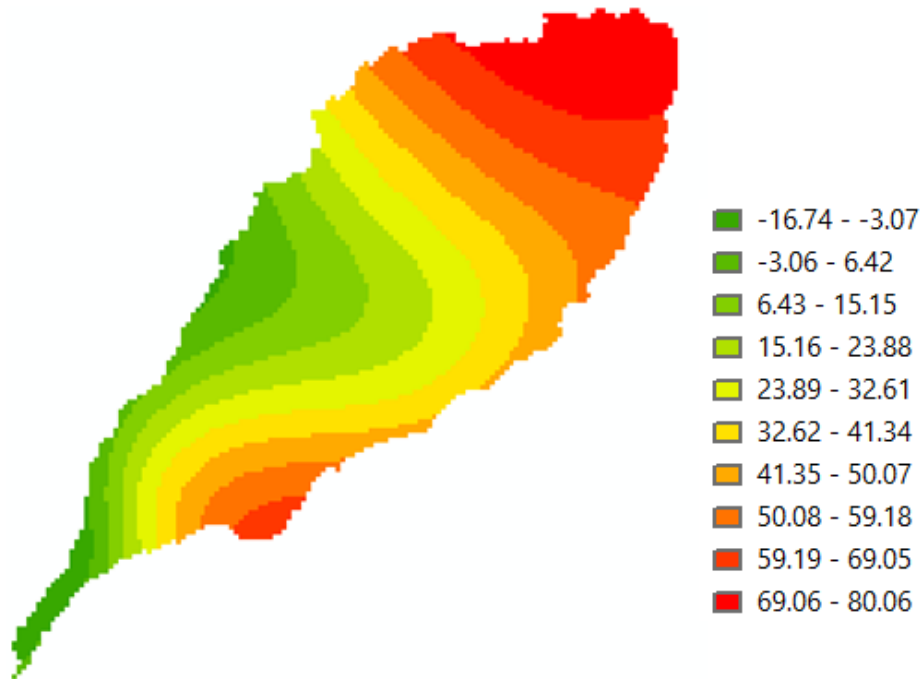
*Nota:* Elaboración Propia

#### *16.1.1.3 Cargado de los valores de R dentro de ArcGIS*

Se obtuvo el raster del factor R en la sub cuenca del Río Caplina

**Figura 10.**

*Factor R*



*Nota:* Mapa elaborado con Arc Gis

### 16.1.2 Factor de erodibilidad de los Suelos (K)

Para el cálculo de este Factor se debe descargar el Mapa de uso de suelos del Perú y hacer un recorte a nuestra cuenca de estudio para después hallar el valor de erodabilidad mediante las siguientes formulas

$$(1) f_{csand} = (0.2 + 0.3 * \exp[-0.0256 * m_s * (1 - \frac{m_{silt}}{100})])$$

$$(2) f_{cl-si} = (\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}})^{0.3}$$

$$(3) f_{org} = [1 - \frac{0.25 * orgC}{orgC + \exp[3.72 - 2.95 * oegC]}]$$

$$(4) f_{hisand} = [1 - \frac{0.7 * (1 - \frac{m_s}{100})}{(1 - \frac{m_s}{100}) + \exp[-5.51 + 22.9 * (1 + \frac{m_s}{100})]}]$$

$$(5) K_{USLE} = f_{csand} * f_{cl-si} * f_{org} * f_{hisand}$$

$$(6) K = 0.1317 * (f_{csand} * f_{cl-si} * f_{org} * f_{hisand})$$

Obtención del valor en el mapa de suelos

Cálculo del factor K

Soil unit symbol	ms (sand) Top Soil %	msilt (silt) Top soil %	mc (clay) Topsoil %	orgC Topsoil Organic Carbon %	f <sub>sand</sub> (1)	f <sub>cl-si</sub> (2)	f <sub>org</sub> (3)	f <sub>hisand</sub> (4)	K USLE (5)	K (6)
I	58,90	16,20	24,90	0,97	0,285	0,756	0,927	0,994	0,199	<b>0,0261</b>
YL	69,80	5,70	24,40	0,40	0,256	0,607	0,992	0,952	0,147	<b>0,0193</b>

Cargado de los valores K en ArcGIS

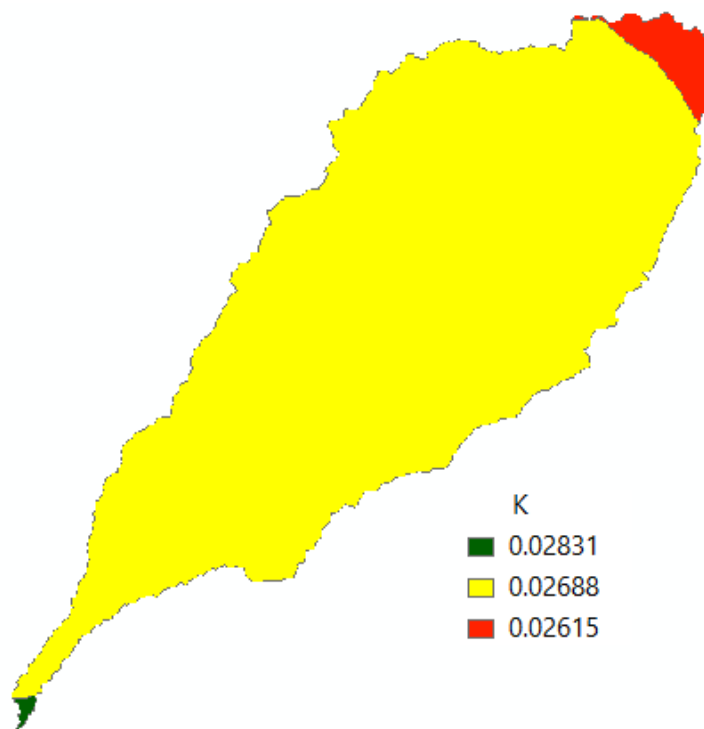
**Figura 11.**

*Ilustración 8 Cargado de los valores de K obtenidos en ArcGIS*

FACTOR_2_K											
FID	Shape *	OBJECTID	SIMSUE	DESCRIPCIO	PAISAJE	Shape_Leng	Area_km2	Shape_Le_1	Shape_Area	FID	K
0	Polygon	112	LPd-ANz	Leptosol districo - Andosol vitrico	Colinas y montañas, en menor proporción lomada	1722203.53766	34540.484084	26511.869018	19255626.3881	1	0.02615
1	Polygon	175	LPd-R	Leptosol districo - Afloramiento litico	Estribaciones de la vertiente occidental de la cade	565538.695025	7768.502673	147962.305537	705414101.118	2	0.02688
2	Polygon	176	SCh-LPe	Solonchak háptico - Leptosol eútrico	Laderas bajas y medias de colinas y montañas de	540893.423113	4630.955192	6370.008683	1404966.86259	3	0.02831

**Figura 12.**

*Factor de erodabilidad del suelo en la Sub cuenca del Rio Caplina*



*Nota:* Mapa elaborado con Arc Gis

### 16.1.1 Factor de longitud y Pendiente (LS)

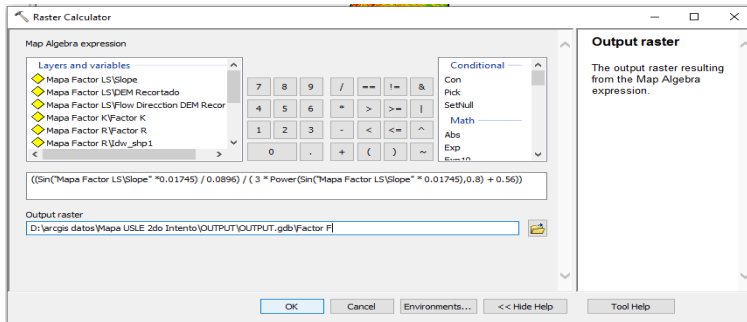
Para el cálculo de este factor debemos utilizar la Herramienta Slope Para Generar El Shape De Pendientes Para El Factor LS

Para esto debemos primero halla el valos de F utilizando Map Algebra, Raster Calculator

$$F = \frac{\sin \beta / 0,0896}{3(\sin \beta)^{0,8} + 0,56}$$

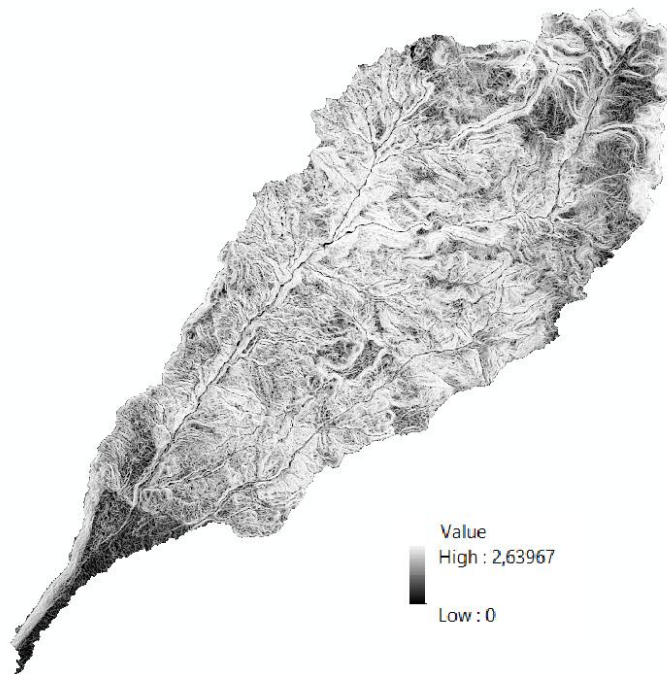
**Figura 13.**

*Ventana Del Raster Calculator Para Obtener El Factor F*



**Figura 14.**

*Raster del Factor F*



*Nota:* Mapa elaborado con Ac Gis

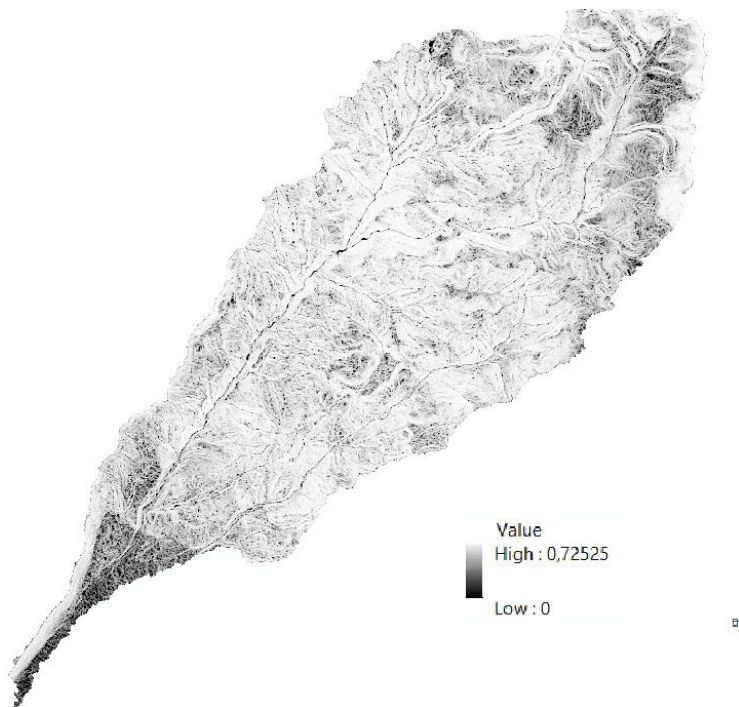
### 16.1.1.1 Calculo del Factor M con la herramienta Raster Calculator

Aplicamos la siguiente formula en Raster calculator

$$m = \frac{F}{(1+F)}$$

**Figura 15.**

*Raster del Factor M*



*Nota:* Mapa elaborado con Arc Gis

### 16.1.1.2 Cálculo del Factor L

Obtenidos los ráster de la pendiente, la acumulación del flujo, el lado del pixel procedemos a hallar el factor L

#### **FACTOR L**

Foster, 1977

$$L = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m, \quad m = \frac{F}{1+F}, \quad F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56}$$

Con los SIG, DESMET & GOVER, VELAZQUEZ, 2008

$$L_{(i,j)} = \frac{[A_{(i,j)} + D^2]^{(m+1)} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m D^{m+2} (22.13)^m}$$

Donde:

$\beta$  - Pendiente a nivel de pixel (debe estar expresa en radianes, a grados multiplicar por 0.01745)

A - Acumulación del flujo a nivel del pixel

D - Lado del Pixel

x- Coeficiente de forma ( x=1 para sistemas pixelados)

### 16.1.1.3 Cálculo del Factor S

Para el cálculo del factor S se debe cumplir la siguiente condición

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10,8 \sin \beta_{(i,j)} + 0,03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0,09 \\ 16,8 \sin \beta_{(i,j)} - 0,5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0,09 \end{cases}$$

#### **Figura 16.**

*Ráster del Factor S*

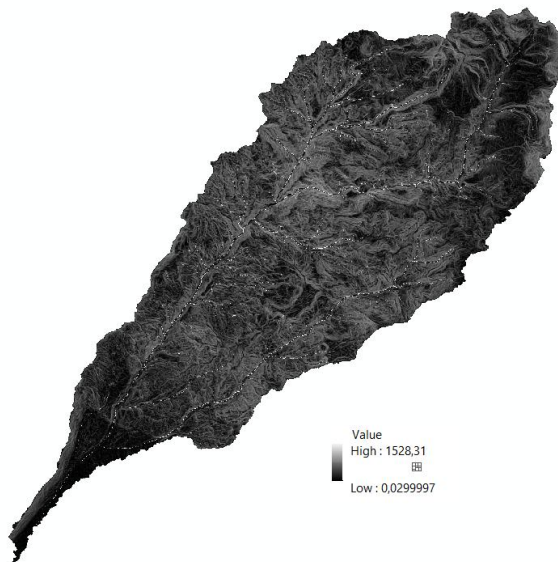
### 16.1.1.4 Cálculo del Factor LS

Multiplicamos ambos rasterr obteniendo el factor LS

$$LS = \text{Factor } L * \text{Factor } S$$

**Figura 17.**

*Ráster del Factor LS*



*Nota:* Mapa elaborado con Arc Gis

#### 16.1.1.5 Cálculo de la Erosión

Obtenido ya los parámetros para el cálculo de la Erosión multiplicamos los ráster con la ayuda de Arc Gis obteniendo el siguiente Ráster

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Donde:

A: Pérdida de suelo promedio anual (toneladas por hectárea por año, t/ha/año).

R: Factor de erosividad de la lluvia (MJ·mm/(ha·h·a)).

K: Factor de erodabilidad del suelo (t·ha·h/(ha·MJ·mm)).

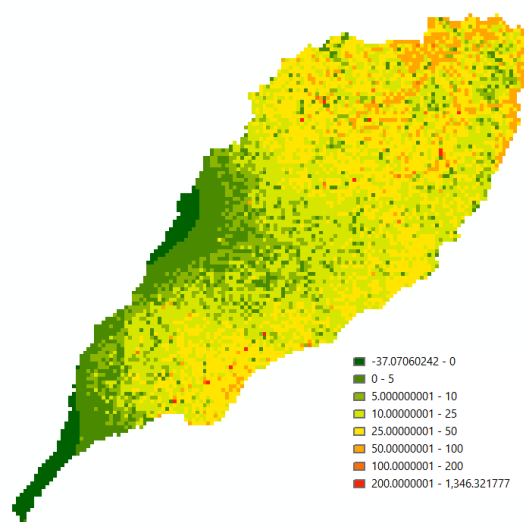
LS: Factor de longitud y pendiente del terreno (adimensional).

C: Factor de cobertura y manejo del suelo (adimensional).

P: Factor de prácticas de conservación (adimensional).

**Figura 18.**

*Ráster de la Erosión en la Sub Cuenca del Rio Caplina*



*Nota:* Mapa elaborado con Arc Gis

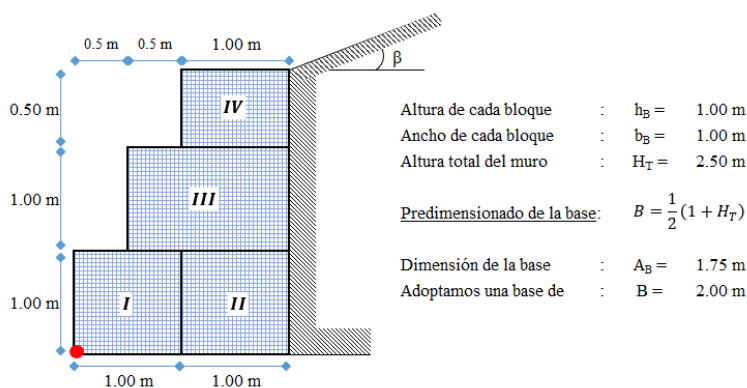
## 4.2 Diseño de muros de gaviones

El diseño de muro de gaviones se realizó para mejorar la defensa ribereña en los márgenes del río Caplina, en el distrito de Pachia, provincia de Tacna, Región de Tacna

**DATOS PARA EL DISEÑO:**

- Peso del terreno :  $\gamma_s = 1.89 \text{ tn/m}^3$
- Peso de la piedra :  $\gamma_r = 2.70 \text{ tn/m}^3$
- Ángulo de fricción :  $\phi = 37.61^\circ$
- Ángulo que forma el relleno :  $\beta = 8.53^\circ$
- Capacidad portante :  $\sigma_c = 1.20 \text{ kg/cm}^2$

**GEOMETRÍA DEL MURO:**



Se ha realizado un predimensionamiento de los gaviones, basándonos en datos clave obtenidos de los estudios de inversión proporcionados por la municipalidad del distrito de Pachia. El diseño considera una base de 2 metros y una altura de 2.50 metros, decisiones tomadas a partir de la información geotécnica específica, carga hidráulica y las condiciones del suelo determinadas durante los estudios. La selección de estos parámetros tiene como objetivo optimizar la estabilidad de la estructura, asegurar una distribución adecuada del peso sobre el terreno y cumplir con los requisitos necesarios para reforzar la defensa ribereña del río Caplina en esta área particular. Los datos confiables proporcionados por la municipalidad respaldan la solidez y efectividad del diseño frente a las condiciones geográficas y geotécnicas específicas de la zona de intervención.

**- EMPUJE ACTIVO:**

Coefficiente de empuje activo:

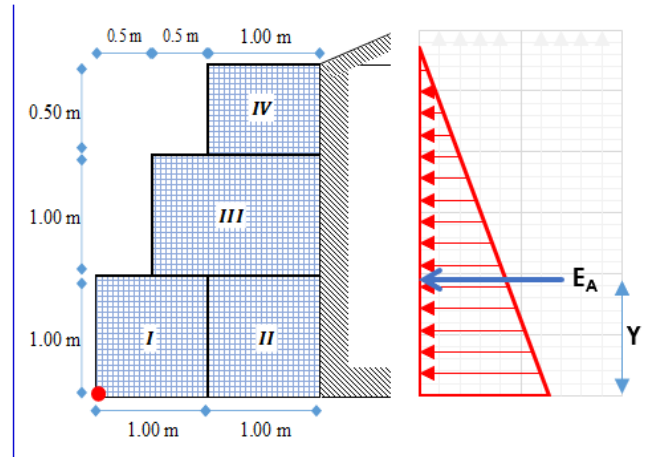
$$K_a = \cos \beta * \left( \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}} \right)$$

$$K_a = 0.24831297$$

Cálculo del empuje activo:

$$E_A = \frac{1}{2} * K_a * \gamma_s * H_T^2$$

$$E_A = 1.4666 \text{ tn}$$



Altura de aplicación del empuje activo:

$$Y = \frac{H_T}{3} = 0.833 \text{ m}$$

**ANÁLISIS DE LA ESTABILIDAD:**

**- CÁLCULO DEL PESO TOTAL Y MOMENTO RESISTENTE:**

FIG.	TIPO	ÁREA (m <sup>2</sup> )	PESO UNITARIO	PESO PARCIAL	BRAZO X (m)	MOMENTO (tn-m)
I	Gavión	1.000	2.70 tn/m <sup>3</sup>	2.70 tn/m	0.500	1.3500
II	Gavión	1.000	2.70 tn/m <sup>3</sup>	2.70 tn/m	1.500	4.0500
III	Gavión	1.500	2.70 tn/m <sup>3</sup>	4.05 tn/m	1.250	5.0625
IV	Gavión	0.500	2.70 tn/m <sup>3</sup>	1.35 tn/m	1.500	2.0250
Σ =				10.80 tn/m	Σ =	12.488

$$P = 10.80 \text{ tn}$$

$$M_r = 12.5 \text{ tn-m}$$

Durante el proceso de diseño de los gaviones para la protección de la defensa ribereña, se realizaron cálculos minuciosos para establecer parámetros clave relacionados con la estabilidad y resistencia de la estructura. En primer lugar, en lo que respecta al empuje activo, se obtuvo un valor de 1.47 toneladas, lo que indica la fuerza lateral que el muro de gaviones debe resistir. La altura a la que se aplica

este empuje, que es de 0.833 metros, proporciona información crucial sobre cómo se distribuye verticalmente esta carga y su influencia en el diseño general.

En cuanto al peso total, se calculó un valor de 10.80 toneladas, y el Momento Resistente ( $M_r$ ) alcanzó las 12.5 toneladas-metro. Estos resultados reflejan cómo se distribuye el peso total de los gaviones utilizados en el diseño, junto con el momento resistente, que mide la capacidad de la estructura para soportar momentos de fuerza.

La suma de los pesos parciales da un total de 12.488 toneladas/m, lo cual juega un papel crucial en el cálculo del momento resistente necesario para asegurar la estabilidad estructural del proyecto. Estos datos, respaldados por los análisis geotécnicos y estudios de inversión proporcionados por la municipalidad del distrito de Pachia, refuerzan la solidez y efectividad del diseño frente a las condiciones particulares de la zona de intervención.

**- CÁLCULO DE LAS FUERZAS ACTUANTES EN EL MURO DE CONTENCIÓN:**

*Momento producido por el empuje activo:*  $M_A = E_A * Y$

$$M_A = 1.467 \text{ tn} \times 0.833 \text{ m}$$

$$M_A = 1.222 \text{ tn-m}$$

**- VERIFICACIÓN POR DESLIZAMIENTO:** FSD = 1.50

$$\frac{f * P}{E_A} \geq FSD \quad ; \quad \text{donde:} \quad f = tg\theta \leq 0.60$$

$$f = 0.450$$

FSD = 3.31 > 1.50	... Conforme
-------------------	--------------

**- VERIFICACIÓN POR VOLTEO:** FSV = 2.00

$$\frac{M_r}{M_A} \geq FSV$$

FSV = 10.22 > 2.00	... Conforme
--------------------	--------------

**- VERIFICACIÓN DE PRESIONES SOBRE EL TERRENO:**

*Punto de aplicación de la fuerza resultante:*

$$X_0 = \frac{M_r - M_A}{P} = 1.04 \text{ m}$$

*Excentricidad de la fuerza resultante:*

$$e = \frac{B}{2} - X_0 \quad e = -0.0431 \text{ m}$$

Se debe cumplir que:  $e < \frac{B}{6} = 0.33 \text{ m}$  ... Ok: cae dentro del tercio central

*Verificamos las presiones de contacto entre el suelo y el muro:*

$$\sigma = \frac{P}{B} \left[ 1 \pm \frac{6 * e}{B} \right]$$



$$\sigma_1 = 0.47 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_s = 1.20 \text{ kg/cm}^2$$

... Conforme

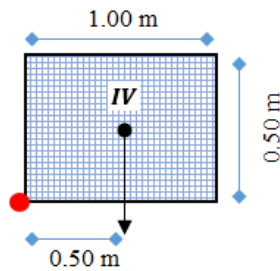
$$\sigma_2 = 0.61 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_s = 1.20 \text{ kg/cm}^2$$

... Conforme

En el análisis de las fuerzas que actúan sobre el muro de gavión, se tomaron en cuenta diversos parámetros esenciales para asegurar la estabilidad y resistencia de la estructura. El momento generado por el empuje activo ( $M_A$ ) fue calculado en 1.22 toneladas/m, lo que proporciona información sobre la distribución del momento causado por la presión lateral del suelo sobre el muro de gavión. La verificación por deslizamiento, con un factor de seguridad de 1.5, y la verificación por volteo, con un factor de seguridad de 2.0, aseguran la capacidad del muro para resistir deslizamientos y volcamientos, respectivamente. Además, se realizó una verificación de las presiones sobre el terreno, considerando el punto de aplicación de la fuerza resultante a 1.04 metros y la excentricidad de la fuerza resultante ( $e$ ) de 0.33 metros.

**VERIFICACIÓN ENTRE BLOQUE Y BLOQUE:**

**- PRIMER BLOQUE:**



**Fuerzas estabilizantes :**

$$\text{Peso (IV)} = 1.00 \times 0.50 \times 2.70 = 1.35000 \text{ tn}$$

$$\text{Momento (IV)} = 1.35 \text{ tn} \times 0.50 = 0.67500 \text{ tn-m}$$

**Fuerzas desestabilizantes :**

$$\text{Empuje} = E_A = \frac{1}{2} * K_a * \gamma_S * H_T^2 = 0.0587 \text{ tn}$$

$$\text{Momento} = M_A = E_A * Y = 0.00978 \text{ tn-m}$$

**Verificación por deslizamiento :** FSD = 1.50

$$\frac{f * P}{E_A} \geq FSD \quad f = 0.500$$

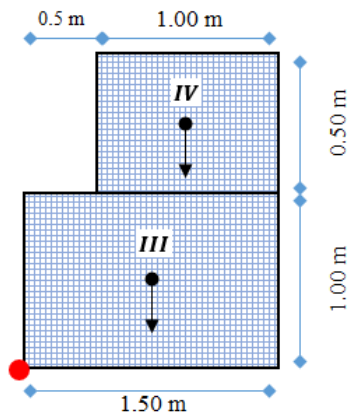
$$\boxed{\text{FSD} = 11.51 > 1.50 \text{ ... Conforme}}$$

**Verificación por volteo :** FSV = 2.00

$$\frac{M_r}{M_A} \geq FSV$$

$$\boxed{\text{FSV} = 69.04 > 2.00 \text{ ... Conforme}}$$

**- SEGUNDO BLOQUE:**



**Fuerzas estabilizantes :**

$$\text{Peso (IV)} = 1.00 \times 0.50 \times 2.70 = 1.35000 \text{ tn}$$

$$\text{Peso (II)} = 1.00 \times 1.50 \times 2.70 = 4.05000 \text{ tn}$$

$$\Sigma = 5.40000 \text{ tn}$$

$$\text{Momento (IV)} = 1.35 \text{ tn} \times 1.00 \text{ m} = 1.35000 \text{ tn-m}$$

$$\text{Momento (III)} = 4.05 \text{ tn} \times 0.75 \text{ m} = 3.03750 \text{ tn-m}$$

$$\Sigma = 4.3875 \text{ tn-m}$$

**Fuerzas desestabilizantes :**

$$\text{Empuje} = E_A = \frac{1}{2} * K_a * \gamma_S * H_T^2 = 0.5280 \text{ tn}$$

$$\text{Momento} = M_A = E_A * Y = 0.26399 \text{ tn-m}$$

**Verificación por deslizamiento :** FSD = 1.50

$$\frac{f * P}{E_A} \geq FSD \quad f = 0.500$$

$$\boxed{\text{FSD} = 5.11 > 1.50 \text{ ... Conforme}}$$

**Verificación por volteo :** FSV = 2.00

$$\frac{M_r}{M_A} \geq FSV$$

$$\boxed{\text{FSV} = 16.62 > 2.00 \text{ ... Conforme}}$$

En la verificación interbloque del diseño del muro de gaviones, se analizaron las fuerzas estabilizantes y desestabilizantes entre cada bloque para asegurar la cohesión y estabilidad general de la estructura. Se calcularon las fuerzas estabilizantes, que incluyen el peso y el momento de cada bloque, así como las fuerzas desestabilizantes, que comprenden el empuje y el momento. La comparación de estas fuerzas permitió realizar las verificaciones por deslizamiento y por volteo de cada bloque individual.

Los resultados de estas verificaciones muestran que tanto las fuerzas estabilizantes como las desestabilizantes cumplen con los estándares de diseño. La verificación por deslizamiento, respaldada por un adecuado factor de seguridad, asegura que el muro resistirá movimientos laterales no deseados. De igual forma, la verificación por volteo, con un factor de seguridad suficiente, confirma que el muro puede resistir los momentos que podrían causar su vuelco.

En conjunto, estas verificaciones garantizan que cada bloque aporte de manera eficaz a la estabilidad global del muro de gaviones, cumpliendo con los criterios de seguridad y resistencia establecidos en el diseño.

Este análisis garantiza que las presiones de contacto entre el suelo y el muro cumplan con los estándares de diseño, validando la capacidad del sistema para soportar las cargas aplicadas. Los resultados obtenidos, respaldados por criterios de seguridad y análisis geotécnicos, confirman la adecuación del diseño del muro de gaviones en cuanto a su estabilidad estructural y resistencia frente a las fuerzas externas.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### Discusión 1:

El porcentaje de Erosión representa la distribución de la erosión en la cuenca del río Caplína, clasificada en diferentes categorías según la extensión de la erosión y la tasa de pérdida de suelo, expresada en toneladas por hectárea por año (ton/ha/año). La mayor parte del área de la cuenca, aproximadamente el 75.26%, se encuentra afectada por una erosión media, y tiene una tasa de pérdida de suelo media en toda la cuenca de 26.96 ton/ha/año.

Clasificación de la pérdida de suelos

Nivel	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Tipo de erosión
1	<0.5	Normal
2	0.5 - 5	Ligera
3	5 -15	Moderada
4	15 - 50	Severa
5	50 - 200	Muy severa
6	>200	Catastrófica

(Fuente: FAO 1980)

#### Tabla 11.

*Categoría De La Erosión Y Porcentaje De Área*

Categoría de Erosión	Rango	Km <sup>2</sup>	% de Área
Normal	< 0,5	2,52	1,69
Ligera	0,5 - 5,0	11,45	7,69
Moderada	5,0 - 15,0	18,26	12,27
Severa	15,0 - 50,0	112,06	75,26
Muy Severa	50,0 - 200,0	4,17	2,80
Catastrófica	> 200,0	0,44	0,30

<b>Total</b>	<b>148,89</b>	<b>100,00</b>
--------------	---------------	---------------

### **Discusión 2:**

Los resultados obtenidos indican que el diseño de los gaviones propuestos cumple con su objetivo principal de frenar la erosión de las laderas del río. La estructura de los gaviones, diseñada con base en datos geotécnicos específicos, proporciona la resistencia necesaria para contrarrestar las fuerzas hidráulicas y las presiones del agua, estabilizando las laderas del río Caplina y evitando el colapso de las mismas.

### **Discusión 3:**

A través de los cálculos realizados, se verificó que el diseño de los gaviones tiene un factor de seguridad adecuado para evitar el deslizamiento y el volteo, dos posibles modos de falla. Las fuerzas estabilizantes y desestabilizantes fueron analizadas en detalle, y los resultados de las verificaciones confirman que el diseño capaz de resistir las condiciones adversas, como el impacto de corrientes fuertes de agua del río Caplina.

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1. Conclusiones**

- ✓ El uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) para estimar la tasa de erosión efectiva en la cuenca del río Caplina proporcionó una visión general sobre la tasa de erosión media anual dando un valor de 26.96 Ton/ha/año entrando en el rango de una erosión severa.

- ✓ Tras el análisis, se determinó que los niveles de erosión en las proximidades del distrito de Pachía se encuentran dentro de los rangos de erosión Normal y Ligera, reflejando una menor actividad erosiva en estas áreas
- ✓ El diseño de los gaviones propuesto según los cálculos realizados se demostró que cumple eficazmente los factores de seguridad para mitigar la erosión en las laderas del río Caplina.
- ✓ Los gaviones son una opción altamente eficaz y económica para disminuir la erosión, proporcionando estabilidad a las laderas y riberas del río Caplina, con un bajo impacto ambiental y una alta durabilidad. Su flexibilidad en el diseño, facilidad de implementación y mantenimiento hacen de ellos una solución ideal para la protección de áreas vulnerables a la erosión

## **6.2. Recomendaciones**

- ✓ Monitoreo continuo y medidas preventivas para establecer un sistema de monitoreo regular en las áreas identificadas con erosión severa o catastrófica para evaluar la evolución de estas zonas. Se deben aplicar medidas preventivas para controlar y mitigar la erosión, incluso en áreas con erosión moderada, a fin de evitar un empeoramiento de las condiciones.
- ✓ Considerar la implementación de técnicas de conservación del suelo y prácticas agrícolas sostenibles en las zonas con tasas de erosión más altas. Esto incluye la adopción de prácticas como terrazas, siembra en curvas a nivel y forestación, entre otras medidas, para reducir la erosión y promover la retención de suelo.
- ✓ Monitoreo y mantenimiento periódico, tras la instalación de los gaviones, es fundamental llevar a cabo un monitoreo regular para detectar posibles fallas o necesidades de mantenimiento, como desplazamientos de piedras o

daños en las celdas. Este monitoreo permitirá realizar ajustes oportunos y garantizar la durabilidad de la estructura.

- ✓ Para futuras investigaciones apoyarse siempre de las normativas vigentes tanto en los estándares, como en las dimensiones del diseño que van realizar. De esa manera evitan errores y evitan incumplimientos en el dimensionamiento.

## **CAPÍTULO VII**

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Balasubramanian, A., & Balasubramanian, P. A. (2017). METHODS OF CONTROLLING SOIL EROSION GEOCHEMICAL MODELLING OF GROUNDWATER FOR PREVENTION OF INCRUSTATION IN THE WATER SUPPLY SYSTEMS OF SALEM DISTRICT, TAMIL NADU, INDIA View project METHODS OF CONTROLLING SOIL EROSION. April. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22542.97609>
- Issaka, S., & Ashraf, M. A. (2017). Impact of soil erosion and degradation on water quality: a review. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1(1), 1–11. <https://doi.org/10.1080/24749508.2017.1301053>
- Petkovic, S., Dragovic, N., & Markovic, S. (1999). Erosion and sedimentation problems in Serbia. *Hydrological Sciences Journal*, 44(1), 63–77. <https://doi.org/10.1080/02626669909492203>
- Wen, X., & Zhen, L. (2020). Soil erosion control practices in the Chinese Loess Plateau: A systematic review. *Environmental Development*, 34, 100493. <https://doi.org/10.1016/J.ENVDEV.2019.100493>

- Zhao, L., Gao, L., & Jin, H. (2012). Application of gabion slope protection of Nanyang River channel regulation in Tianzhen County. *Advanced Materials Research*, 13(2), 1938–1941.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.374-377.1938>
- Miele, P., Di Martire, D., Di Napoli, M., Guerriero, L., & Calcaterra, D. (2021). Temporal efficiencies of soil bioengineering techniques to mitigate geohydrological risks. *Ecological Engineering*, 170, 106338.  
<https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2021.106338>
- Quincho, G. (2015). Gestión de Inundación por Caudales Máximos en la Subcuenca Baja de la Quebrada del Río Huaycoloro - Río Rímac. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Rocha Felices, A. (2015). El impacto del fenómeno de El Niño en zonas urbanas. Servicio Meteorológico Nacional.  
[http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=270&Itemid=166](http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=270&Itemid=166) [Fecha de consulta: agosto 20 de 2015]
- López Quiroz, Felipe Andrés, et al. Sistema constructivo de muros de gaviones de edificación. 2012. [ seriado en línea]; [Citado 02 octubre 2023], Disponible de: <http://repositorio.umayor.cl/xmlui/handle/sibum/326>
- Tamariz Vera, Jorge Jefferson. Construcción de muro de gaviones y generación del empleo social inclusivo en la quebrada de Tulpay–2019. 2019. [ seriado en línea]; [Citado 02 octubre 2023], Disponible de: <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/2882>
- López Quiroz, Felipe Andrés, et al. Sistema constructivo de muros de gaviones de edificación. 2012. [ seriado en línea]; [Citado 02 octubre 2023], Disponible de: <http://repositorio.umayor.cl/xmlui/handle/sibum/326>

Piñar-Venegas, Rafael. Proyecto de construcción de un muro de gaviones de 960 m3. 2008. [ seriado en línea]; [Citado 02 Octubre 2023] , Disponible de: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/6034/construcción>

Ballón Benavente, Andrés; ECHENIQUE SOSA, Jose Francisco. Análisis de estabilidad de muros de contención de acuerdo a las zonas sísmicas del Perú. 2020.. [ seriado en línea]; [Citado 02 octubre 2023], Disponible de: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/62>

## ANEXOS



Fotografía 01: Se aprecia el sector de intervención en el río Caplina



Fotografía 02: Se aprecia zonas agrícolas aledañas al río Caplina



Fotografía 03: Se aprecia el tramo vulnerable del río Caplina



Fotografía 04: Se aprecia el tramo vulnerable del rio Caplina

## Anexo. 1 Matriz de consistencia

Título: “Diseño de gaviones para mitigación de erosión de laderas en el río Caplína, Tacna”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable independiente
Cómo realizar el diseño de gaviones para las zonas de cambio de flujo en el cauce del río Caplína	Mitigar la erosión de laderas con gaviones en el río Caplína, urb. San José, Pachía, Tacna”	Es posible mitigar la erosión con el diseño de gaviones usando modelación hidráulica en un flujo con dentritos.	Gaviones en las laderas del río Caplína, altura urb. San José Potencia del flujo de Rio
Problema específico	Objetivo específico	Hipótesis específico	Variable dependiente
a) Cómo identificar las áreas vulnerables de inundación para la localización de gaviones en el río Caplína	Elaborar la propuesta de diseño de gaviones para la urb. San José, Pachía.	a) Es posible identificar áreas venerables de inundación según el modelamiento hidráulico	a) Erosión de sedimentos
b) Cuál será el periodo de retorno de las grandes avenidas en el río Caplína	Estimar los caudales máximos y periodo de retorno de máximas avenidas.	b) Las máximas avenidas en el río Caplína son cíclicas	