



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“PEDRO RUIZ GALLO”**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRICOLA**



**TESIS**

**Estimación y comparación de los métodos utilizados**  
**para el cálculo de sedimentos - erosión hídrica**  
**aplicados a la cuenca del río Zaña**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**Autor (es):**

Bach. Revilla Cruzado Jorge Germán

Bach. Uriarte Meléndrez Humberto

**Asesor:**

M. Sc. Ing. Montes Bances Enoch

**Lambayeque -Perú**

**2023**



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**“PEDRO RUIZ GALLO”**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRICOLA**



**TESIS**

**Estimación y comparación de los métodos utilizados  
para el cálculo de sedimentos - erosión hídrica  
aplicados a la cuenca del río Zaña**

**Para optar el título profesional de:**

**INGENIERO AGRÍCOLA**

**Autor (es):**

Bach. Revilla Cruzado Jorge Germán

Bach. Uriarte Meléndrez Humberto

**Aprobado por:**

M. Sc. Jorge Segundo Cumpa Reyes

Presidente

Ing. José Arturo Solórzano Gonzáles

Secretario

Ing. Ernesto Contreras Ocampo

Vocal

M. Sc. Enoch Montes Bances

Patrocinador

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este proyecto a la universidad por permitirme a través de esos años, alimentarme de sus enseñanzas para ser el profesional que siempre he soñado, y poder ser parte de la historia de esta prestigiosa institución.

**Bach. Revilla Cruzado Jorge G.**

Dedico este trabajo a mi familia, por ser el pilar durante toda mi existencia, es a mis padres y hermana a quienes debo todo, por ellos es que con esfuerzo logro culminar con satisfacción esta etapa, y así poder retribuirles con creces las acciones que tuvieron conmigo en este camino llamado vida.

**Bach. Uriarte Meléndrez Humberto A.**

## **AGRADECIMIENTO**

Para empezar, quiero agradecer a Dios y a mis padres porque ellos fueron la fuerza y la inspiración para salir adelante cada día de mi etapa universitaria y profesional, agradezco también a las personas que me han apoyado de tantas maneras especialmente en esta etapa de mi vida.

**Bach. Revilla Cruzado Jorge G.**

Agradecer en primer lugar a Dios y mis padres, hermana y demás familiares por el apoyo diverso que me brindaron durante este proceso, a mis compañeros y amigos de la universidad por haber compartido experiencias y hacer que la vida universitaria sea más interesante, a mis docentes, gracias al conocimiento compartido y a la formación que nos inculcaron durante los años transcurridos.

Me siento satisfecho con lo que se vino afrontando para lograr salir victorioso, culminando este proceso de la mejor manera y así retribuir a todos aquellos que creyeron en mí.

**Bach. Uriarte Meléndrez Humberto A.**

## RESUMEN

Comparando al estudio del desarrollo sedimentario en la sub cuenca del río Zaña (Provincia de Chiclayo, Región Lambayeque), que presenta una precipitación pluvial promedio de 529,5 mm. Esta comparación será entre modelos empíricos o enfoques teóricos (Gavrilovic, Djorovic, Stenberg) y algunos modelos computacionales o genéricos (por ejemplo, el enfoque de ecuación general USLE).

Los métodos empíricos o teóricos para la valoración de pérdida de suelo, además están técnicamente soportados, y se utilizan frecuentemente en los campos de la hidrología e hidráulica y el medio ambiente.

Las respuestas esperadas de este proyecto en la Producción de Sedimentos en la sub cuenca del río Zaña se estima promedio de 388.185 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/año para una precipitación media anual ya mencionada anteriormente y una tasa promedio anual de 493739.8 m<sup>3</sup>/año

Los métodos teóricos también gozan de gran aceptación ya que han sido mejorados y actualizados continuamente por diferentes profesionales de nuestras universidades dentro de nuestro país.

Al comparar los resultados, concluimos que los datos del método experimental son estadísticamente parecidos al modelo computacional o ecuación universal de la FAO, que en la misma situación con los suelos. Así nos podemos dar cuenta que los resultados, pueden ser útiles para la realización de situaciones de diagnóstico anticipado o previo.

Palabras clave: Erosión, sedimentación, perdida de suelo, métodos teóricos, método computacional, etc.

## **ABSTRACT**

Comparing the study of sedimentary development in the sub-basin of the Zaña River (Chiclayo Province, Lambayeque Region), which presents an average rainfall of 529.5 mm. This comparison will be between empirical models or theoretical approaches (Gavrilovic, Djorovic, Stenberg) and some computational or generic models (for example, the USLE general equation approach).

Empirical or theoretical methods for calculating soil loss are also technically supported, and are frequently used in the fields of hydrology, hydraulics, and the environment.

The expected responses of this project in Sediment Production in the Zaña river sub-basin is estimated to be an average of 388,185 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/year for an average annual rainfall already mentioned above and an average annual rate of 493,739.8 m<sup>3</sup>/year.

The theoretical methods are also widely accepted as they have been continuously improved and updated by different professionals from our universities within our country.

When comparing the data obtained, it is concluded that the results of the experimental method are statistically similar to the computational model or universal equation of the FAO, which in the same situation with the soils. Thus, we can realize that the results can be useful for the realization of situations of anticipated or previous diagnosis.

Keywords: Erosion, sedimentation, soil loss, theoretical methods, computational method, etc.

## INDICE

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO .....	IV
RESUMEN .....	V
ABSTRACT .....	VI
INDICE DE ILUSTRACIONES .....	XI
INDICE DE PLANOS .....	XIII
GLOSARIO DE TERMINOS .....	XIV
SIMBOLOGIA.....	XV
INTRODUCCION .....	1
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Planteamiento del problema .....	3
1.2. Formulación del problema .....	4
1.3. Objetivos de la Investigación .....	4
1.3.1. Objetivos generales .....	4
1.3.2. Objetivos específicos .....	5
1.4. Justificación del estudio .....	5
1.5. Limitaciones de la investigación .....	6
CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
2.1. Antecedentes del estudio .....	7
2.1.1. Antecedentes a nivel internacional .....	7
2.1.2. Antecedentes a nivel nacional .....	8
2.2. Bases teóricas .....	9
2.2.1. Erosión Hídrica.....	9
2.2.2. Metodologías para estimar la producción de sedimentos en cuencas .....	14
2.3. Definición de términos .....	29

2.3.1.	Factor de Erosividad.....	29
2.3.2.	Producción y movimiento de sedimentos .....	30
2.3.3.	Factor de cobertura vegetal.....	31
2.3.4.	Utilización del suelo.....	32
2.3.5.	Partículas del suelo.....	32
2.3.6.	Precipitación promedio anual .....	32
2.3.7.	Temperatura promedio anual .....	33
2.3.8.	Escorrentía promedio anual .....	33
2.3.9.	Factor topográfico de la cuenca.....	34
2.4.	Hipótesis .....	35
2.4.1.	Hipótesis General .....	35
2.4.2.	Hipótesis específicas .....	35
2.5.	Variables.....	35
2.5.1.	Definición conceptual de la variable .....	35
-	Estimación de la erosión o sedimentación en la cuenca del río Zaña..	35
-	Análisis y comparación de los métodos teóricos y numéricos aplicados a este estudio .....	35
2.5.2.	Definición operacional de la variable.....	36
-	Estimación de la erosión o sedimentación en la cuenca del río Zaña..	36
-	Análisis y comparación de los métodos teóricos y numéricos aplicados a este estudio .....	36
2.5.3.	Operacionalización de la variable.....	36
CAPITULO III: METODOLOGIA.....		37
3.1.	Tipo y nivel de investigación .....	37
3.2.	Descripción del ámbito de la investigación.....	37
3.2.1.	Ubicación .....	38
3.2.2.	Extensión .....	38
3.3.	Población y muestra .....	38



3.3.1. Población .....	38
3.3.2. Muestra.....	38
3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.....	39
3.4.1. Técnicas .....	39
3.4.2. Instrumentos.....	39
3.4.3. Equipos y materiales .....	39
3.5. Validez y confiabilidad del instrumento .....	39
3.5.1. Validación del instrumento .....	39
3.5.2. Fiabilidad del instrumento .....	39
3.6. Plan de recolección y procesamiento de datos .....	40
3.6.1. Recolección de datos .....	40
3.6.2. Procesamiento de datos .....	40
<b>CAPITULO IV: RESULTADO.....</b>	<b>41</b>
4.1. Parámetros morfométricos del embalse .....	41
4.1.1. Curva hipsométrica.....	42
4.1.2. Frecuencia de altitudes.....	42
4.1.3. Tiempo de concentración.....	43
4.2. Hidrografía del ámbito de estudio .....	44
4.3. Investigación de datos de precipitación.....	45
4.3.1. Elección de estaciones de influencia.....	45
4.3.2. Precipitación media de la sub cuenca del río Zaña .....	45
4.4. Aplicación de los métodos empíricos.....	46
4.4.1. Aplicación con los Métodos Teóricos .....	46
<b>CAPITULO V: DISCUSION .....</b>	<b>56</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>REFERENCIAS BIBLOGRAFICA.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>66</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Elementos descriptivos usados en el modelo de Gavrilovic.....	18
<b>Tabla 2:</b> Valores de las constantes a y n según Cobertura Vegetal.....	20
<b>Tabla 3:</b> Valor del parámetro $C(\phi)$ acorde al diámetro del grano, .....	24
<b>Tabla 4:</b> Operacionalización de variables .....	36
<b>Tabla 5:</b> Datos Generales .....	41
<b>Tabla 6:</b> Morfología .....	41
<b>Tabla 7 :</b> Fisiografía .....	42
<b>Tabla 8:</b> Tiempo de concentración por diferentes métodos .....	43
<b>Tabla 9:</b> Estaciones hidrometereológicas en la sub cuenca de estudio.....	45
<b>Tabla 10:</b> Resultado de la precipitación media .....	46
<b>Tabla 11:</b> Parámetros usados en el método de DJOROVIC .....	48
<b>Tabla 12:</b> Categorías de los valores de Z .....	49
<b>Tabla 13:</b> Resultados de la fórmula de Djorovic.....	49
<b>Tabla 14:</b> Resultados de la fórmula de Stemberg .....	50
<b>Tabla 15:</b> Promedio de resultados de erosión para un determinado tiempo .....	54

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1:</b> Erosión de la Superficie como resultado del impacto de Lluvia y Turbulencia.....	10
<b>Ilustración 2:</b> Erosión de la Superficie por erosión laminar.....	10
<b>Ilustración 3:</b> Efecto del impacto de una gota de lluvia.....	11
<b>Ilustración 4:</b> Erosión por surcos .....	12
<b>Ilustración 5:</b> Erosión por cárcavas.....	13
<b>Ilustración 6:</b> Factor de escala $K$ en función del esfuerzo relativo .....	25
<b>Ilustración 7:</b> Umbral de velocidad en función del diámetro del grano.....	26
<b>Ilustración 8:</b> Ámbito de estudio del proyecto .....	37
<b>Ilustración 9:</b> Curva hipsométrica .....	42
<b>Ilustración 10:</b> Frecuencia de altitudes .....	43
<b>Ilustración 11:</b> Hidrografía de la Cuenca del Río Zaña .....	44
<b>Ilustración 12:</b> Método Isoyetas – Sub cuenca del río Zaña .....	45
<b>Ilustración 13:</b> Factor $R$ - USLE .....	51
<b>Ilustración 14:</b> Factor $K$ - USLE .....	52
<b>Ilustración 15:</b> Factor $C$ - USLE .....	52
<b>Ilustración 16:</b> Factor $LS$ - USLE .....	53
<b>Ilustración 17:</b> Administración local del agua Zaña.....	66
<b>Ilustración 18:</b> Junta de usuarios Zaña.....	66

<b>Ilustración 19:</b> Sedimentación – Sector El Espinal .....	67
<b>Ilustración 20:</b> Sedimentación – Sector Las Delicias .....	67
<b>Ilustración 21:</b> Sedimentación – Sector Pan de azúcar .....	68
<b>Ilustración 22:</b> Sedimentación – Sector Macuacos .....	68
<b>Ilustración 23:</b> Sedimentación – Sector El Conde.....	69
<b>Ilustración 24:</b> Sedimentación – Sector Chilcal alto.....	69
<b>Ilustración 25:</b> Erosión por desprendimiento – Sector Espinal .....	70
<b>Ilustración 26:</b> Erosión por cárcavas – Sector Las Delicias .....	70
<b>Ilustración 27:</b> Depositación de sedimentos – Dist. Oyotún.....	71
<b>Ilustración 28:</b> Descolmatación de sedimentos – Dist. Oyotún.....	71
<b>Ilustración 29:</b> Depositación de sedimentos – C.P Las Delicias .....	72
<b>Ilustración 30:</b> Depositación de sedimentos – C.P Pan de azúcar .....	72
<b>Ilustración 31:</b> Sedimento en suspensión – Dist. Oyotún .....	73
<b>Ilustración 32:</b> Desprendimiento de suelo – Cuenca alta Zaña .....	73
<b>Ilustración 33:</b> Sedimento colmatado – Parte baja Zaña .....	74
<b>Ilustración 34:</b> Sedimento en forma de grava, limo y arcillas.....	74
<b>Ilustración 35:</b> Sedimento en suspensión en la zona de aforo .....	75
<b>Ilustración 36:</b> Perdidas originadas por la erosión en el ciclón Yaku 2023 .....	75
<b>Ilustración 37:</b> Estaciones metrológicas - Senamhi .....	76

## INDICE DE PLANOS

<b>Plano 1:</b> Mapa de erosión – Sub cuenca del río Zaña.....	77
<b>Plano 2:</b> Mapa de pendientes – Sub cuenca del río Zaña .....	78
<b>Plano 3:</b> Factor R – Sub cuenca del río Zaña.....	79
<b>Plano 4:</b> Factor K – Sub cuenca del río Zaña .....	80
<b>Plano 5:</b> Factor L – Sub cuenca del río Zaña .....	81
<b>Plano 6:</b> Factor S – Sub cuenca del río Zaña .....	82

## **GLOSARIO DE TERMINOS**

<b>SENAMHI:</b>	Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú
<b>IGN:</b>	Instituto geográfico nacional del Perú
<b>DEM:</b>	Modelo de elevación digital
<b>EARTH DATA:</b>	Datos del terreno
<b>NASA:</b>	Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio
<b>FAO:</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
<b>INGEMMET:</b>	Instituto geológico, minero y metalúrgico
<b>ANA:</b>	Autoridad nacional del agua
<b>MINAM:</b>	Ministerio del ambiente
<b>SIG:</b>	Sistema de información geográfica
<b>SCS:</b>	Servicio de conservación de suelos

## SIMBOLOGIA

<b>S:</b>	Pendiente media de la cuenca (m/m)
<b>Q:</b>	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
<b>G:</b>	Descarga media de material erosionado(m <sup>3</sup> /año)
<b>W:</b>	Producto de la producción de sedimentos(m <sup>3</sup> /año)
<b>R:</b>	Coeficiente de retención
<b>t:</b>	Temperatura media(°C)
<b>T:</b>	Factor de temperatura
<b>F:</b>	Superficie de la zona de estudio (km <sup>2</sup> )
<b>Z:</b>	Coeficiente de erosión
<b>φ:</b>	Coeficiente de resistencia del suelo erosivo
<b>Qs:</b>	Transporte medio anual de sedimento (m <sup>3</sup> /s)
<b>P:</b>	Precipitación media (mm)
<b>S:</b>	Superficie de la cuenca (m <sup>2</sup> )
<b>R:</b>	Factor de Erosividad pluvial (J.m <sup>-2</sup> .cm.h)
<b>E:</b>	Pérdida anual de suelo (Tn/ha)
<b>K:</b>	Factor de Erosionabilidad del suelo (Tn.m <sup>2</sup> .h / (ha.J.cm))
<b>L.S:</b>	Factor topológico
<b>C:</b>	Factor de cobertura vegetal
<b>P:</b>	Factor de prácticas de conservación
<b>fc:</b>	Capacidad de Infiltración (m/s)
<b>θs:</b>	Contenido de agua del suelo
<b>θi:</b>	Contenido inicial de agua del suelo
<b>P:</b>	Tasa de precipitación (mm/s)
<b>Cs:</b>	Concentración de Sedimentos (L <sup>3</sup> / L <sup>3</sup> )
<b>e:</b>	T asa de Erosión del Lecho de Suelo(L <sup>2</sup> /T)
<b>q:</b>	Tasa de Sedimentación Lateral del Cauce(L <sup>2</sup> /T/L)

## INTRODUCCION

Ha habido mucho interés a nivel mundial en la evaluación de la producción de sedimentos en cuencas y sub-cuencas fluviales, es el resultado del reciente proceso de sedimentación acelerada que han sufrido algunos ríos. Tiene que ver con la alteración del uso del suelo y los posibles efectos del cambio climático en los patrones de lluvia mencionado anteriormente, es incierto cómo se vería afectado el régimen de escorrentía y el funcionamiento de la infraestructura actual.(Huerta Fernández & Loli Figueroa, 2014).

El riesgo de inundaciones aumenta como consecuencia de la deforestación, que también aumenta la concentración de partículas en suspensión que se depositan en el fondo de los ríos y eleva el nivel freático. La mayoría de los sedimentos se mueve río abajo hasta que llega a un embalse o al mar, donde se depositan las partículas restantes, aunque no todo el sedimento se deposita en los ríos (Verstraeten & Poesen, 2000).

Las predicciones de la escorrentía y la generación de sedimentos son necesarias para una gestión eficaz de las cuencas hidrográficas. Permite sugerir acciones para mejorar la infiltración de agua subterránea, regular la escorrentía excedente, gestionar el flujo de agua y prevenir la erosión del suelo(Manson, 2004).

Existen varias técnicas para calcular el proceso sedimentario en las cuencas hidrográficas, incluidas aquellas basadas en modelos matemáticos y observaciones reales. Este último se divide en tres métodos: la técnica estocástica, el método de simulación de procesos físicos y el enfoque empírico. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), que es de naturaleza empírica, es la que se utiliza en México debido a su simplicidad y falta de datos empíricos para los sedimentos del canal. Sin embargo, la exactitud de las distintas simulaciones de procesos físicos, podrían mejorar notablemente. El principal problema es la cantidad de información que se adquiere en los datos, lo que ha limitado su aplicación, (Simons & Serturk, 1992).



La poca información sobre erosión en la sub-cuenca del río Zaña es una seria preocupación en este sentido. tomar las mejores decisiones, para poder manejar el recurso suelo de manera efectiva, y poder mejorar la calidad de vida de quienes viven en él. En las zonas rurales, cuyas economías dependen de este recurso, cada día se necesita más información sobre cómo orientar los recursos hacia una determinada cuantificación según el tipo de erosión.

# **CAPÍTULO I: PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1.Planteamiento del problema**

Áreas urbanas experimentaron una transformación significativa en los siglos XX y XXI, lo que a su vez condujo a cambios topográficos significativos en el terreno que afectaron la respuesta hidrológica a ciertos sucesos. Las más notables de estas modificaciones son la impermeabilidad total o parcial de la superficie de la cuenca, la modificación (o remoción) de la cubierta vegetal original de elevación baja a media de la cuenca, y la instalación de colectores para drenar la cuenca con mayor rapidez y eficacia. Estas modificaciones provocaron un marcado aumento en el flujo aguas abajo y la velocidad del flujo, que a su vez, aumentó la escorrentía (al reducir la infiltración) y el caudal máximo; y acortó el tiempo de concentración, lo que provocó problemas de inundaciones en las zonas río abajo, que pueden ser peores en las zonas con pendientes más bajas (Jeannette Zambrano Nájera , 2015).

El problema más serio en las cuencas costeras del Mediterráneo es donde las ciudades se expanden de forma rápida y aleatoria, así como cuando experimentan circunstancias hidrológicas desfavorables como pequeñas cuencas hidrográficas con fuertes pendientes y precipitaciones extremadamente altas (Arandes, 1992).

Adicionalmente, los contaminantes transportados por la escorrentía, en particular los limos que ingresan a la red de drenaje, están vinculados a problemas de inundación. Puede ser necesario realizar un mantenimiento de rutina en estas instalaciones para que sigan funcionando correctamente, e incluso construir estructuras para evitar que los sólidos ingresen, dado que estos embalses tienen el potencial de causar problemas graves con su operación, como la reducción de la capacidad hidráulica y el empeoramiento de flujo de agua superficial. En cuencas hidrográficas urbanas con cabeceras o regiones río arriba que tienen poca o ninguna cobertura natural, este aspecto es aún más crucial porque los procesos erosivos exponen el suelo más de lo normal, lo que resulta en mayores

volúmenes de sedimentos que ingresan a las cuencas hidrográficas urbanas (Hernández López, 2009).

## **1.2. Formulación del problema**

La probabilidad de problemas de sedimentación, asunto debido a la erosión del río ha sido regulada a lo largo del tiempo, sin embargo, esta ocurrencia está estrechamente relacionada con los efectos desastrosos en las cuencas hidrográficas aguas abajo que analizamos.

Esto implica que el área también se ve afectada por las fuertes lluvias pronosticadas en las áreas más altas, además del flujo aumentado en la cuenca superior.

Debido a que el suelo tiene una variedad de cualidades, cuando el agua corre sobre él, su sección transversal cambia gradualmente, es importante comprender las características del flujo, las características del suelo y la vegetación en cada momento, además de las ubicaciones propensas a deslizamientos de tierra.

Gracias a los avances tecnológicos, ahora es posible calcular los tipos de fenómenos que existen dentro de una cuenca para estimar los objetivos antes mencionados. El modelo de elevación digital basado en cuencas proporciona un escenario espacio-temporal específico como resultado del uso del análisis de tecnologías de código abierto, como el software GIS, y este escenario puede calcularse como sedimento computacional. En este sentido, se requiere una estimación más precisa de la producción de sedimentos. Por otro lado, subestimar los sedimentos podría resultar en la ruptura temprana de la infraestructura, ya que puede aumentar los gastos necesarios para las estructuras involucradas si se sobreestima. Es obvio que las obras hidráulicas son costosas, y cuando fallan hay consecuencias financieras muy significativas.

## **1.3. Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1. Objetivos generales**

Comparación de las estimaciones de sedimentos en la cuenca del río Zaña, realizado por los métodos teóricos, Sistemas de Información Geográfica (GIS) y en un Modelo Computacional.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Determinar los datos de vegetación, uso de suelo y los modelos de elevación digital para llegar a obtener los resultados siguientes de dicho tema de estudio.
- Determinar cuáles son los puntos críticos dentro de la cuenca donde se obtendría vulnerabilidad de acuerdo al fenómeno de la erosión.
- Evaluar de qué manera los métodos teóricos, Sistemas de Información Geográfica (GIS) y en un Modelo Computacional sería mejor manera de evaluar para este tipo de investigación.
- Estimar las pérdidas de precipitación de manera graficada y tabulada, para una mejor visión al resultado de dicha investigación.
- Estimar la proporción de sedimentos de forma dinámica para que los procesos de una tormenta puedan seguirse a lo largo del tiempo.

### **1.4. Justificación del estudio**

El deterioro del suelo es un problema ambiental de trascendencia mundial, y afecta a nuestra región, particularmente al Perú, donde recientemente se han descubierto graves casos de degradación de suelos por circunstancias climáticas adversas.

Los proyectos de almacenamiento y la ingeniería hidráulica son cruciales para el crecimiento del Perú. Fueron construidos en respuesta al objetivo de la utilización eficaz de los recursos, que es crucial para el desarrollo sostenible de la nación. En esta situación, se necesita de análisis de generación de sedimentos. Por otro lado, una subestimación resulta en un cierre de infraestructura antes de lo debido, ya que una sobreestimación de los sedimentos resulta en gastos excesivos para las estructuras en cuestión. Es seguro que las obras son costosas y resultan en pérdidas financieras si no tienen éxito.

Existen instalaciones en las playas del norte y sur de Perú sin una entrada de sedimentos estimada, lo que indica que estos proyectos están comenzando antes de lo previsto. Estos comprenden suministros de agua potable, agua, recursos de agua de riego, etc. Para ofrecer opciones de diseño sobre la estimación de la mortalidad de sedimentos en embalses, se creó este proyecto de tesis.

Dado que el Ministerio del Medio Ambiente requiere que las empresas mineras, las empresas de energía y otras empresas de inversión privada realicen una serie de estudios de EIA sobre sedimentos, se evalúan los impactos de la construcción y operación del proyecto, este proyecto de tesis también será útil para el medio ambiente. Como resultado debemos buscar las mejores y más creativas ideas para el futuro cercano, para toda comunidad que esté interesada en los hallazgos de este estudio.

### **1.5.Limitaciones de la investigación**

Con respecto a las variables climáticas, las cuales se presentan en la información de temperatura para realizar algunos cálculos de nuestro proyecto, se recurrió al estudio hidrológico del valle Zaña a cargo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el cual presenta datos de clima basados en información brindada de la University of East Anglia (UEA) para evaluar principales parámetros meteorológicos.

Durante nuestra investigación acontecieron ciertos impedimentos con la institución en la que realizamos nuestro proyecto con respecto a la topografía de la zona de la sub cuenca del río Zaña, por lo que se recurrió a las imágenes satelitales obtenidos del aplicativo EARTH DATA administrada por la NASA con una resolución de 30 x 30 m, gracias a ello resultó la topografía completa del área de estudio, el cual también se nos hizo una limitación en el objetivo de estimar la cantidad de sedimentos con fluidez de manera que se aprecie en un evento de lluvia a lo largo del tiempo del fenómeno, pero sin embargo el fenómeno del ciclón Yaku y por consecuente el fenómeno del niño presentado en estos meses de verano nos limitó debido a las altas precipitaciones y elevaciones de caudal en la zona de drenaje del río de la sub cuenca de estudio.

## **CAPÍTULO II: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.1. Antecedentes del estudio**

Las innovaciones hidráulicas y de transporte de sedimentos aparecieron por primera vez en China en el 4000 a. Durante el mismo período, Mesopotamia hizo un progreso significativo con la construcción de canales de los ríos Tigris y Éufrates para riego, así como para obras de control e inundación.

La ciencia contemporánea ha logrado un mayor éxito, y la hidráulica no es una excepción, ni tampoco los problemas de los ríos y aparición de sedimentos en las cuencas. Muchos investigadores, como, Dupuit y DuBoys, Lois Navier, Jean-Clude, W. Froude, R. Manning, Barré de Saint Venant, G. Stokes, H. Bazin, Ademar, O. Reynolds, J. Boussinesq, han cambiado la manera de investigación Hacer hidráulica. Dupuit y DuBoys se destacan cuando se trata de ríos, especialmente el transporte de sedimentos (El agua en la antigua Mesopotamia, 2022).

Algunos de los primeros informes sobre el transporte de sedimentos fueron realizados por Hipócrates (460-377 a. C.). W.C. Krumbein en 1932, divide las partículas de sedimento en fracciones materiales según sus velocidades características. El libro más antiguo sobre el tema es encontrado en China, escrito en el siglo XVI por Pan Chi-Hsun, con título "Protección de ríos", donde se analizan varias prácticas de defensa fluvial y contra sedimentos (Simons D. B., 1992).

Rara vez se mide y monitorea la producción de sedimentos en Perú, y se sabe poco sobre el impacto en las condiciones hidro-climáticas del cambio climático.

Los fenómenos meteorológicos extremos también pueden causar desplazamientos desproporcionadamente grandes. Pero en áreas que ya se están erosionando, existe un impacto ambiental que puede reducirse aún más mediante la disminución de espacios verdes (Sabino, Lavado, & Asencios, 2021).

#### **2.1.1. Antecedentes a nivel internacional**

Es en los Estados Unidos, donde la investigación inicial comenzó en 1907. En 1917, Miller realizó pruebas inicialmente en Missouri (Hudson, 1982). El Servicio

de Conservación de Suelos de EE.UU. estableció su comprensión de las técnicas de control de la erosión cuando se fundó en 1935 (MMA\_M, 1998). Entre 1928 y 1933, H. Benett y LA Jones descubrieron la erosión de áreas experimentales. Cook planteaba la conexión entre el suelo, la lluvia, la pendiente y la cubierta vegetal en 1936 (Simons D. B., 1992).

Un problema común en los estudios de sedimentos de embalses es la falta de antecedentes y datos actuales, sin embargo, una evaluación completa de la erosión y el volumen de sedimentos permite una gestión eficaz de los recursos mientras se mantiene el equilibrio natural de la degradación y reparación del suelo. El IARA publicó una lista de deterioradas cuencas fluviales de Andalucía en 1986. La cuenca del río Colomera ocupa el primer lugar con 132,94 t/ha/año, seguida del río Cubillas con 120,90 t/ha/h. Las estimaciones difieren de los mapas de erosión creados por ICONA (1987), que detallan la producción de sedimentos hasta 4,77 t/ha/año en base a mediciones indirectas de suelo muestreado en el embalse y caudales, y concentraciones evacuadas a través de un canal instalado aguas arriba del embalse. Estas estimaciones de los técnicos, según Masa (1996), difieren de los mapas de ICONA porque detallan las condiciones de erosión diez veces menores. Suponiendo una cuenca de drenaje normal con arena, limo y arcilla distribuida uniformemente, Lane y Koelzer estimaron la densidad promedio usando la granulometría promedio del sitio, (Carvajal Ramirez).

### **2.1.2. Antecedentes a nivel nacional**

A escala nacional, el Instituto Nacional de Recursos Naturales - INRENA elaboró un "Mapa de Intensidad de Erosión de Suelos del Perú " en 1996, basado en trabajos anteriores de la ONERN. Este mapa fue creado usando información cartográfica como como curvas de nivel, fotos aéreas, imágenes de radar e imágenes satelitales. Curvas de nivel, fotos aéreas, imágenes de radar e imágenes satelitales. Adicionalmente, SENAMHI publicó un "Atlas de Erosión de Suelos Erosión por Regiones Hidrológicas del Perú" en 2017. El segundo estudio (Aybar et al., 2020) incluye la publicación inicial de un mapa de erosión anual, una serie temporal de mapas de erosión anual de 1981 a 2014 que se basa en la

precipitación cubierta por PISCO (temporalidad mensual - primera edición) (Sabino, Lavado, & Asencios, 2021).

La erosión del suelo ha producido sedimentos, estimada para 46 cuencas fluviales a nivel nacional. Considerando 24 cuencas en la vertiente del Pacífico, 5 en Titicaca y 17 en el Amazonas. Las áreas varían de 34.472 km<sup>2</sup> (Cuenca Madre de Dios Superior) a la de 134 km<sup>2</sup> (Cuenca Madre de Dios Inferior). Las cuencas se seleccionaron en función de las necesidades de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS). Estos métodos se calculan a una resolución espacial de 30 m por píxel y con una resolución temporal de un año para el periodo histórico (1984-2019) y el futuro (2036-2065). Los mapas de erosión del suelo se derivan de datos de sensores remotos, lo que permite identificar cambios (aumentos o disminuciones) en la producción anual de sedimentos (Sabino, Lavado, & Asencios, 2021).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Erosión Hídrica**

La erosión se define como el deterioro del suelo en tierra firme por factores naturales como el viento o el agua, así como por la actividad humana. Ocurre mundialmente, pero es más notorio en áreas áridas o semiáridas donde hay menos vegetación y más exposición del suelo. La erosión es un actor importante en la configuración y el cambio del paisaje.

La erosión es el movimiento de roca o fragmentos de roca, arena o lodo por el agua, la gravedad o el viento. Como ejemplo, en las montañas los sedimentos son transportados por los ríos, pudiendo ser rocas, polvo o arena. Durante la migración, se desplazan y eventualmente cambian la fisonomía del paisaje y se reubican, (Ecología verde, s.f.).

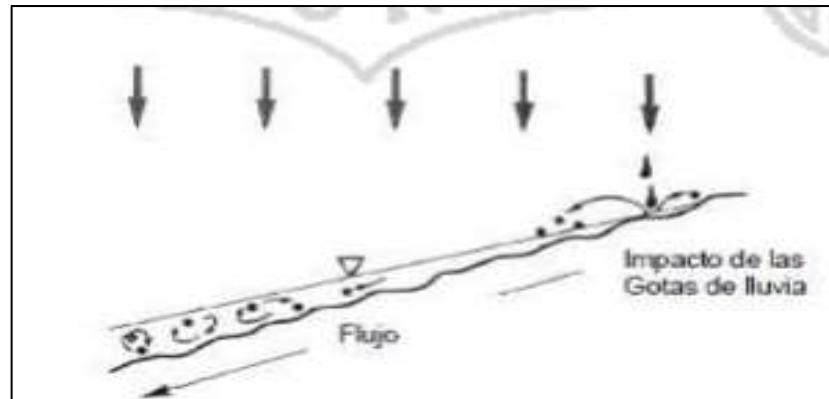
#### **2.2.1.1. Erosión laminar**

Está sujeto a erosión por impacto de agua, lluvia y escorrentía. Una combinación de estos mecanismos conduce a la erosión superficial. La erosión laminar no solo provoca la pérdida de nutrientes en el suelo de la parte afectada de las partículas finas, sino que también provoca un gran aporte de sedimentos, provocando un efecto erosivo al ser capaz de cubrir grandes extensiones de los taludes y no ser



monitoreada por largos periodos de tiempo. Se caracteriza por la baja acumulación de suelo al pie de los taludes o la aparición de suelo de color claro en la parte superficial del suelo, (VALDEBENITO, 2019).

**Ilustración 1:** Erosión de la Superficie como resultado del impacto de Lluvia y Turbulencia



**Fuente:** Brooks, 1997

**Ilustración 2:** Erosión de la Superficie por erosión laminar



**Fuente:** Repositorio UNPRG, FICSA, Diseño Hidráulico y Estructural de la defensa ribereña del Río Reque en el sector Eten – Monsefú.

### **2.2.1.2. Erosión por salpicadura**

Pérdida de suelo debido al contacto que el agua de lluvia tiene sobre el suelo desnudo. Representa el estado inicial en los procesos erosivos. El problema de las caídas es la fractura de los áridos inestables por el desprendimiento de partículas de suelo que pueden caer hasta 1,5 metros. El material extruido puede llenar los poros y hacer que la superficie del área se selle y se seque; o ser enjuagado con agua superficial y posteriormente desplazado, (Carvajal Ramirez).

**Ilustración 3:** Efecto del impacto de una gota de lluvia



**Fuente:** (USGS DDS 21)

### **2.2.1.3. Erosión por surcos**

Está determinado por la micro topografía del área terrestre, la mutación de flujo laminar a concentrado a medida que aumentan las corrientes, la altura y la velocidad del agua. En otras palabras, la erosión por surcos es la disminución de suelo consecuencia de lluvias cuando hay irregularidades en la forma, longitud y pendiente de un talud de suelo, donde los flujos se concentran en áreas específicas y tienen suficiente volumen y velocidad para crear cortes y taludes, las depresiones naturales comienzan a moverse hacia zonas inferiores recogiendo el suelo y dando origen a zanjas aproximadamente de 50 cm de profundidad, (Tánago, 1991).

La iniciación de tajos (conocidos también como regueros) está asociada con el desarrollo de flujo por encima de la tasa de corte crítico. También se debe tener en cuenta que los surcos comienzan a una distancia crítica aguas abajo donde la corriente comienza a fluir. Esto significa que los canales de flujo secundario tienen una componente lateral mayor que el flujo primario. Cuando estos se combinan, el aumento del flujo estimula el movimiento de partículas, abriendo pequeños canales o zanjas por desgaste, (Carvajal Ramirez).

**Ilustración 4:** Erosión por surcos



**Fuente:** Bienes; 2006

#### **2.2.1.4. Erosión por cárcavas**

Las cárcavas son drenajes (canales) intermedios, muy pequeños (un mínimo de centímetros de profundidad), ya que a medida que aumenta la escorrentía superficial, el agua de las lluvias comienza a acumularse y convertirse en canales. Se da en suelos desnudos que presentan pendientes bajas, (MORGAN, 1997).

### **Ilustración 5: Erosión por cárcavas**



**Fuente:** *Repositorio UNPRG, FICSA, Diseño Hidráulico y Estructural de la defensa ribereña del Río Reque en el sector Eten – Monsefú.*

#### **2.2.1.5. Erosión por remoción o movimientos en masa**

Debido a factores naturales y antrópicos, los procesos de remoción en masa son un verdadero problema, especialmente en las laderas. Las tierras altas tropicales son particularmente adecuadas para este tipo de desastre porque cuatro elementos clave se combinan para producir eventos de remoción masiva: gradiente topográfico, sismicidad, meteorización del lecho rocoso y fuertes lluvias (Suárez, 1998).

Uno de los factores principales que pueden causar deslizamientos de tierra, es la lluvia. Sin embargo, explicar cómo afecta la estabilidad de taludes no es una simple tarea. La infiltración es un proceso que sucede debido a que el suelo está interactuando con el talud mediante la precipitación, ésta interactúa con los elementos geológicos, reduciendo así las propiedades mecánicas. Parte del proceso de remoción de masa inducido por la lluvia es causado por un aumento en la presión intersticial del talud (o un aumento en la fuerza de infiltración específica) y las condiciones que respaldan o refutan los procesos relacionados con la infiltración de la lluvia, las propiedades geológicas del material, el historial de lluvia y la geometría de la pendiente, (M. Ramos, Trujillo Vela, & Prada, 2015).

En las remociones de masa, la precipitación influye fuertemente en el tamaño y la forma del suelo. Se sabe que la escorrentía superficial (escorrentía de lodo o escombros) influye fuertemente en las precipitaciones a corto plazo, en tanto las precipitaciones acumuladas en periodos extremos influyen en los deslizamientos profundos. De estos, se concluyó que ningún parámetro de precipitación por sí solo es un determinante universal para generar cualquier tipo de proceso de remoción de masa, (M. Ramos, Trujillo Vela, & Prada, 2015).

## **2.2.2. Metodologías para estimar la producción de sedimentos en cuencas**

### **2.2.2.1. Métodos Empíricos**

Estimación de sedimentos por métodos teóricos, mencionando los siguientes:

#### **2.2.2.1.1. Método de Anderson**

Este método se ha utilizado para responder a las cargas de sedimentos en suspensión de varios embalses superficiales. Estas respuestas se utilizaron para contribuir en las cuencas, la cantidad de sedimentación con valores variables. En el oeste de Oregon, las áreas de estudio fueron montañas y valles. Para 29 canales, hubo registros de carga de sedimentos que se registraron hace 1-3 años.

Esta variable se relacionó con los aspectos de la cuenca mediante análisis multivariado para estimar el flujo medio anual de sedimentos en suspensión. También proporciona información donde puede diferenciarse la erosión actual y potencial dado el cambio de uso de la tierra, (Tarrío, 2012).

$$\begin{aligned} \log ss = & -3.721 + 0.116 \log A + 1.673 \log FQp + 1.244 \log MAq \\ & + 0.40 \log S + 0.0486 SC + 0.482 \frac{S}{A} + 0.0280 BC \\ & - 0.0036 OC + 0.942 R + 0.0086 RC \end{aligned}$$

$$SS - SSf = -1.639 + 0.240C + 0.00514 EB$$

Donde:

*ss*: promedio anual de la carga de sedimentos suspendidos (decenas de Ton/mi<sup>2</sup>/año).

*SS*: promedio anual de la carga de sedimentos suspendidos (miles de Ton/año).

*SSf*: promedio anual de la carga de sedimentos suspendidos de zonas forestadas (miles de Ton/año).

*A*: área de la cuenca (mi<sup>2</sup>).

*FQp*: descarga pico promedio del mes con mayor descarga, dividido entre la descarga promedio anual.

*MAq*: escurrimiento medio anual (ft<sup>3</sup>/mi<sup>2</sup>).

*S*: pendiente de las corrientes.

*SC*: porcentaje de limo y arcilla. Porcentaje de partículas de diámetro < 0.05mm.

*SC*: porcentaje de limo y arcilla. Porcentaje de partículas de diámetro < 0.05mm.

*S/A*: tasa de acumulación de la superficie (cm<sup>3</sup>/gm pct)

*BC*: porcentaje de la cuenca cultivada de granos.

*OC*: porcentaje de la cuenca cultivada de no granos.

*R*: porcentaje de la cuenca que cubren las carreteras.

*RC*: porcentaje de la cuenca talada en los últimos 10 años.

*C*: área de la cuenca sin vegetación y cultivada (mi<sup>2</sup>).

*Eb*: longitud del cauce principal (ft).

#### 2.2.2.1.2. Ecuación de Branson (1976)

En Grand Junction, Colorado, Branson investigó las conexiones entre los factores geomorfológicos, las capas de 17 cuencas hidrográficas y las características hidrológicas. Para calcular el rendimiento de sedimentos, se extrajo el análisis de regresión estadística. En el análisis se emplearon 15 años de registros hidrológicos y 6 años de medición de vegetación. Para calcular la producción de sedimentos se extrajo un análisis de regresión estadística. Con un nivel 1% de probabilidad de probabilidad, el coeficiente de conexiones múltiples fue de 0,86. En el análisis geomorfológico se tomó en cuenta factores como la velocidad del relieve, el ángulo de la sección transversal del canal, la pendiente de la base, la densidad de drenaje y el tipo de cuenca (Mercado Zarate, 2014).

$$\hat{Y} = 40.87X_1 + 0.03X_2 - 1.27$$

$\hat{Y}$ : producción de sedimentos promedio anual estimada (acre/ft/mi<sup>2</sup>).

$X_1$ : tasa del relieve.

$X_2$ : porcentaje de suelo sin vegetación en la cuenca.

### 2.2.2.1.3. Método de Flaxman

Para calcular la producción anual promedio de sedimentos a partir de la erosión del sitio, se muestra una equivalencia a partir de un análisis de regresión múltiple. Es importante destacar que los datos de cuatro características de la cuenca pueden explicar las variaciones en la producción de sedimentos significativos. Los parámetros empleados incluyen la pendiente promedio de la cuenca, dos factores del suelo y la cobertura vegetal como una indicación indirecta del factor climático. Con la excepción de situaciones donde los niveles de sedimentos son bajos, esta ecuación produce una correlación justa entre el sedimento calculado y el observado. Ajustando el factor de cobertura vegetal, aumentando la cantidad de muestras de suelo y analizando la producción de sedimentos a largo plazo, se puede utilizar la experimentación para mejorar la conexión, (Nájera, 2015).

$$\begin{aligned} \text{Log}(Y + 100) = & 524.372 - 270.565\text{Log}(X1 + 100) + 6.417\text{Log}(X2 + 100) \\ & - 1.702\text{Log}(X3 + 100) + 4.033\text{Log}(X4 + 100) + 0.992\text{Log}(X5 + 100) \end{aligned}$$

$Y$ : producción de sedimentos media anual (Ton/mi<sup>2</sup>).

$X1$ : tasa de precipitación media anual y la temperatura promedio anual (inch/°F).

$X2$ : pendiente de la cuenca.

$X3$ : porcentaje del diámetro de las partículas del suelo mayores que 1.00mm.

$X4$ : porcentaje de acumulación del suelo, porcentaje del diámetro de las partículas menores que 0.02mm.

$X5$ : 50% de probabilidad de la descarga pico (ft/s/mi<sup>2</sup>).

### 2.2.2.1.4. Método de Dendy y Bolton (1976)

Los volúmenes de acumulación de sedimentos, la escorrentía y el área de la cuenca están correlacionados entre sí. Donde  $Q$  es el escurrimiento promedio en

mm, A es el tamaño de la cuenca en km<sup>2</sup> y S es el volumen de sedimento generado en Tn/Km<sup>2</sup>/año. En cuencas extensas, no montañosas, esta equivalencia produce buenos resultados, (Arnal, 2003).

$$S = \left(\frac{Q}{5.8}\right)^{0.4} * \left[1.43 - 0.26 * \log\left(\frac{A}{2.5}\right)\right], \quad \text{para } Q < 50\text{mm/Año};$$

$$S = 685.79 * (e)^{-0.1\left(\frac{Q}{5.8}\right)} * \left[1.43 - 0.26 * \log\left(\frac{A}{2.5}\right)\right], \quad \text{para } Q \geq 50\text{mm/Año}.$$

#### 2.2.2.1.5. Método de Gavrilovic (1976, 1988)

Determina el proceso erosivo centrándose en las características morfológicas, geos litológicas, cobertura vegetal y utilización del suelo, precipitaciones y temperatura. Por tanto, la descarga promedio anual de material erosionado (G) es definida como el producto de la generación de sedimentos (W) y el coeficiente de retención (R), (Verstraeten & Poesen, 2000).

El origen de sedimentos promedio anual por erosión en superficie se resuelve como:

$$W = Th\pi Z^{3/2}F$$

**G:** capacidad de sedimentos generados en la cuenca (m<sup>3</sup>/año),

**W:** disminución media anual de sedimento bruto por desgaste (m<sup>3</sup>/año),

**T:** coeficiente de temperatura determinado a partir de la temperatura media  $t_m$ , como:

$$T = \left(\frac{t_m}{I} + 0.1\right)^5$$

**$t_m$ :** es la temperatura media en °C,

**h:** lluvia media anual (mm/año),

**F:** área de la zona de estudio (km<sup>2</sup>),

**Z:** coeficiente de desgaste determinado como:

$$Z = XY(\varphi + I^{1/2})$$



<b>X:</b>	coeficiente de utilización del suelo,
<b>Y:</b>	coeficiente de resistencia del suelo al desgaste,
<b><math>\varphi</math>:</b>	coeficiente perteneciente al tipo de proceso de desgaste observado,
<b>I:</b>	inclinación media de la cuenca (%).

El autor elabora los valores de los coeficientes X, Y,  $\varphi$ , que indican el nivel de seguridad del suelo provocado por la flora y acciones humanas, el nivel de resistencia a la meteorización del suelo teniendo en cuenta sus características geo litológicas y su alteración del desgaste en la cuenca.

**Tabla 1:**Elementos descriptivos usados en el modelo de Gavrilovic.

<b>COBERTURA Y USO DEL SUELO</b>	<b>X</b>
Bosques	0.05-0.20
Bosques de coníferas con pequeña cobertura	0.20-0.40
Bosque dañado, pastos	0.40-0.60
Pastos dañados y cultivos	0.60-0.80
Suelo desnudo	0.80-1.0
<b>OPOSICIÓN DEL SUELO A LA EROSION</b>	<b>Y</b>
Material duro, resistente al desgaste	0.2-0.6
Material con resistencia moderada a la erosión	0.6-1.0
Esquistos, material débil	1.0-1.3
Sedimentos, morrenas, elementos con poca resistencia	1.3-1.8
Sedimentos finos y suelos sin resistencia a la erosión	1.8-2.0
<b>TIPO DE PROCESO EROSIVO Y ESTADO</b>	<b><math>\varphi</math></b>
Sin desgaste o pocos	0.1-0.2

Desgaste laminar y regueros en un 20- 50% de la cuenca.	0.3-0.5
Erosión en ríos, cárcavas, depósitos aluviales, erosión kárstica.	0.6-0.7
50-85% de la cuenca afectada por erosión superficial y deslizamientos.	0.8-0.9
Toda la cuenca afectada por erosión.	1.0

**Fuente:** J. Almorox Alonso et al., 2010

El coeficiente de retención en sedimentación, según Zemljic, se formula como:

$$R = \frac{(L + L1) + \sqrt{OD}}{(L + 10)F}$$

Donde:

**O:** el perímetro de la cuenca (km<sup>2</sup>),

**D:** altitud media de la cuenca (km),

**L1:** distancia total acumulada de afluentes y cauces secundarios (km),

**L:** distancia de cauce principal (km),

**F:** área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

Las aplicaciones de este método incluyen varios mapas temáticos y métodos digitales de terreno.

#### **2.2.2.1.6. Método de Fleming**

La estimación de los sedimentos en suspensión, en este método, fue realizada por Fleming en los Estados Unidos dentro de las cuencas y usó una data de más 250 cuencas distribuidas por todo el mundo. Sobre la base de estos conceptos, describió las tasas medias anuales de movimiento de sedimentos en relación con la media del caudal anual y los niveles de vegetación. Se planteó la siguiente ecuación para este cálculo:

$$Q_s = aQ^n$$

Donde:

$Q_s$ : Transporte medio anual en suspensión

$Q$ : Caudal medio anual

$a, n$ : Constantes según la cobertura vegetal

**Tabla 2:** Valores de las constantes a y n según Cobertura Vegetal

Cobertura vegetal	$a$	$n$
Bosques de hoja ancha y coníferas	1.02	117
Bosques de coníferas y pastos altos	0.82	3523
Pastos bajos y arbustos	0.65	19260
Desiertos y arbustos	0.72	37370

**Fuente:** J. Almorox Alonso et al., 2010.

En el caso del caudal total anual medio sin datos, los valores son obtenidos mediante ecuaciones empíricas y no se dispone de resultados numéricos en la literatura (Ayres, 1970). Se han encontrado diversas opciones para obtener el caudal, por lo que es fundamental conocer de antemano las condiciones a utilizar y conocer la posibilidad de utilizarlas según cada requisito y deducción, (Mintegui Robredo, 1991). Por ejemplo, podemos utilizar la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{PSe}{b}$$

Donde:

$P$ : Precipitación anual de la cuenca (mm)

$S$ : Superficie de la cuenca (m<sup>2</sup>)

$e$ : Coeficiente de escorrentía

$b$ : Número de segundos que posee un año

#### 2.2.2.1.7. Método USLE

Según (Gaitan, y otros, 2017), Este método de USLE no da a conocer la tasa de pérdidas del terreno, su topografía, sus diferentes climas, la capa y el manejo de prácticas. Este procedimiento se basa en los efectos que tienen las precipitaciones para causar erosión y en la resistencia natural de la tierra. El método logra utilizarse en distintas regiones, he ahí el término universal, toma los coeficientes primordiales operativos en el desarrollo de la erosión hídrica (lluvias, suelo, capas, topografía y prácticas de conservación). Otorga la predicción de la actual erosión y formular simulaciones en diferentes escenarios. La metodología USLE hace uso de seis factores: Erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), longitud y gradiente de la pendiente (LS), cubierta y manejo de cultivos y restos (C), y prácticas de protección (P), para calcular la pérdida de suelos promedio (A) por la fase de tiempo interpretado por R, en general anualmente:

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

**A:** Deterioro de suelos evaluada por unidad de superficie, Expresado en toneladas por hectárea por año (t. Ha-1. Año-1) en unidades elegidas para K y período elegido para R.

**R:** Erosividad de la lluvia, que representa los factores de precipitación y escorrentía; Las precipitaciones observadas anualmente o durante un período específico corresponden a varias unidades del Índice de Erosión pluvial (EI). Cada evento (Ec) (correlación con el tamaño de las gotas) se calculó a partir de la intensidad de la lluvia anual multiplicada por la intensidad máxima a los treinta minutos (I30).

**K:** Sensibilidad del suelo a la erosión (t. MJ-1 .mm-1), que indica la sensibilidad de los suelos y determina las características físicas exclusivamente sujetas con la tasa de erosión. Caracteriza un suelo que es cohesivo y resistente al agrietamiento y la erosión debido a las gotas de lluvia y la escorrentía del agua. La pérdida por unidad para un suelo dado se midió en parcela de suelo típica (Con labranza continua, 22,13 m de largo, 9% de pendiente en).

**LS:** Representa a la topografía (sin escala) que determina el efecto del terreno sobre la erosión hídrica. Constituido por el coeficiente de longitud de pendiente (L) y el coeficiente de gradiente de pendiente (S). L es la pérdida de suelo en una determinada pendiente en comparación con la pendiente normal (22,13 m). S es la cantidad de deterioro de suelo dentro de cierta pendiente o pendiente normal de 9%, siendo iguales todos los demás factores.

**C:** Cobertura y manejo (adimensional), que es el control de la pérdida de suelo en relación a la misma área en barbecho que la cobertura y cultivo continuo.

**P:** Prácticas de conservación (sin escala), que es la cantidad de pérdida de suelo debido a prácticas de ayuda como cultivos alrededor, en terrazas, setos, etc., es decir, cultivos en terrenos inclinados. El factor principal es la Erosividad (factor R); comprueba la lluvia para la erosión. Su productividad se rige por las peculiaridades del terreno (largo y extensión de la pendiente, factor LS), características del suelo (solubilidad del suelo, factor K), clase de cobertura (factor C) y conservación (factor P).

Los tres primeros factores dependen de las condiciones naturales del sitio, pero en los factores C y P puede ser controlado por la actividad humana. Los primeros tres factores (R, K y LS) representan la brecha de agua. El potencial de la erosión hídrica actual con la adición de factores C y P.

#### **2.2.2.1.8. Método de Sternberg**

En transporte de sedimentos, el modelo tiene en cuenta el mecanismo de arrastre (tensión superficial) creado por el reflujo de agua sobre el sedimento, pero no tiene en cuenta la asociación molecular entre las partículas de sedimento. Este estudio no tiene en cuenta el transporte de sedimentos, limos y arcillas de grano fino. Cuando se depositan sedimentos finos, la cohesión molecular entre las partículas de sedimento evita que caigan al fondo o que sean arrancadas con relativa facilidad como un grano de arena, (Carl L. Amós, 1991).

El modelo de Sternberg (1972), basado en la teoría de Bagnold (1963), se utiliza para estimar el transporte de sedimentos por tracción:

$$(\rho_s - \rho)gq = K\rho u_*^3 \quad (1)$$

Donde:

$q$ : Flujo de sedimentos por unidad de longitud a través de la corriente (m<sup>3</sup>/seg/m).

$\rho$ : Densidad del fluido.

$\rho_s$ : Densidad del sedimento.

$u_*$ : es la velocidad de fricción (una medida de la fuerza de arrastre).

$K$ : Factor de escala para la capacidad del fluido para transportar sedimentos.

La definición de velocidad de fricción se basa en la ley de la potencia cuadrada de la velocidad:

$$\tau_o = c\rho u_z^2 \quad (2)$$

Donde:

$\tau_o$ : Fuerza por unidad de área ejercida por el líquido sobre el fondo.

$c$ : Constante de proporcionalidad adimensional.

$u_z$ : Velocidad promedio del flujo de agua a una distancia  $z$  del fondo.

Sternberg (1968) plantea la constante de proporcionalidad de (2) realizando en seis canales de marea, distintos experimentos, donde se midió la velocidad media a 100 cm del lecho. La constante de proporcionalidad adimensional se denomina coeficiente de arrastre  $c_{100}$ . Para fondo de arena natural  $c_{100} = 3 \times 10^{-3}$ ; de esta manera el trabajo de fondo toma la siguiente forma:

$$\tau_o = 3 \times 10^{-3} \rho u_{100}^2 \quad (3)$$

Si la densidad del líquido no se ve alterada en el flujo de agua, la eliminación de (3) para facilitar su uso permite:

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}} = 5.47 \times 10^{-2} u_{100} \quad (4)$$

$K$  vincula el transporte de sedimentos con la producción realizada por el fluido en el fondo, su estimación va acorde al tamaño de los granos de sedimento y la tensión relativa (la diferencia relativa entre la tensión del fluido del fondo y la tensión crítica requerida para mantener las partículas de sedimento en movimiento):

$$\log K = \frac{3.301}{C(\phi)} \cdot \frac{\tau_o - \tau_c}{\tau_c} - 2.301 \quad (5)$$

donde  $(\tau_o - \tau_c)/\tau_c$  es la tensión relativa, y la variable  $C(\phi)$  permanece constante para la magnitud de cada grano. El valor de  $C(\phi)$  se muestra en la **Tabla 3**.

**Tabla 3:** Valor del parámetro  $C(\phi)$  acorde al diámetro del grano,

$C(\phi)$	Diámetro (mm)	Diámetro (unidades $\phi$ )
11	0.19	2.39
10.7	0.28	1.83
4.45	0.45	1.15
1.5	0.93	0.1

**Fuente:** (Sternberg, 1972)

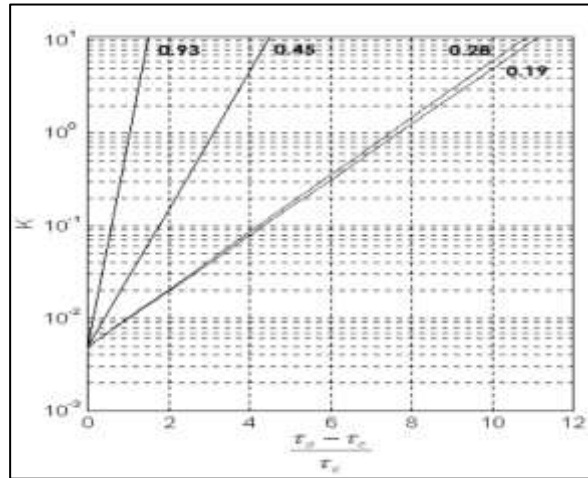
Las cantidades  $\phi$  son obtenidas a razón del diámetro del grano en mm, expresada como:

$$-\log_2 d = \phi$$

donde  $d$  es el diámetro del grano en milímetros. Por lo tanto, en el rango de granularidad de Wentworth, el margen de categoría consta de números enteros y las categorías están igualmente espaciadas.

K fue planteado por Sternberg (1972), quien ajustó una función logarítmica a referencias experimentales. Si los granos están comprendidos entre 0,19 mm, 0,28 mm, 0,45 mm y 0,93 mm, las estimaciones de K recomendados por Sternberg se detallan en **la Ilustración 6**. Es importante tener en cuenta, que, en un valor fijo de tensión relativa, el valor de escala K aumenta directamente proporcional al tamaño del grano.

**Ilustración 6:** Factor de escala  $K$  en función del esfuerzo relativo

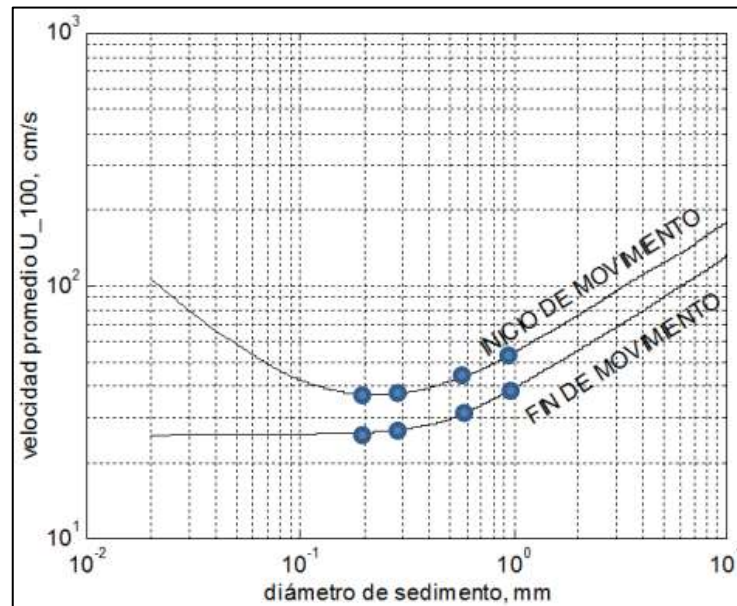


**Fuente:** (Sternberg, 1972)

Aunque la relación entre  $K$  y el tamaño de grano no fue explicada claramente por Sternberg (1972), el hecho de que los valores de  $K$  se hayan obtenido experimentalmente para dimensiones de grano sucesivos implica un flujo de agua dado más eficiente en el transporte de granos precipitados, probablemente porque tienen una mayor superficie en contacto con el líquido. Teniendo en cuenta el inicio de velocidad requerido para que las partículas de sedimento se muevan, la tensión crítica  $\tau_c$  se determina mediante la ecuación (6). La **Ilustración 7** muestra el umbral de velocidad determinado por Sternberg (1967, 1971) según el diámetro del grano. Los umbrales de velocidad de inicio son 37,2 cm/s, 37,35 cm/s, 40,48 cm/s y 52,52 cm/s para tamaños de grano de 0,19 mm, 0,28 mm, 0,48 mm y 0.93, respectivamente, (BIANCHI, 2011).



**Ilustración 7:** Umbral de velocidad en función del diámetro del grano



**Fuente:** Sternberg (1967, 1971)

Ya seleccionado la dimensión de partícula y la densidad, el proceso para determinar el transporte de sedimentos es:

- Calcular la fuerza  $\tau_0$  usando la ecuación (3) y cantidad de velocidad generada por el modelo hidrodinámico.
- Calcular la tensión crítica  $\tau_c$  mediante la ecuación (3) y la cantidad de velocidad a la que deja se inmoviliza el sedimento (resulta de la curva inferior del inicio de movimiento (Ilust. 7)).
- Usando la ecuación (5),  $K$  se calcula como una función de la fuerza relativa y el diámetro del grano.
- El coeficiente de la velocidad de fricción  $u_*$  resulta utilizando la ecuación (4).
- Obtenga el valor de  $q$  de la ecuación (1), que refiere el flujo de sedimentos por unidad de longitud a través de la corriente ( $m^3/seg/m$ ).
- La dimensión del grano y la densidad se conservaron sin cambios, correspondiendo a 0,19 mm, con una densidad de  $2,36 g/cm^3$ .

### 2.2.2.1.9. Método de Djorovic

La degradación específica se calcula evaluando varios parámetros identificados como representativos de cada uno de los factores definidos del proceso erosivo: lluvia, clima, topografía, suelo y vegetación, incluyendo este último, parámetro que evalúa el grado de impacto del proceso erosivo en la cuenca, la intensidad alcanzada y el principal tipo de erosión.

En este modo, Meyer (1969) lo define la erosión hídrica de una manera compuesta por cuatro subprocesos explicados por relaciones físicas e internas. El suelo se descompone debido a la lluvia, el suelo migra por salpicaduras, se descompone debido a la esorrentía y finalmente migra debido a la esorrentía.

El modelo de Djorovic se basa en parámetros de los procesos de erosión tales como: precipitación, clima, suelo, topografía y vegetación, para determinar la intensidad del proceso de erosión en las cuencas hidrográficas y los tipos de erosión dominantes, (LEÓN, 2009) .

$$W = T.F.H.\pi.Z^{1.5}$$

Dónde:

W = Caudal de sólidos (m<sup>3</sup>/año)

T = Factor en base a la temperatura anual.

F = Área de captación km<sup>2</sup>

H = Precipitación promedio anual (mm)

Z = Valor de erosión, plasma la intensidad y extensión del fenómeno de erosión cuenca y evaluar el predominio del suelo, la vegetación y los factores topográficos.

$$Z = y.x.(\theta + s^{0.5})$$

y = Es el valor de erosión del suelo adimensional

x = Factor adimensional que define la vegetación

$\theta$  = Estado de erosión cuantificado

s = pendiente media de la cuenca (m/m)

El valor Z se puede obtener según la clasificación del parámetro Cáustico:

I = erosión excesiva, Z: 1,01 – 1,50

II = erosión intensa, Z: 0,71 – 1,00

III = erosión moderada, Z: 0,31 – 0,70

IV = erosión moderada, Z: 0,22 – 0,40

V = baja erosión, Z: 0,01 – 0,19

El parámetro T está relacionado con la temperatura media anual, y la fórmula de cálculo es la siguiente:

$$T = \sqrt{0.1 * t + 1}$$

#### **2.2.2.1.10. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (MUSLE)**

Al validarse la formulación USLE y tratando de mejorar ciertas características, en 1972, Williams y Berndt formularon la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (MUSLE, siglas en inglés). La cual desarrolla la sedimentación en base a precipitaciones individuales, reemplazando un valor para la energía de precipitación (R) inserta un coeficiente para los escurrimientos, aplicando principalmente a zonas áridas y semiáridas.

$$Y_s = \alpha (Q_v q_p q)^{\beta} K L S C P$$

Donde:

$Y_s$  : Sedimentación en (Ton/tormenta).

$Q_v$  : Escurrimiento (acres-ft).

$q_p$  : Pérdida tope en (ft<sup>3</sup>/s).

$\alpha$  y  $\beta$ : Valores.

Además, puede determinarse la generación anual de sedimentos, variando el periodo de regreso. Las respuestas se obtienen en valores de concentración (ppm).

#### **Desventajas**

Las formulaciones mencionadas no tienen en cuenta la deposición de sedimentos en los caminos o erodabilidad en los canales. Por tanto, se utiliza la definición de tasa de descarga (DR). Los procedimientos USLE, MUSLE y PSIAC predicen las cargas de socavación, pero ignoran la carga del fondo utilizando la teoría del transporte de sedimentos. Por lo tanto, tanto la carga inferior como el volumen de lavado deben tenerse en cuenta para determinar la carga total. Para la profundidad, se utilizan los planteamientos de Meyer-Peter, y la integral de las

ecuaciones de Einstein para cargas suspendidas, teniendo en cuenta la fracción de proporciones del material. Se tienen otros modelos de regresión parecidos a los anteriores que tienen un enfoque más o menos similar, pero tienen limitaciones ya que están sujetas a la disponibilidad de datos.

Meyer y Monke investigaron la relación entre la erosión por escorrentía y pendiente, longitud del canal y tamaño de las partículas. Cuando Kilinc y Richardson analizaron los mecanismos de erosión mediante simulaciones de lluvia, tomaron el número de Reynolds como indicador, la pendiente, la intensidad de la corriente y el caudal (Simons D. B., 1992).

## **2.3. Definición de términos**

### **2.3.1. Factor de Erosividad**

Actualmente se va compilando un banco de datos mundial de erosión por precipitación con 3.625 estaciones dispuestas en 63 países. Este banco de datos global de erosión por precipitación a ~1 km se basa en el proceso de regresión gaussiana (GPR). A nivel mundial, la erosión por precipitación promedia 2190 MJ mm ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y generalmente manifiesta las condiciones climáticas. Los datos más altos que triplican el promedio se encontraron en América del Sur (en regiones amazónicas) y países del Caribe, África central, África occidental y el sudeste asiático. El Mapa de tasa de erosión global es tomado con la finalidad de llevar a cabo evaluaciones globales y continentales de la erosión hídrica, el peligro de inundación y la medidas ante desastres naturales (Colotti Bizarri, 1999).

El valor del coeficiente R, en USLE determina el impacto de las gotas de lluvia (dispersión del agua de lluvia) y brinda información sobre la cantidad y la velocidad de la posible escorrentía relacionada con la lluvia; no incluye el deshielo, el deshielo o la erosión por escorrentía del riego. En tales casos, hay otros factores a considerar y no serán considerados en este documento (Sabino Rojas, Felipe Obando, & Lavado Casimiro, 2017).

### **2.3.2. Producción y movimiento de sedimentos**

Debido a que sedimentación es equivalente al material erosionado de la cuenca, y dado que el proceso de escorrentía de aguas pluviales es la principal fuente de energía erosiva y transporte de partículas, encontramos que la producción de sedimentos se puede estimar hidrológicamente. Cuando aumenta la erosión en una cuenca, significa un aumento de los sólidos suspendidos en los canales que pueden asentarse en la columna de agua. Lo que reduce la potencia hidráulica en atravesar, almacenar y regular el depósito. Por otro lado, menos erosión en una cuenca significa menos afluencia a su sistema de drenaje, que puede reaparecer en el lecho del río como sedimentación. La erosión es un proceso de equilibrio que puede tener efectos positivos y/o negativos a medida que cambia. Es interesante predecir la cantidad de material erosionado naturalmente y los efectos asociados (Mercado Zarate, 2014).

En una cuenca, la producción de sedimentos incluye la cantidad de partículas de suelo que libera. Hay una relación entre la sedimentación de la cuenca y la hidrología, debido al principal medio de descarga de partículas es la escorrentía, muchas de las cuales llegan superficialmente y son el resultado del impacto en el suelo de las precipitaciones o la propia escorrentía, aunque también pueden proceder del viento, siendo este proceso más lento. El desarrollo de sedimentación en una cuenca va relacionada principalmente con el ciclo hidrológico, por lo que es necesario combinar la hidrología y la sedimentación para realizar estudios que analicen este fenómeno y evalúen el drenaje de los suelos de la cuenca (Ramírez León, 2009).

Distintos tipos de erosión dan origen a procesos sedimentarios. Solo pequeñas fracciones del material separado pasan a través de la cuenca y llega a salir. Los sedimentos restantes se depositaron en áreas entre colinas, llanuras aluviales y arroyos. Según Brooks et al. (1997) menos del 25% del sedimento producido se vierte al mar. El producto sedimentario, por otro lado, es originado por el flujo total de material de una cuenca, calculado en un momento específico (Vanoni, 1977). Generalmente se determina después del muestreo y se relaciona con el flujo del canal o se estima midiendo el sedimento descargado en el embalse, (Ramírez León, 2009).

Los sedimentos en una corriente dependen del suministro de material, características del canal, el flujo y las propiedades físicas. La disponibilidad y el desgaste del material dependen del clima, la topografía, la geología, la cubierta vegetal y el uso de la tierra de la cuenca. Las características del canal dependen de la morfología del canal, la pendiente, la rugosidad y el material del fondo. Por otro lado, las propiedades físicas de las partículas dependen del tipo de suelo, geología y condiciones climáticas de las cuencas y canales (Nájera, 2015).

### **2.3.3. Factor de cobertura vegetal**

El valor de erosionabilidad (C) de la vegetación representa la conexión entre el deterioro de suelo de tierra cultivada y suelo virgen. Esta pérdida se produce en suelos sin cultivo y en suelo desnudo se obtiene multiplicando el RKLS, es decir,  $C=1$ . En tierras cultivadas la erosión es baja mayormente y la cantidad depende de la combinación con la cubierta vegetal. Durante el crecimiento del cultivo también tiene un efecto, por lo que C cambia con el tiempo, debido a que está relacionado con la precipitación, C varía según la ubicación (Tánago, 1991).

El estudio de la cobertura vegetal permite la creación de áreas en función de las especies presentes y la determinación del grado de densidad que, dependiendo de la zona, tiene un alto grado de riesgo de erosión. Los patrones de cobertura vegetal varían entre las ecorregiones. En laderas y taludes donde la cobertura del suelo es poco profunda y rocosa, solo se encuentran pastos y arbustos nativos dispersos, (Mercado Zarate, 2014).

Para encontrar el valor de C de cada año, debe obtenerse el porcentaje de cobertura vegetal para cada cultivo bajo específicas condiciones de manejo. La cobertura asignada a cada etapa del cultivo está influenciada por la cantidad acumulada del índice de erosión R. El porcentaje acumulado del producto da como respuesta el valor medio anual de C, (Mercado Zarate, 2014).

#### **2.3.4. Utilización del suelo**

Actualmente, los patrones inadecuados de uso de la tierra (expansión de pastos, recolección de leña, quemadas incontroladas) son las principales causas de una grave degradación. Las influencias socioeconómicas aceleran los procesos de erosión al interrumpir las complejas interacciones entre el desarrollo de las plantas, la formación de suelo y procesos erosivos. La destrucción del suelo y la vegetación se relaciona con los principales indicadores físicos de degradación, tipos de flora que se encuentran en el país, las condiciones bajo las cuales existen y los tipos de operaciones agrícolas y forestales (Valdez Tumi, 2014).

#### **2.3.5. Partículas del suelo**

Según (Wischmeir y Smith, 1978) dice: Se determina la velocidad de caída acorde al diámetro de las partículas, que a su vez está determinada por la floculación, que permite estimar el coeficiente utilizando cinco parámetros, (LEÓN, 2009):

1. Porcentaje de limo y arena muy finos de 0,002-0,10 mm de diámetro.
2. Contenido de arena, diámetro de partícula 0,10-2,0 mm.
3. Porción de materia orgánica.
4. Forma del suelo
5. Permeabilidad.

#### **2.3.6. Precipitación promedio anual**

La precipitación inducida por las gotas de lluvia es el principal medio de desalojar partículas y agregados del suelo (Morgan, 2005), mientras que el flujo los moviliza, aunque en forma concentrada también tiene la capacidad de desprender, (Ares, 2014).

Dado que los fenómenos hidrológicos, en especial la precipitación, están directamente relacionados con la formación y transporte de sedimentos, su seguimiento, investigación y análisis son de gran importancia en la realización de diversas tareas de diseño y seguimiento de la eficiencia de los embalses y su proceso de operación puesto en servicio. Por lo tanto, se requiere una serie de

acciones coordinadas para lograr el objetivo propuesto de establecer una red de puntos de monitoreo de lluvia en la cuenca (si es posible) que funcione correctamente y genere información de alta calidad para su uso adecuado, así como identificar los puntos existentes o sitios cercanos y obtener sus registros, (Carmen, 2015).

### **2.3.7. Temperatura promedio anual**

En el área de estudio, al evaluar las características climáticas, analizaron información sobre la altura, ancho y tipo de desarrollo de la vegetación en las estaciones meteorológicas representativas de las inmediaciones de la zona. Al evaluar los principales parámetros meteorológicos como temperatura, humedad relativa, precipitación, dirección del viento y velocidad promedio del viento vienen a ser información de las estaciones meteorológicas ubicadas cerca del área del proyecto, (CESEL Ingenieros, 2013).

### **2.3.8. Escorrentía promedio anual**

Según (VEN TE CHOW, 1994), la escorrentía es la parte de la precipitación que proporciona un flujo de agua continuo o intermitente al flujo de agua superficial de la cuenca. Dependiendo de la fuente, existen diferentes tipos de escorrentía: a) escorrentía superficial, b) escorrentía subterránea o subterránea, y c) escorrentía subterránea.

#### **- La Escorrentía Superficial**

Son precipitaciones que llegan a la superficie de la red de drenaje bajo la influencia de la gravedad sin infiltración. Esto corresponde a una precipitación que tampoco se deposita en depresiones en el suelo, y no hay evaporación.

#### **- Escorrentía Hipodérmica o Subsuperficial**

El agua de lluvia que se infiltra en el suelo se desplaza casi horizontalmente a lo largo del borde superior, reaparece repentinamente a la intemperie en forma de manantiales y se une a surcos poco profundos que la conducen a diferentes conductos.



#### - Escorrentía Subterránea

Las precipitaciones llegan al nivel freático, y desde ahí circulan hasta entrar en la red de drenaje. La escorrentía superficial es la más veloz, a comparación de la escorrentía subterránea que es la más lenta (medida en metros por hora).

El coeficiente de escorrentía no es fijo, varía con el tiempo y el espacio dentro de la misma cuenca. En general, se utiliza el valor medio de los coeficientes. El coeficiente medio en un intervalo de tiempo se define como la conexión entre la precipitación neta y total, en el intervalo de tiempo correspondiente.

#### **2.3.9. Factor topográfico de la cuenca**

La longitud y su pendiente afectan significativamente la pérdida de suelo. La topografía es uno de los factores más influyentes en la sedimentación del grupo de cuencas (Sabino Rojas, Felipe Obando, & Lavado Casimiro, 2017), entre ellos se presenta:

**L:** Factor de longitud de la pendiente, representa su intervención en la erosión (adimensional).

La longitud de la pendiente se refiere a la distancia del punto de origen del flujo de escorrentía superficial hasta la concentración o depósito del flujo fuera del cuerpo. Afortunadamente, los valores de pérdida de suelo no son particularmente sensibles a su longitud, y las diferencias de 0-10% no son significativas en la mayoría de las pendientes.

**S:** Inclinação de la pendiente. Indica la intervención de la pendiente sobre la erosión. En laderas muy empinadas, la erosión aumentó rápidamente. Entre la pérdida de suelo y el gradiente, la relación se ve afectada por la densidad de la cubierta vegetal y el tamaño de sus partículas.

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

Al realizar el cálculo para determinar la erosión o pérdida de suelo en la cuenca Zaña, se logrará hacer el estudio de los planteamientos para la estimación y comparación de resultados en sedimentación.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- En la realización del presente estudio, es importante tener datos de vegetación, clima, topografía, uso del suelo y modelos de elevación digital, para un mejor seguimiento de los procesos a lo largo del tiempo en un punto de la cuenca.
- Si hacemos uso de modelos computacionales, la evaluación de información será más precisa y facilitará el desarrollo de la investigación.

## **2.5. Variables**

Una variable se puede manipular para transformar un concepto abstracto en un concepto empírico que se puede medir con un instrumento. Este paso es importante porque si un investigador sin experiencia no está familiarizado con la variable que desea medir, puede evitar pérdidas o errores que suelen ocurrir en un proyecto de investigación, perdiendo así *el valor* (el grado en que una medición empírica refleja una dimensión conceptual) (LÓPEZ).

### **2.5.1. Definición conceptual de la variable**

- **Estimación de la erosión o sedimentación en la cuenca del río Zaña**

Los resultados obtenidos son calculados a partir de los métodos empíricos o numéricos, los cuales se pueden expresar en cantidades anuales o por vida útil de alguna estructura hidráulica.

- **Análisis y comparación de los métodos teóricos y numéricos aplicados a este estudio**

En análisis y comparación, se deben tener en cuenta los resultados de los métodos empíricos y numéricos, es importante considerar datos de

factores como la vegetación, el suelo y el uso que tiene, los cuales conllevan a un resultado más concreto.

### 2.5.2. Definición operacional de la variable

#### - Estimación de la erosión o sedimentación en la cuenca del río Zaña

Utilizado para describir fenómenos naturales, tales como: zonas de peligro, depósitos de sedimentación en el trayecto del río o a nivel de cuenta.

#### - Análisis y comparación de los métodos teóricos y numéricos aplicados a este estudio

Son términos que expresan el daño potencial, como consecuencia de alguna probabilidad que suceda causando daños inminentes, motivo por el que se pueda analizar o medir el grado de dicho acontecimiento.

### 2.5.3. Operacionalización de la variable

**Tabla 4:** Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Indicadores
<b>ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN O SEDIMENTACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO ZAÑA.</b>	Se utiliza para describir fenómenos naturales, tales como: zonas de peligro, depósitos de sedimentos en el trayecto del río o a nivel de la cuenca.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Clima</li> <li>- Suelo</li> <li>- Vegetación</li> <li>- Modelo de elevación digital (DEM)</li> </ul>
<b>ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS TEÓRICOS Y NUMÉRICOS APLICADO A ESTE ESTUDIO.</b>	Es un término para expresar el daño potencial, entendiéndose como consecuencia que puede ocurrir en caso de que con el transcurso del tiempo erosione y pueda dar una cantidad que cause daños inminentes, independientemente es el motivo por el cual se pueda evaluar o medir el grado de dicho caso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fenómenos catastróficos.</li> <li>- Zonas críticas</li> <li>- Daños materiales</li> <li>- Daños al medioambiente</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia

## CAPITULO III: METODOLOGIA

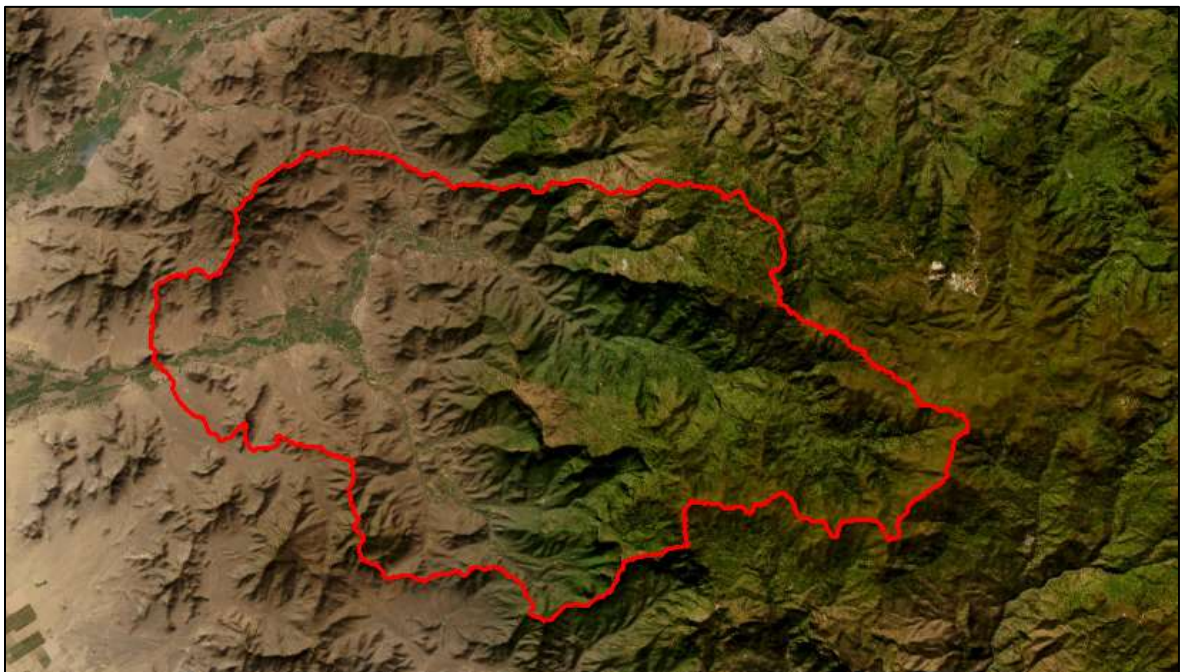
### 3.1. Tipo y nivel de investigación

Es descriptiva y explorativa, presenta una forma real de las diferentes cuencas que conforman todo el sistema de ríos del Perú, cuyos métodos nos permiten de manera rápida describir los parámetros de erosión y mostrar aquellas zonas de riesgo dentro de la zona que está en estudio, así mismo se dice explorativa; debido a que no se han realizado estudios basados en dichos métodos dentro de la cuenca media del río Zaña

### 3.2. Descripción del ámbito de la investigación

La investigación o estudio que se determinó utilizando el sistema de recopilación de imágenes satelitales obtenidas de la página científica USGS - NASA, y analizadas en software SIG, ArcGis 10.5, facilitándonos transformar un perfil de la topografía adecuada y así culminar con nuestro proyecto.

**Ilustración 8:** Ámbito de estudio del proyecto



**Fuente:** Arcmap 10.5

### **3.2.1. Ubicación**

La cuenca media del río Zaña está ubicada en el distrito de Zaña, zona norte del Perú que forma parte de la Cuenca Hidrográfica del Río Zaña en la Vertiente del Pacífico, las coordenadas geográficas se encuentran entre los paralelos 06°46' y 07°06' Latitud Sur y Meridianos 78°54' y 79°44' Longitud Oeste, presenta además altitudes que van desde los 0.00 a 4000 msnm.

### **3.2.2. Extensión**

La zona de estudio presenta un área promedio de 1271.87 km<sup>2</sup>, el cálculo de la pérdida de suelo, también puede estimarse en la zona de afectación o de riesgo dentro de la sub cuenca.

## **3.3. Población y muestra**

### **3.3.1. Población**

Según (ARIAS, 2006), la describe como un conjunto limitado o ilimitado de elementos con propiedades repetitivas que son el foco del estudio. En relación a esta problemática y a los objetivos de investigación del proyecto de investigación, se asume que se puede resumir de la siguiente manera:

- La cuenca Zaña ubicada en la provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque y colindante con el departamento de Cajamarca.

### **3.3.2. Muestra**

Según (ARIAS, 2006), explica que una porción representativa y limitada de la muestra está disponible para la selección, el propósito de la muestra es utilizar dos tipos básicos (probabilidad y no probabilidad) de métodos y procedimientos de muestreo para este proyecto de investigación:

- Comparación de los cálculos estimados por los métodos empleados para el cálculo de la sedimentación en la zona o área de estudio.

### **3.4. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos**

#### **3.4.1. Técnicas**

Necesitamos de ciertas técnicas indispensables para desarrollar la investigación, esto conllevará a una mejor organización. Para la realización de la tesis, se consideraron dos técnicas: de gabinete y de campo, en la primera compilamos data que sustenta los procesos de la tesis y el segundo permite hacer una determinada observación directa hacia el objetivo y el lugar de estudio que forma parte de nuestra investigación.

#### **3.4.2. Instrumentos**

- ArcGis 10.5
- Microsoft Office Excel
- HidroCALC
- Data meteorológica

#### **3.4.3. Equipos y materiales**

- Equipos de topografía
- GPS

### **3.5. Validez y confiabilidad del instrumento**

#### **3.5.1. Validación del instrumento**

- **Validación del contenido:** Al realizarse la recolección de datos, se tiene en cuenta bibliografía y softwares especializados en dicha materia, los cuales están altamente calibrados para este tipo de estudios que a su vez tienen antecedentes de haber sido usados.
- **Validación de criterio:** Se realizó una comparación de los cálculos con diferentes métodos para el cálculo de erosión, lo cual se hizo su validez con alguna información dada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

#### **3.5.2. Fiabilidad del instrumento**

Nos basamos en estudios anteriores relacionados a nuestro ámbito, que tienen etapas o procesos de campo y gabinete.

### **3.6. Plan de recolección y procesamiento de datos**

La obtención y los procesos de la investigación se plantearon así:

#### **3.6.1. Recolección de datos**

Obtención de imágenes satelitales y un análisis meteorológico de la zona de embalse, así mismo la obtención de datos hidrológicos brindados por la Administración Local del Agua (ALA) - Zaña y la junta de usuarios que nos facilitó la data meteorológica de la zona de estudio.

#### **3.6.2. Procesamiento de datos**

- **ArcGis 10.5:** Software especializado en información geográfica, usado para realizar mapas, planos de presentación y cálculos hidrológicos, cuyos resultados tienen muy buena precisión en los diferentes tipos de estudios obtenidos.
- **Microsoft Excel 2022:** En este programa se utilizó para nuestros cálculos y cuadros que se tenía que realizar dentro de nuestro proyecto de investigación, ya que es muy sutil al momento de usarlo.

## CAPITULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Parámetros morfométricos

Generalmente, los parámetros geomorfológicos están relacionados con la respuesta de la subcuenca a las precipitaciones para el estudio de la escorrentía en superficie. Los factores son: superficie, perímetro, distancia del cauce principal, factor de compacidad, factor de morfología, altura promedio e inclinación promedio, etc., utilizando información de la escala 1/100 000 de la página del IGN, todo ello fue evaluado en el software HidroCALC de (UNU INGENIEROS, 2014).

**Tabla 5:** Datos Generales

Área	1271.87
Perímetro	188310.74
Long. máx.	81.847
Orden de ríos	6

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 6:** Morfología

Coeficiente de compacidad	1.478
Factor de morfología	0.190
Inclinación de la cuenca	0.3184
Altura media	1456.2 m
Pendiente del cauce principal	1456.22
Ancho promedio	15.54 km
Altitud más frecuente	300
Coeficiente de masividad	0.001
Coeficiente orográfico	0.002
Rectángulo equivalente	a= 16.346m
	b= 77.809m

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 7 :Fisiografía**

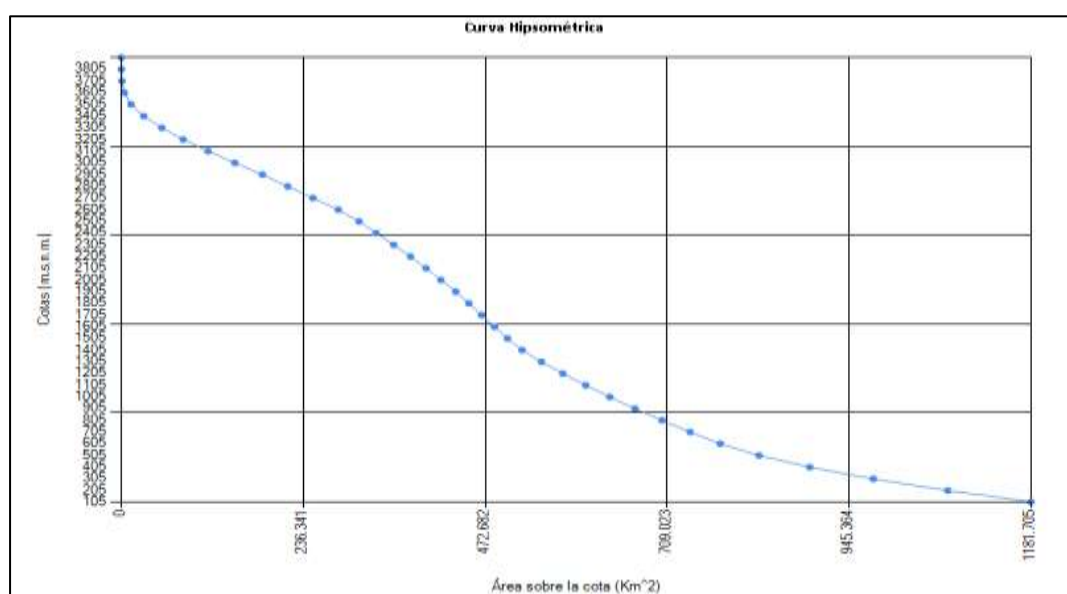
Relación de confluencias	1.885
Relación de longitudes	0.960
Densidad de drenaje	2.198
Frecuencia de ríos	5.641
Tiempo de concentración	5.3 hr

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.1.1. Curva hipsométrica

En la **Ilustración 9**, se detalla la curva hipsométrica. Puede concluirse que la microcuenca se encuentra madurando ya que presenta colinas medias; tiene una mayor variedad altimétrica, lo cual se describe como proceso de desgaste en la zona alta de la cuenca.

**Ilustración 9:Curva hipsométrica**

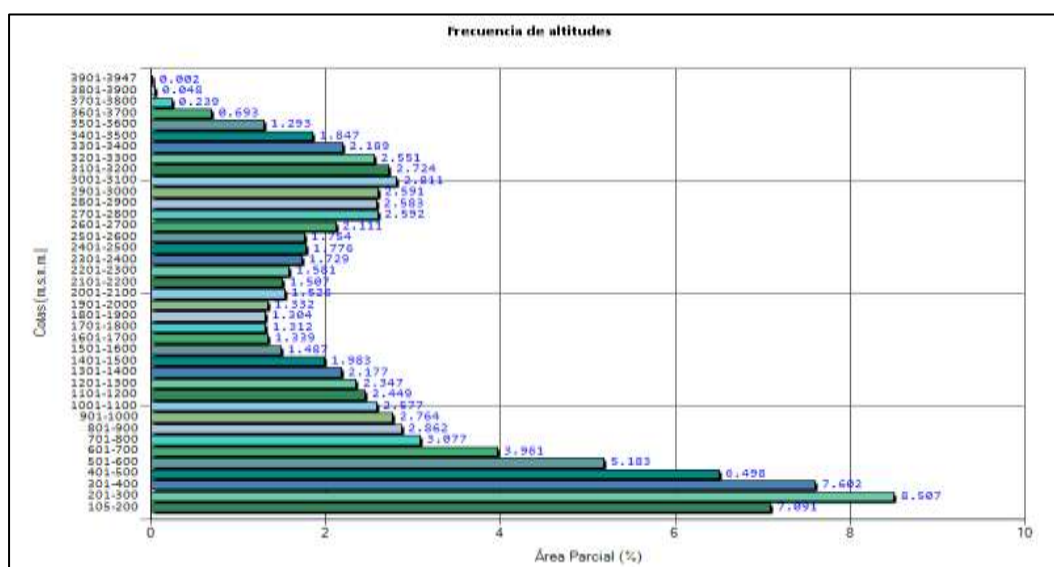


**Fuente:** HydroCALC

#### 4.1.2. Frecuencia de altitudes

En el estudio de la sub cuenca del río Zaña, la zona geográfica es descrita como un proceso de transición, que facilita fijar un punto interior entre la zona de montañosa y llana, generada por la descripción morfométrica, con inclinaciones y su volumen consta de areniscas y cantos rodados.

## Ilustración 10:Frecuencia de altitudes



Fuente: HidroCALC

### 4.1.3. Tiempo de concentración

Calculamos el tiempo de concentración en la cuenca, utilizando diferentes métodos, obtuvimos resultados del software HidroCALC descritos en la **Tabla 8**.

**Tabla 8:** Tiempo de concentración por diferentes métodos

Metodología	TC (min)	Número de parámetros
Kirpich	522	2
Temez	318	2
Giandiotti	456	4
TC adoptado 432 min		

Fuente: Elaboración propia

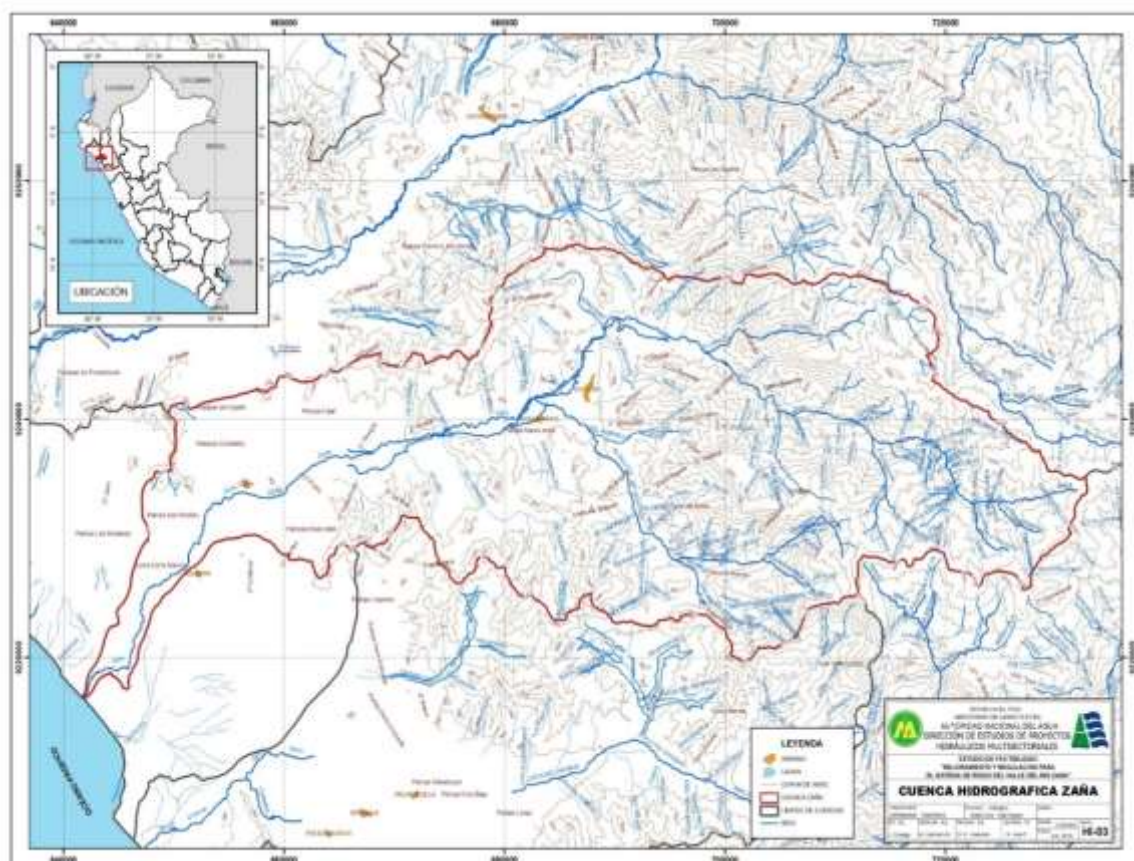
## 4.2. Hidrografía del ámbito de estudio

El cauce medio del río Zaña, conforma el cauce hidrográfico de Zaña, cuya área total es de 1754,7 km<sup>2</sup>, desde donde se origina hasta el término de su recorrido en el océano.

El río Zaña, integrado por los ríos Udimá (2555 msnm), Nanchoc (400msnm) y Zaña (58 msnm), la máxima altura de las zonas montañosas en la cuenca receptora es de 3800 msnm.

El río UDIMA, nace al unirse las quebradas de Totorá y Tauro, cuya área es de 124,20 km<sup>2</sup>, su distancia es de 27,7km, con una pendiente media de 10,84%, una altura promedio de 2 417,5 msnm, valor de compacidad de 1,43 y un coeficiente de forma de 0,17, desembocando en el río Zaña del poblado El Espinal.

**Ilustración 11:** Hidrografía de la Cuenca del Río Zaña



**Fuente:** Autoridad Nacional del Agua

### 4.3. Investigación de datos de precipitación

#### 4.3.1. Elección de estaciones de influencia

Luego de seleccionar las estaciones de influencia se usó el método de Isoyetas para poder determinar la influencia de cada una de ellas, teniendo así dos estaciones con influencia sobre la sub cuenca.

**Tabla 9:** Estaciones hidrometereológicas en la sub cuenca de estudio

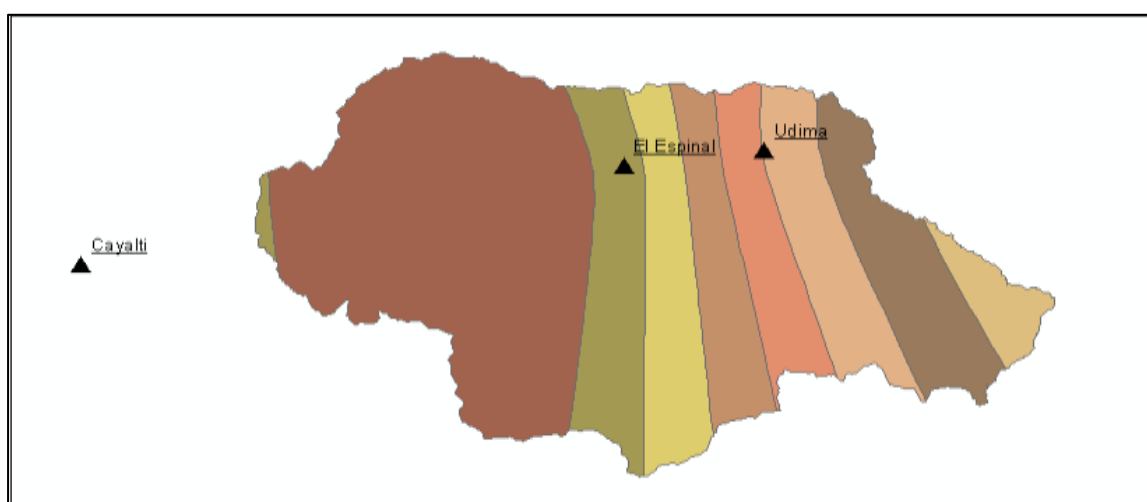
Código	Nombre	Categoría	Coordenadas				Altitud msnm
			X		Y		
106042	Cayaltí	Meteorológica	6°52'50.86"	S	79°32'49.25"	W	90
106068	Udima	Meteorológica	6°48'53.08"	S	79°5'37.56"	W	2466
106055	Espinal	Meteorológica	6°49'22.75"	S	79°11'12.90"	W	496

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4.3.2. Precipitación media de la sub cuenca del río Zaña

Para obtener la precipitación media de nuestra área de estudio se tuvo que realizar por el método de isoyetas ya que en ella tenemos información de las estaciones ya mencionadas anteriormente como se puede apreciar en la siguiente imagen y cuadro.

**Ilustración 12:** Método Isoyetas – Sub cuenca del río Zaña



**Fuente:** ArcMap 10.5

**Tabla 10:** Resultado de la precipitación media

<b>MÉTODO DE ISOYETAS</b>					
VALUE	MIN	MAX	PROMEDIO	AREA (KM2)	AREA*PROMEDIO
1	45.8	229.8	137.8	527.5	72687.6
2	229.8	413.9	321.9	138.7	44656.8
3	413.9	598.0	505.9	123.2	62312.4
4	598.0	782.0	690.0	102.9	71013.7
5	782.0	966.1	874.1	93.2	81455.6
6	966.1	1150.2	1058.1	115.7	122439.5
7	1150.2	1334.2	1242.2	128.5	159592.1
8	1334.2	1479.0	1406.6	42.2	59295.0
<b>TOTAL</b>				<b>1271.9</b>	<b>673452.7</b>
<b>PRECIPITACIÓN PROMEDIO</b>					<b>529.5</b>

**Fuente:** Elaboración propia – Excel 2022

#### 4.4. Aplicación de los métodos empíricos

##### 4.4.1. Aplicación con los Métodos Teóricos

Se usaron los métodos de Gavrilovic, Djokovic, Stenberg y USLE, para cuantificar la producción de sedimentos, estos métodos responden a la sedimentación por evento determinado de manera anual o vida útil de alguna estructura Hidráulica.

- **Aplicación del Método Teórico Gavrilovic:** Hallando los factores descriptivos.

#### Resultados Obtenidos

##### Volumen promedio anual erosionado de sedimentos (m3/año)

$$W = F * T * h * \pi * z^{\frac{3}{2}}$$

$$F = 1271 \text{ km}^2$$

$$T = 1.58$$

$$h = 529$$

$$\pi = 3.1415$$

$$Z = 0.38$$

### Factor de erosión

$$Z = x * y * (\phi + S^{0.5})$$

$$X = 0.5$$

$$Y = 1.2$$

$$\phi = 0.3$$

$$S = 0.3178$$

$$Z = 0.38$$

### Cálculo de la pendiente de la cuenca

$$S = \frac{\Delta h * \Sigma L_{cn}}{A}$$

$$\Delta h = 1 \text{ m}$$

$$\Sigma L_{cn} = 404295570.3 \text{ m}$$

$$A = 1271.87 \text{ km}^2$$

$$S = 0.318$$

### Tasa de arrastre

$$\text{Tasa de arraste}' = \text{Tasa de arrastre} * \gamma$$

$$\text{Tasa de arrastre} = 620.72 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{año}$$

$$Y' \text{ (Peso específico del sedimento)} = 1.5 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Tasa de arraste}' = 931.08 \text{ tn/km}^2/\text{año}$$

### Peso total erosionado

$$\text{Peso total erosionado} = N * A * \text{Tasa de arrastre}$$

$$Y'(A) = 931.08 \text{ ton/km}^2/\text{año}$$

$$\text{Tasa de arrastre} = 620.72 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{año}$$

$$\text{Peso total erosionado} = 118422.049 \text{ ton}$$

## Volumen total erosionado

$$\text{Volumen total erosionado} = \frac{\text{Peso total erosionado}}{\text{peso específico}}$$

$$Y' \text{ (Peso específico del sedimento)} = 1.5 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Peso total erosionado} = 118422.049 \text{ ton}$$

$$\text{Volumen total erosionado} = 789480.3 \text{ m}^3/\text{año}$$

- **Aplicación del Método Teórico DJOROVIC:** Siguiendo el análisis desarrollado en la Ecuación, en el siguiente cuadro:

**Tabla 11:** Parámetros usados en el método de DJOROVIC

<b>SEDIMENTOS</b>
<b>MODELO DJOROVIC</b>
El modelo Djorovic está definido por la siguiente ecuación:
$W = T * F * H * \pi * Z^{1.5}$ $T = \sqrt{\frac{to}{10} + 1}$
Donde:
W: caudal sólido (m <sup>3</sup> /año), como medida de una degradación de una cuenca
T: factor en función de la temperatura media anual
to: temperatura media anual de la cuenca en °C
F: área de la cuenca en km <sup>2</sup>
H: precipitación media anual en mm
Π: 3.14159
Z: coeficiente de erosión que refleja la intensidad y extensión del fenómeno erosivo de una cuenca y valoriza la influencia de los factores de suelo, vegetación y relieve

**Fuente:** Elaboración propia

Nota: Los coeficientes de Z, son obtenidos en base a una clasificación de procesos erosivos en las siguientes cinco categorías:

**Tabla 12:** Categorías de los valores de Z

I.	Erosión excesiva, Z de 1,01 a 1,50
II.	Erosión intensiva, Z de 0,71 a 1,00
III.	Erosión media, Z de 0,31 a 0,70
IV.	Erosión moderada, Z de 0,20 a 0,30
V.	Erosión baja, Z de 0,01 a 0,19

**Fuente:** Elaboración propia

Lo cual se obtiene los siguientes resultados en el siguiente cuadro:

**Tabla 13:** Resultados de la fórmula de Djorovic

F =	1271.87	Km <sup>2</sup>	Área de la cuenca
H =	529.50	mm	Precipitación media anual de la cuenca
t <sub>o</sub> =	15	°C	Temperatura media anual de la cuenca
T =	1.581		Factor de temperatura
Z =	1271.8976		Coeficiente de erosión
<b>W:</b> Caudal sólido (m <sup>3</sup> /año), como medida de la degradación específica de una cuenca.			
<b>W =</b>			
		<b>406,487.92</b>	<b>[m<sup>3</sup>/año]</b>

**Fuente:** Elaboración propia



- **Aplicación del Método Teórico STEMBERG:** Analizando el procedimiento de la Ecuación:

**Tabla 14:** Resultados de la fórmula de Stenberg

ESTIMACIÓN DE SEDIMENTOS EN EL PUNTO DE AFORO SEGÚN STEMBERG					
$Q_s = e^{\alpha \cdot x}$					
	Tipo de suelo de la cuenca				
	La intensidad de precipitación				
	La cubierta vegetal				
	La pendiente de la cuenca				
	Las redes de drenaje de la cuenca				
Por tanto el estudio realizado en el Perfil del Proyecto, sedimentación propia de la cuenca fue calculada por la siguiente expresión:					
	<b>Precipitación media de la cuenca (mm)</b>			<b>529.6</b>	
Entonces la aproximación del caudal de sedimentos según Stenberg es:					
	<b>Qs</b>	<b>299.89</b>	<b>(m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/año)</b>		

**Fuente:** Elaboración propia

- **Aplicación del Método USLE:** Continuando el análisis realizado en la Ecuación universal de USLE:

$$E = R * K * LS * C * P$$

Tenemos:

$E$  = Daño del suelo por año ( $Tn/ha$ ).

$R$  = Coeficiente de Erosividad pluvial ( $J.m^{-2}.cm.h$ ).

$K$  = Coeficiente de Erosionabilidad del suelo ( $Tn.m^2.h / (ha.J.cm)$ ).

$L.S$  = Coeficiente topológico que está en función a la pendiente y longitud de declive.

$C$  = Coeficiente de cobertura vegetal

$P$  = Coeficiente de prácticas de conservación

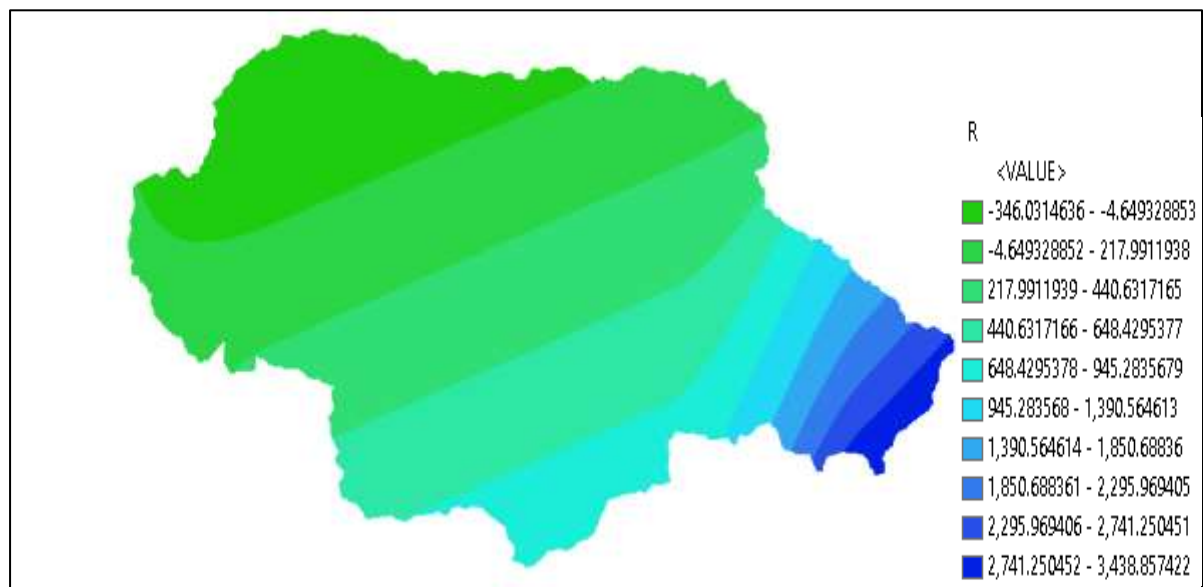
Los coeficientes  $L.S$ ,  $C$ , y  $P$  son adimensionales.

Resultados por el método USLE:

Factor de Erosividad pluvial ( $R$ ) $J.m^{-2}.cm.h$
--

Donde se aprecia los valores de Erosividad pluvial a lo largo de la cuenca.

**Ilustración 13: Factor R - USLE**

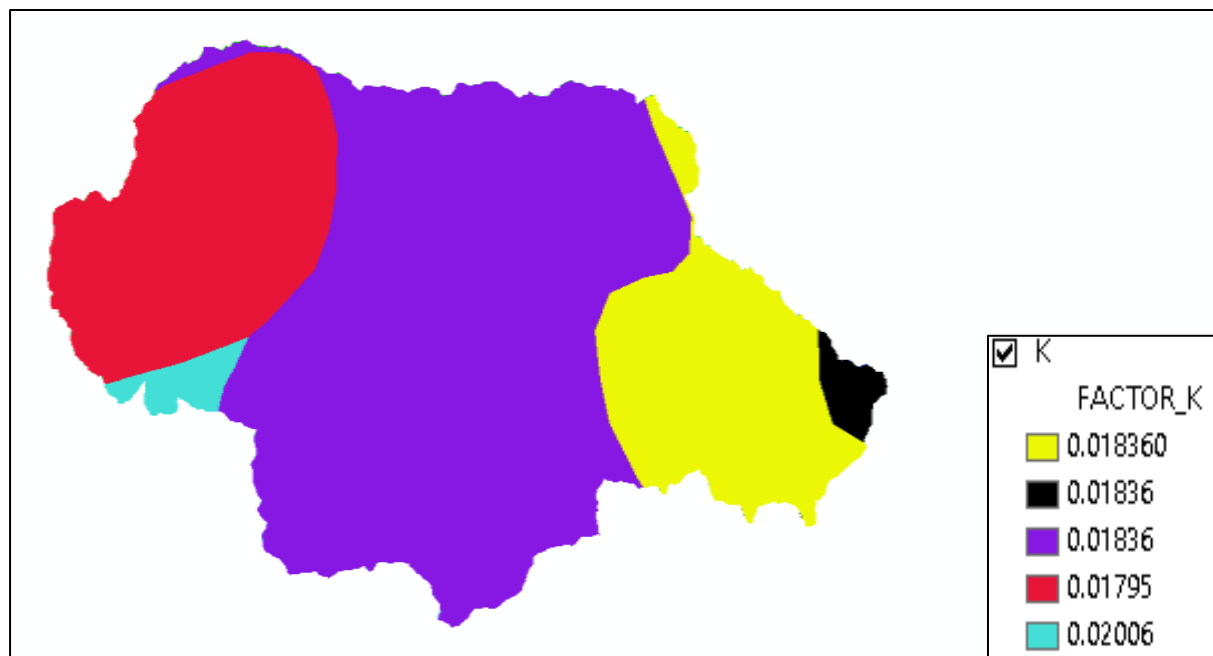


**Fuente:** Arc-Map 10.5

Factor de Erosionabilidad del suelo (K)  $Tn.m^2.h/ a.J.cm$

Agente topológico que está en función a la pendiente y distancia de declive

**Ilustración 14:** Factor K - USLE

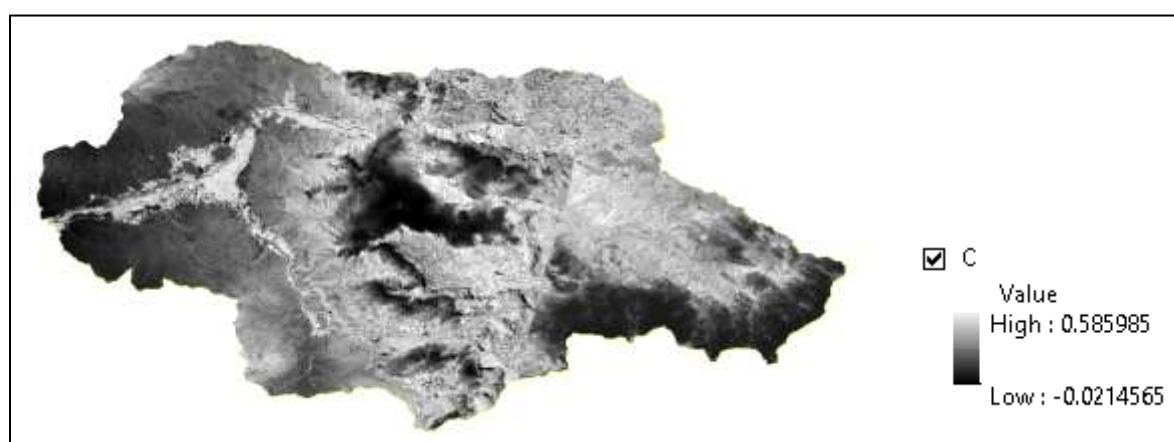


**Fuente:** Arc-Map 10.5

Factor de cobertura vegetal (C)

Representa un coeficiente adimensional sobre la vegetación que ocupa el suelo de nuestra sub cuenca.

**Ilustración 15:** Factor C - USLE

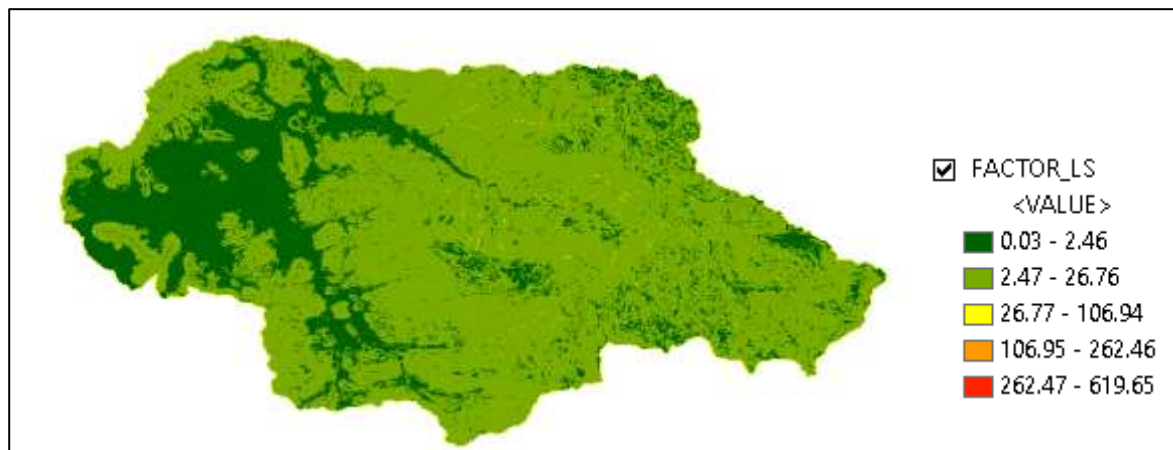


**Fuente:** Arc-Map 10.5

### Factor topológico (L.S)

L y S son considerados como factores topológicos, utilizan un modelo de elevación digital y un mapa de pendientes, puede calcularse celda a celda los valores de LS.

**Ilustración 16:** Factor LS - USLE



**Fuente:** Arc-Map 10.5

### Factor de prácticas de conservación (P)

Representa la relación del deterioro de suelo con prácticas de conservación específica.

(P)= 1.0, según C. T. Haan

### Pérdida anual del suelo:

Respecto al resultado del método USLE que se desarrolló con ayuda de los SIG, como se observa el resultado siguiente:

Valor anual = 1 años

Peso específico = 1.5 tn/m<sup>3</sup>

Peso = 628934.7 tn

Vol. = 419289.78 m<sup>3</sup>

Eficiencia de retención = 95%

Valor Final 398325.29 m<sup>3</sup>/año

**Tabla 15:** Promedio de resultados de erosión para un determinado tiempo

<b>Método</b>	<b><math>m^3/km^2/año</math></b>	<b><math>m^3/año</math></b>
Gavrilovic	620.72	789480.3
Djorovic	319.599	406487.92
Stemberg	299.239	380665.70
USLE	313.181	398325.29
<b>Promedio</b>	<b>388.18475</b>	<b>493739.8025</b>

**Fuente:** Elaboración propia

Cada una de estas ecuaciones presenta enfoques y consideraciones específicas para estimar la pérdida de suelo debido a la erosión. Aquí hay una breve reseña de las diferencias clave entre ellas:

**Ecuación de Gavrilovic:**

- Desarrollada por el científico serbio M. Gavrilovic.
- Se centra en la erosión hídrica y utiliza factores como la pendiente del terreno, la longitud de la pendiente y la cobertura vegetal para calcular la pérdida de suelo.

**Ecuación de Stemberg:**

- Propuesta por el investigador alemán Stemberg.
- Considera la influencia de factores climáticos, topográficos y de uso del suelo en el proceso de erosión.

**Ecuación de Djorovic:**

- Desarrollada por el científico serbio D. Djorovic.

- Se enfoca en la erosión del suelo causada por el escurrimiento superficial y tiene en cuenta parámetros como la pendiente, la longitud de la pendiente y la infiltración.

**Ecuación de USLE (Universal Soil Loss Equation):**

- Diseñada por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (USDA).
- Es una de las ecuaciones más utilizadas a nivel mundial.
- Considera factores como la erosividad de la lluvia, la erosividad del suelo, la longitud de la pendiente, la pendiente y las prácticas de conservación del suelo.

## **CAPITULO V: DISCUSION**

Los resultados fueron determinados por medio de las estaciones meteorológicas brindadas por Senamhi los cuales se asemejan a los cálculos del estudio Hidrológico de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) del río Zaña.

Los métodos empíricos y computacionales son dependientes de muchos factores como es el uso de suelo, vegetación, factor de lluvia, factor de pendiente, etc., lo cual en nuestro estudio pudimos recurrir a la información del MINAN que es el Ministerio del Ambiente para determinar mencionados factores.

El punto de depósito o de aforo de nuestra Sub cuenca, para el cálculo de nuestra tasa de sedimentos se propuso dentro de la jurisdicción del distrito de Oyotún ya que el cambio de pendiente en esa zona de la cuenca empieza a cambiar de una manera más abrupta, ahí se genera la erosión con una mayor frecuencia y más arrastre debido a las altas pendientes.

Teniendo como principal agente a la erosión se hizo una comparación con el uso de diferentes métodos empíricos, usamos< métodos tradicionales y el método USLE, brindada por la FAO donde encontramos una cercanía en los resultados de los métodos mencionados.

Dentro de nuestra sub cuenca de estudio ubicada dentro del valle de Zaña realizamos un plano de zonas con diferentes escalas de erosión los cuales nos pudimos dar cuenta que los excesos de riesgos en perdida de suelo dentro de nuestra zona estudio.

Algunas de las posibles implicaciones para los usuarios de la cuenca incluyen:

- Calidad del Agua: La sedimentación puede afectar la calidad del agua al introducir sedimentos y partículas en suspensión. Esto puede hacer que el agua sea turbia y contenga materiales que afecten negativamente la potabilidad y la calidad para diversos usos.
- Reducción de la Capacidad de Almacenamiento: La acumulación de sedimentos en embalses y cuerpos de agua puede disminuir su capacidad de

almacenamiento. Esto afecta la disponibilidad de agua para usos domésticos, agrícolas e industriales.

**Impacto en la Agricultura:** La sedimentación puede afectar los suelos agrícolas al depositar sedimentos en los campos. Esto puede afectar la productividad de los cultivos y requerir prácticas de gestión del suelo adicionales.

- **Problemas para la Infraestructura:** La acumulación de sedimentos en ríos y canales de riego puede afectar la infraestructura asociada, como presas, compuertas y sistemas de riego. Esto puede aumentar los costos de mantenimiento y reparación.

- **Impacto en la Biodiversidad Acuática:** La sedimentación puede alterar el hábitat acuático y afectar la biodiversidad. Los sedimentos pueden cubrir el lecho del río, afectando a las especies que viven en el fondo y afectando la reproducción de organismos acuáticos.

- **Amenaza para los Ecosistemas Fluviales:** Los sedimentos transportados por el agua pueden contribuir a la degradación de los ecosistemas fluviales, alterando la dinámica natural del río y afectando a las plantas y animales que dependen de un entorno fluvial saludable.

- **Riesgo de Inundaciones:** La acumulación de sedimentos puede aumentar el riesgo de inundaciones, ya que puede reducir la capacidad de los cauces fluviales para transportar agua de manera eficiente.



## CONCLUSIONES

Se concluyó que, el estudio de erosión efectuado en la presente investigación, permitirá desarrollar nuevas formas con el pasar del tiempo basados en estos estudios de El resguardo de los suelos centrados en la diversidad de las zonas afectadas y su ejecución necesita de análisis detallados, porque se puede realizar en forma directa en campo y con data, de tal manera que satelitalmente se tienen ya mapeados por algunas instituciones del estado.

Concluyendo del mapa de erosión podemos observar que la subcuenca del río Zaña no se presenta una cantidad de área de alta probabilidad de erosión como se puede observar en la **Ilustración 37** en consecuencia a ello podemos ver los demás tipos de erosión que se puede producir en la sub cuenca.

Concluimos que los resultados son estadísticamente similares que el del modelo computacional empleado en ArcGis 10.5. Podemos decir que la data general sobre los tipos de suelos, son necesarios para la ejecución de las circulaciones de desgaste, así realizar la clasificación detallada en el área de estudio.

Considerando la metodología teórica de Gavrilovic se puede obtener un resultado concluyendo 789480.3 m<sup>3</sup>/año, Djorovic de 406487.92 m<sup>3</sup>/año, Stenberg de 380665.70 m<sup>3</sup>/año y USLE estima un aporte de sedimento de 398325.29 m<sup>3</sup>/año.

La sub cuenca del río Zaña desarrolla un aporte de Sedimento o perdida de suelo promedio de 388.185 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/año para una precipitación promedio por año de 529.9 mm y una tasa promedio por año de 493739.8 m<sup>3</sup>/año.

## **RECOMENDACIONES**

A corto plazo, es necesario dar especial atención a las sub cuencas y microcuencas con los altos índices de erosión, dando prioridad a las ramas de las sub cuencas que son más sensibles a la pérdida de suelo.

Sensibilizar a la población sobre el buen uso de los suelos de acuerdo con su mayor capacidad de aprovechamiento y realizando prácticas de conservación de suelos desde una perspectiva integral.

Se recomienda tener datos de alta calidad, lo cual es muy importante para la investigación. Debido a que los sedimentos son atraídos por las corrientes de agua, se necesitan mediciones topográficas más precisas de las llanuras aluviales, ya que la información topográfica se complementó con imágenes satelitales en el presente estudio.

Es importante seguir la investigación para clasificar los suelos dando mejor uso y manejo óptimo, y adoptar medidas para conservar los suelos de acuerdo a las características de cada cuenca. Al no actualizar la información puede garantizarse una correcta conservación de subcuencas y microcuencas.

De acuerdo con la importancia del elemento de cuantificación de la contribución de sedimentos, se sugiere construir un modelo físico para verificar los resultados del modelo matemático.

Los registros en el sitio, como la medición del tamaño de partículas de sedimentos, registros de flujo instantáneo, etc. Su orientación y ubicación debe ser representativa de la cuenca de estudio.

## REFERENCIAS BIBLOGRAFICA

- Arandes, R. D. (1992). *Planteamiento urbanístico y drenaje urbano Inundaciones y Redes de Drenaje Urbano*. Madrid, España: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Recuperado el 12 de Agosto de 2022, de [http://observatoriaigua.uib.es/repositori/suds\\_rodriguez-sanchez.pdf](http://observatoriaigua.uib.es/repositori/suds_rodriguez-sanchez.pdf)
- Ares, M. G. (27 de Marzo de 2014). LLUVIA, ESCURRIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN UNA MICROCUENCA AGRÍCOLA DEL SISTEMA DE TANDILIA. 93-96. La Plata, Argentina. Recuperado el 08 de Marzo de 2023, de [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/40494/Documento\\_completo\\_.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/40494/Documento_completo_.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- ARIAS, F. (2006). Determinación de la Población y Muestra. Recuperado el 10 de octubre de 2020, de <https://proyectoseducativoscr.wordpress.com/elaboracion-del-ante-proyecto/capitulo-iii-marco-metodologico-de-la-investigacion/3-3-poblacion-y-muestra/>
- Arnal, J. M. (29 de Abril de 2003). Análisis y modelización de la respuesta hidrológica y fluvial de una extensa cuenca de montaña mediterránea (río Isábena, Pre-Pirineo). (39-40). Catalunya, España. Recuperado el 08 de Abril de 2023, de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8233/Tjmva1de1.pdf;jsessionid=760D598951EB67B4D541E90CC66AFFC9?sequence=1>
- BIANCHI, R. W. (19 de Agosto de 2011). INDUCCIÓN DE AUTODRAGADO POR MAREA PARA MITIGAR EL AZOLVAMIENTO EN PUERTO CHIAPAS, MÉXICO. *PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA FÍSICA*, 54-55. Baja California, México. Recuperado el 08 de Abril de 2023, de <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/1209/1/187131.pdf>

- Carl L. Amós, J. T. (Octubre de 1991). Transporte de sedimentos en la plataforma continental oriental canadiense. 11, 87-88. doi:[https://doi.org/10.1016/0278-4343\(91\)90090-S](https://doi.org/10.1016/0278-4343(91)90090-S)
- Carmen, J. C. (DICIEMBRE de 2015). DISEÑO DE EMBALSE TENIENDO EN CONSIDERACIÓN LOS IMPACTOS AMBIENTALES. 51-53. PIURA, PERÚ. Recuperado el 11 de Marzo de 2023, de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2387/ICI\\_219.pdf?sequence](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2387/ICI_219.pdf?sequence)
- Carvajal Ramirez, F. y. (s.f.). ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN UNA CUENCA CON UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA. *EL SISTEMA CUBILLAS-COLOMERA*, 3-4. doi:[https://watermark.silverchair.com/ia20002845.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW\\_Ercy7Dm3ZL\\_9Cf3qfKAc485ysgAAAcwggKDBgkqhkiG9w0BBwagggJ0MIICcAIBADCCAmkGCSqGSib3DQEHATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQMOxj3IGAeW170l4H1AgEQglICOs95VDmnN2tLYB3t4s3Qj9g5SRae7ghWHULnkz13QwR](https://watermark.silverchair.com/ia20002845.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAcwggKDBgkqhkiG9w0BBwagggJ0MIICcAIBADCCAmkGCSqGSib3DQEHATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQMOxj3IGAeW170l4H1AgEQglICOs95VDmnN2tLYB3t4s3Qj9g5SRae7ghWHULnkz13QwR)
- CESEL Ingenieros. (DICIEMBRE de 2013). “Instalación Central Térmica Quillabamba y Sistema de Transmisión Asociado Santa Ana, La Convención, Cusco”. *Plan de Manejo Ambiental (PMA)*, 16-17. CUZCO, PERÚ. Recuperado el 11 de Marzo de 2023, de <https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGGAE/DGGAE/ARCHIVOS/PMA%20%20ELECTRICIDAD%20DEL%20PERU%20ELECTROPERU%20S.A/4.4.1%20Clima%20y%20Meteorolog%C3%ADa.pdf>
- Colotti Bizarri, E. (1999). CUALIDAD DE LA LLUVIA POCO CONOCIDA. XV, 13-14. CARACAS, VENEZUELA: TERRA NUEVA ETAPA. doi:<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72102406>
- Ecología verde. (s.f.). *Erosión del suelo: causas y consecuencias*. Recuperado el 17 de Agosto de 2022, de <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-erosion-del-suelo-causas-y-consecuencias-1500.html>
- El agua en la antigua Mesopotamia. (17 de Agosto de 2022). *Canal Educa*. Obtenido de <https://www.fundacioncanal.com/canaleduca/pdf/El-agua-en-la-Antigua-Mesopotamia.pdf>

- Gaitan, J., Navarro, M. F., Tenti, L. V., Pizarro, M. J., Carfagno, P., & Rigo, S. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la república de Argentina. *Investigación Desarrollo e Innovación*, 21-28. doi:[https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro\\_erosion\\_hidrica\\_rep\\_argentina.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro_erosion_hidrica_rep_argentina.pdf)
- Hernández López, D. (2009). Estudio de la carga sólida de entrada en una red de alcantarillado urbana procedente de las cuencas de Cabecera. 30-31. Cataluña, España: Universidad politecnica de Cataluña. Recuperado el 12 de Agosto de 2022, de <https://deca.upc.edu/es/el-departamento/secciones/ihma/ingenieria-hidraulica-maritima-y-ambiental>
- Huerta Fernández, P., & Loli Figueroa, O. (Enero de 2014). Erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche. 5-6. Lima, Perú. Recuperado el 08 de Abril de 2023, de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-22162014000100002](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162014000100002)
- Jeannette Zambrano Nájera . (Enero de 2015). Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG. *Programa de Doctorado en Ingeniería Civil*, 22-23. Barcelona, España. Recuperado el 12 de Agosto de 2022, de <https://core.ac.uk/download/pdf/33348559.pdf>
- LEÓN, J. M. (Mayo de 2009). PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN CUENCAS: REVISIÓN DE CRITERIOS Y APLICABILIDAD A LA CUENCA DEL RÍO APULCO. 172-175. México, México. Recuperado el 08 de Marzo de 2023, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2831/ramirezleon.pdf?sequence=1>
- LÓPEZ, S. I. (s.f.). *Operacionalización*. Facultad de Ciencias para la Salud. doi:[http://fcaenlinea.unam.mx/anexos/1349/1349\\_u2\\_Act2.pdf](http://fcaenlinea.unam.mx/anexos/1349/1349_u2_Act2.pdf)
- M. Ramos, A., Trujillo Vela, M., & Prada, L. (2015). Análisis descriptivos de procesos de remoción en masa en Bogotá. (P. U. Departamento d Ingeniería Civil, Ed.) *Obras y Proyectos*, 5-6. doi:<https://scielo.conicyt.cl/pdf/oyp/n18/art06.pdf>

- Manson, R. H. (2004). Los Servicios Hidrológicos y la Conservación de los Bosques de México. 15-16. Xalapa, México. Recuperado el 08 de Abril de 2023, de <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Manson-2004.pdf>
- Mercado Zarate, C. A. (14 de Noviembre de 2014). Estimación y comparación de Métodos Teóricos con Modelos Matemáticos en la Producción de Sedimentos. Aplicación a la Cuenca del Rio Allahualla. (48-50). Puno, Perú. Recuperado el 08 de Marzo de 2023, de [oai:repositorio.unap.edu.pe:UNAP/2293](https://oai.repositorio.unap.edu.pe:UNAP/2293)
- MORGAN, R. P. (1997). Erosión y conservación del suelo. 61-63. Recuperado el 08 de Abril de 2023, de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/173350/estimacion-erosion-hidrica.pdf?sequence=1>
- Nájera, J. Z. (ENERO de 2015). Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG. 45-52. BARCELONA, ESPAÑA. Recuperado el 08 de Marzo de 2023, de <https://core.ac.uk/download/pdf/33348559.pdf>
- Ramírez León, J. M. (2009). Producción de sedimentos en cuencas: revisión de criterios y aplicabilidad a la cuenca del río Apulco. 45-46. México, México. Recuperado el 15 de Marzo de 2023, de <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/2831>
- Sabino Rojas, E., Felipe Obando, O. G., & Lavado Casimiro, W. (2017). Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas. 98-99. Lima, Lima, Perú. Recuperado el 08 de Marzo de 2023, de [https://idesep.senamhi.gob.pe/portalidesep/files/tematica/atlas/erosi%C3%B3n\\_de\\_suelo/Atlas\\_Erosion\\_Suelos\\_por\\_Regiones\\_Hidrologicas\\_Peru.pdf](https://idesep.senamhi.gob.pe/portalidesep/files/tematica/atlas/erosi%C3%B3n_de_suelo/Atlas_Erosion_Suelos_por_Regiones_Hidrologicas_Peru.pdf)
- Sabino, E., Lavado, W., & Asencios, H. (2021). *Producción de sedimentos en el Perú: Una evaluación presente y futura*. MINISTERIO DEL AMBIENTE. Lima: SENAMHI. Recuperado el 17 de Agosto de 2022, de <https://hdl.handle.net/20.500.12542/1609>

- Simons, D. B. (1992). *Sediment Transport Technology: Water and Sediment Dynamics* (Vol. 1). Water Resources Publications. Recuperado el 08 de Junio de 2022, de <https://www.fao.org/3/t0848s/t0848s07.htm>
- Simons, D., & Serturk, F. (1992). *Sediment Transport Technology: Water and Sediment Dynamics*. Water. 52-54. Michigan, USA: Copyrighth. Recuperado el 08 de Abril de 2023, de [https://books.google.com.pe/books?id=\\_eScptWZAeIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=_eScptWZAeIC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)
- Tánago, M. G. (1991). LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DE SUELO. 25-28. ICONA, MADRID, ESPAÑA. doi:[https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia\\_05\\_02\\_tcm30-100846.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_05_02_tcm30-100846.pdf)
- Tarrío, D. V. (2012). Transporte de sedimento como carga de fondo en la cuenca del río Narcea. *Tesis Doctoral*, 85-86. España. Recuperado el 08 de Abril de 2023, de <https://core.ac.uk/download/pdf/71844528.pdf>
- UNU INGENIEROS. (2014). MANUAL HIDROCALC V.1. 34-37. CAJAMARCA. Recuperado el 26 de Mayo de 2021, de <http://www.unuingenieros.com/files/mUsuarioHC1.pdf>
- VALDEBENITO, D. I. (2019). ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN ZONA SEMIÁRIDA DEL NORTE CHILENO MEDIANTE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE). 36-37. Chile. Recuperado el 08 de Abril de 2023, de <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/173350/estimacion-erosion-hidrica.pdf?sequence=1>
- Valdez Tumi, E. H. (2014). Análisis de pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Conduriri mediante la metodología rusle, 1980 - 2014. 52-56. PUNO, PERÚ. Recuperado el 08 de Marzo de 2023, de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4588>
- VEN TE CHOW, M. &. (1994). *Hidrología Aplicada*. (M. E. R., Ed.) Pensilvania: Editorial Nomos S.A. Recuperado el 07 de octubre de 2020, de <https://www.hidrosm.com/2021/01/libro-hidrologia-aplicada-ven-te-chow.html>

Verstraeten , G., & Poesen, J. (Abril de 2000). Estimación de la eficiencia de la trampa de pequeñas embalses y estanques: métodos y implicaciones para la evaluación de Rendimiento de sedimentos. 8-9. Bélgica.  
doi:10.1191/030913300676742153



## ANEXOS

**Ilustración 17:** Administración local del agua Zaña



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 18:** Junta de usuarios Zaña



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 19:** Sedimentación – Sector El Espinal



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 20:** Sedimentación – Sector Las Delicias



**Fuente:** Elaboración Propia



**Ilustración 21:** Sedimentación – Sector Pan de azúcar



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 22:** Sedimentación – Sector Macuaco



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 23:** Sedimentación – Sector El Conde



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 24:** Sedimentación – Sector Chilcal alto



**Fuente:** Elaboración Propia



**Ilustración 25:** Erosión por desprendimiento – Sector Espinal



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 26:** Erosión por cárcavas – Sector Las Delicias



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 27:** Depositación de sedimentos – Dist. Oyotún



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 28:** Descolmatación de sedimentos – Dist. Oyotún



**Fuente:** Elaboración Propia



**Ilustración 29:** Depositación de sedimentos – C.P Las Delicias



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 30:** Depositación de sedimentos – C.P Pan de azúcar



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 31:** Sedimento en suspensión – Dist. Oyotún



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 32:** Desprendimiento de suelo – Cuenca alta Zaña



**Fuente:** Elaboración Propia



**Ilustración 33:** Sedimento colmatado – Parte baja Zaña



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 34:** Sedimento en forma de grava, limo y arcillas



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 35:** Sedimento en suspensión en la zona de aforo



**Fuente:** Elaboración Propia

**Ilustración 36:** Perdidas originadas por la erosión en el ciclón Yaku 2023



**Fuente:** Elaboración Propia

### Ilustración 37: Estaciones metrológicas - Senamhi



Fuente: SENAMHI - PERÚ

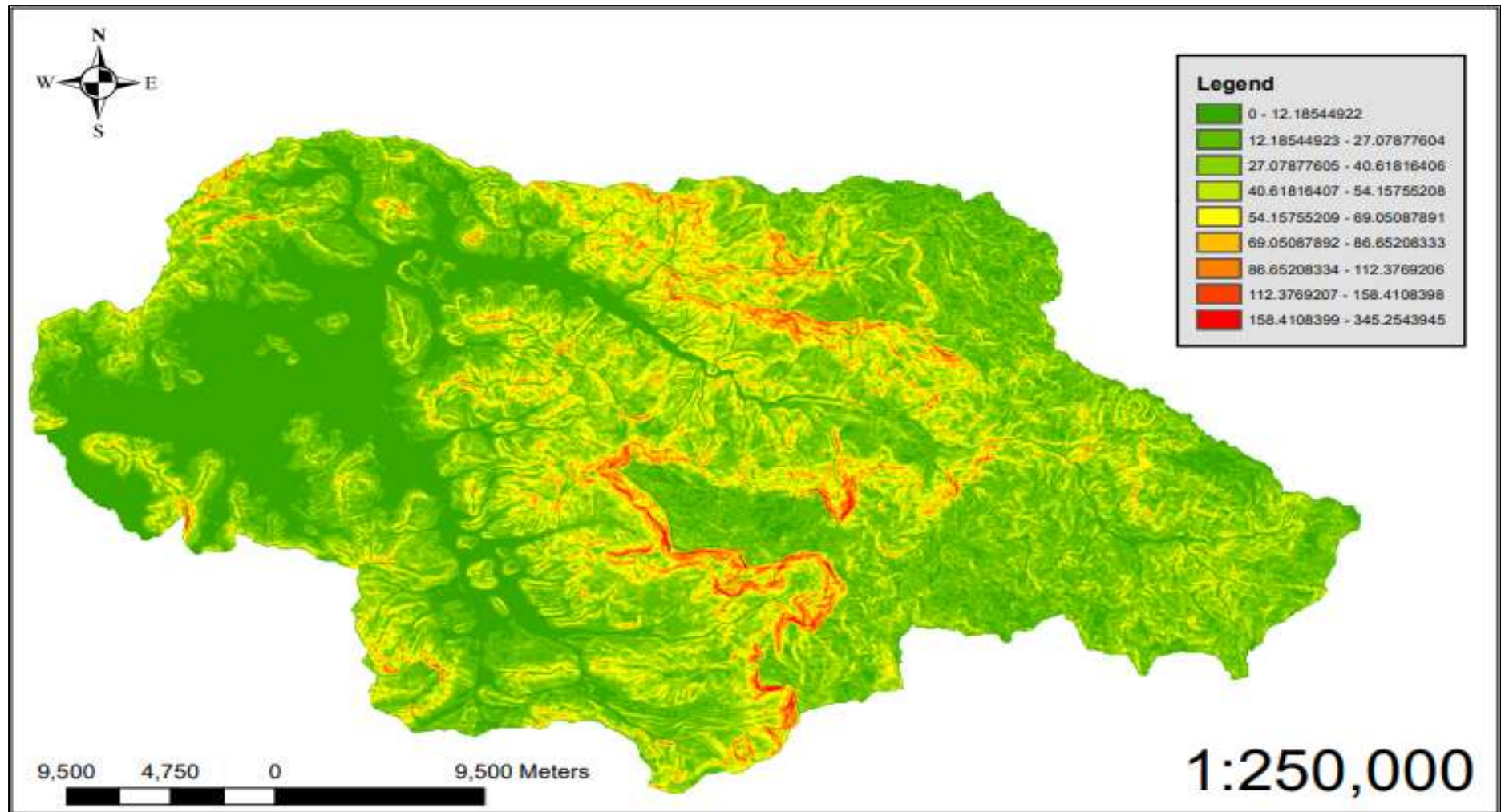


**Plano 1:** Mapa de erosión – Sub cuenca del río Zaña



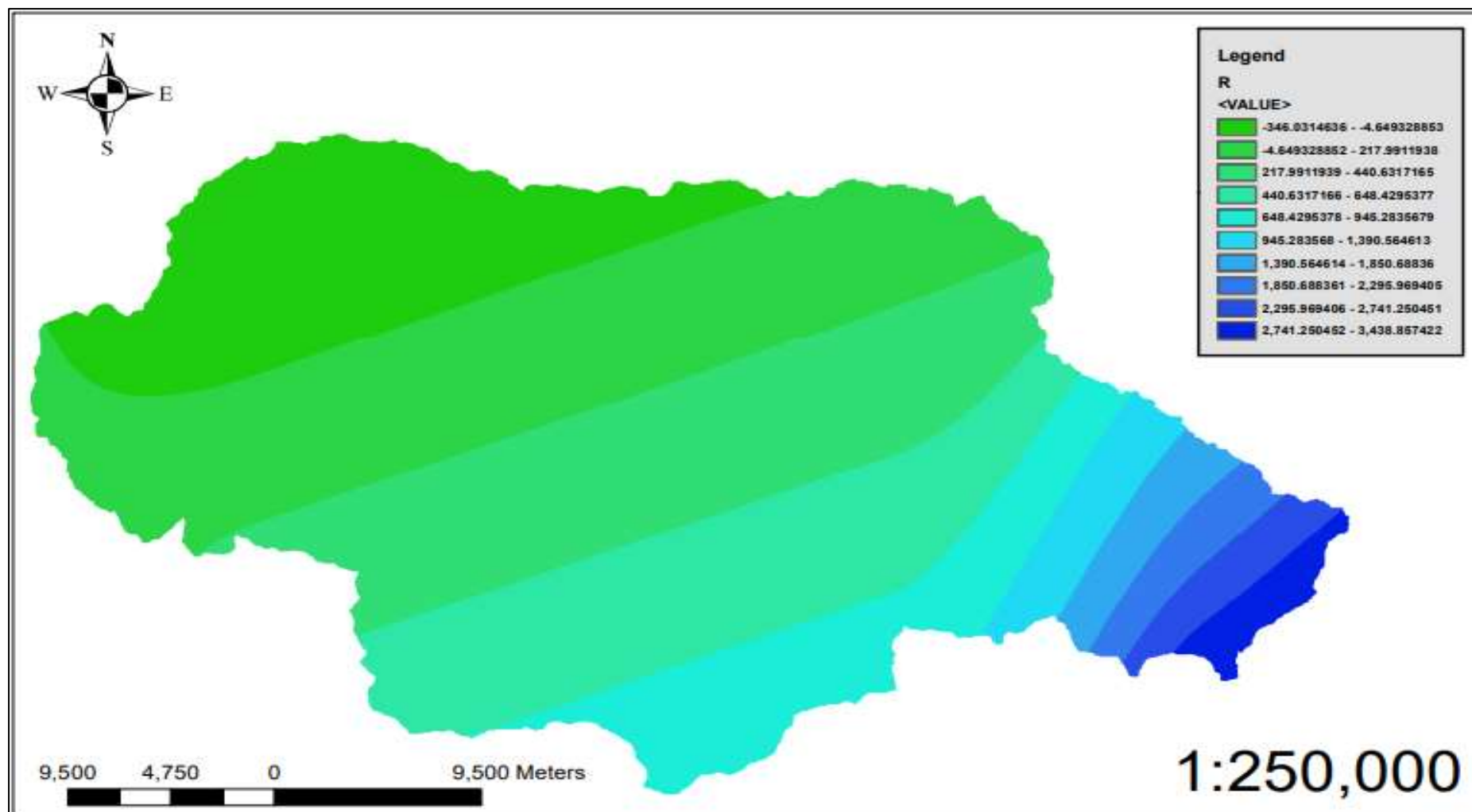
**Fuente:** Elaboración Propia – ArcMap 10.5

**Plano 2:** Mapa de pendientes – Sub cuenca del río Zaña



**Fuente:** Elaboración Propia – ArcMap 10.5

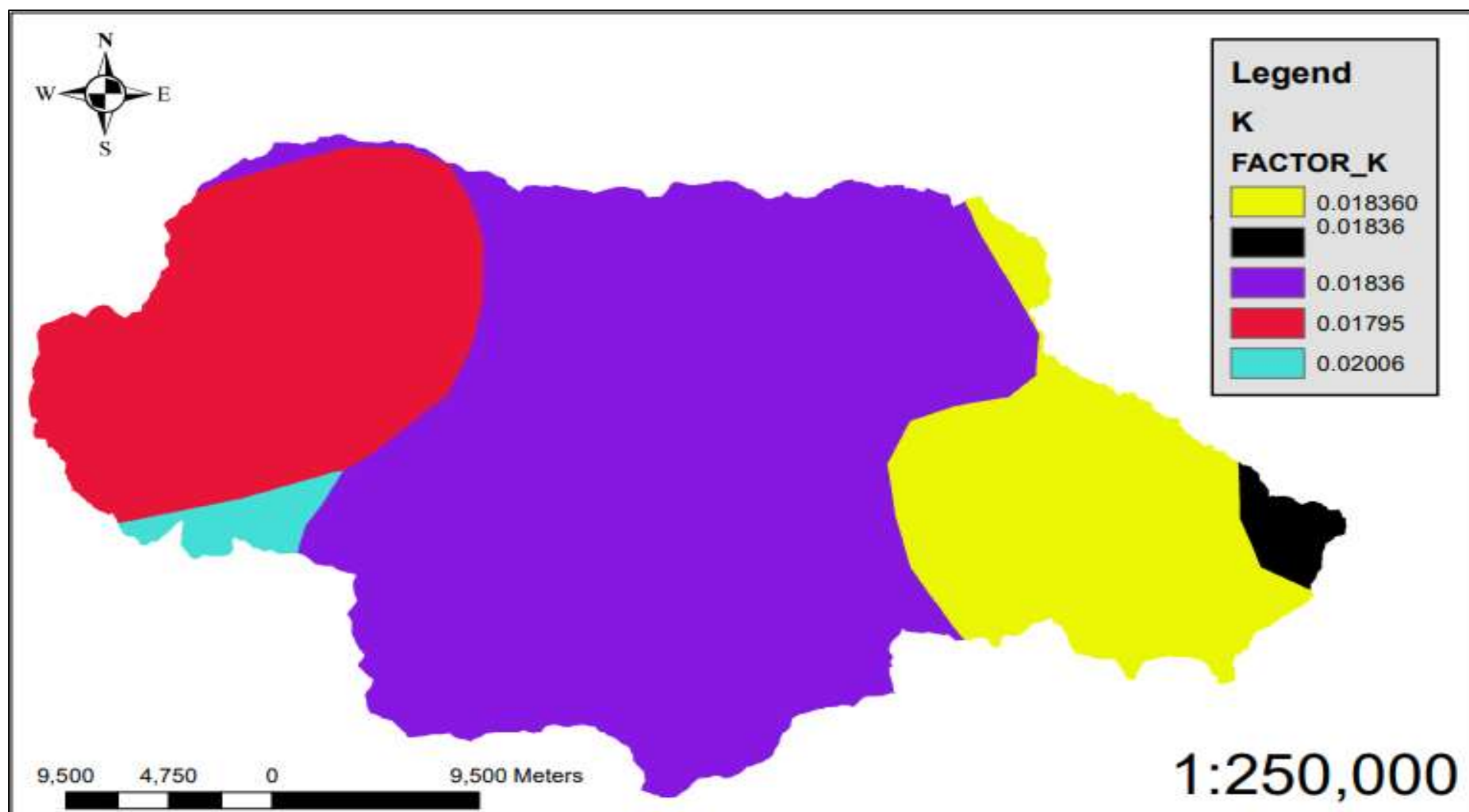
### Plano 3: Factor R – Sub cuenca del río Zaña



Fuente: Elaboración Propia – ArcMap 10.5

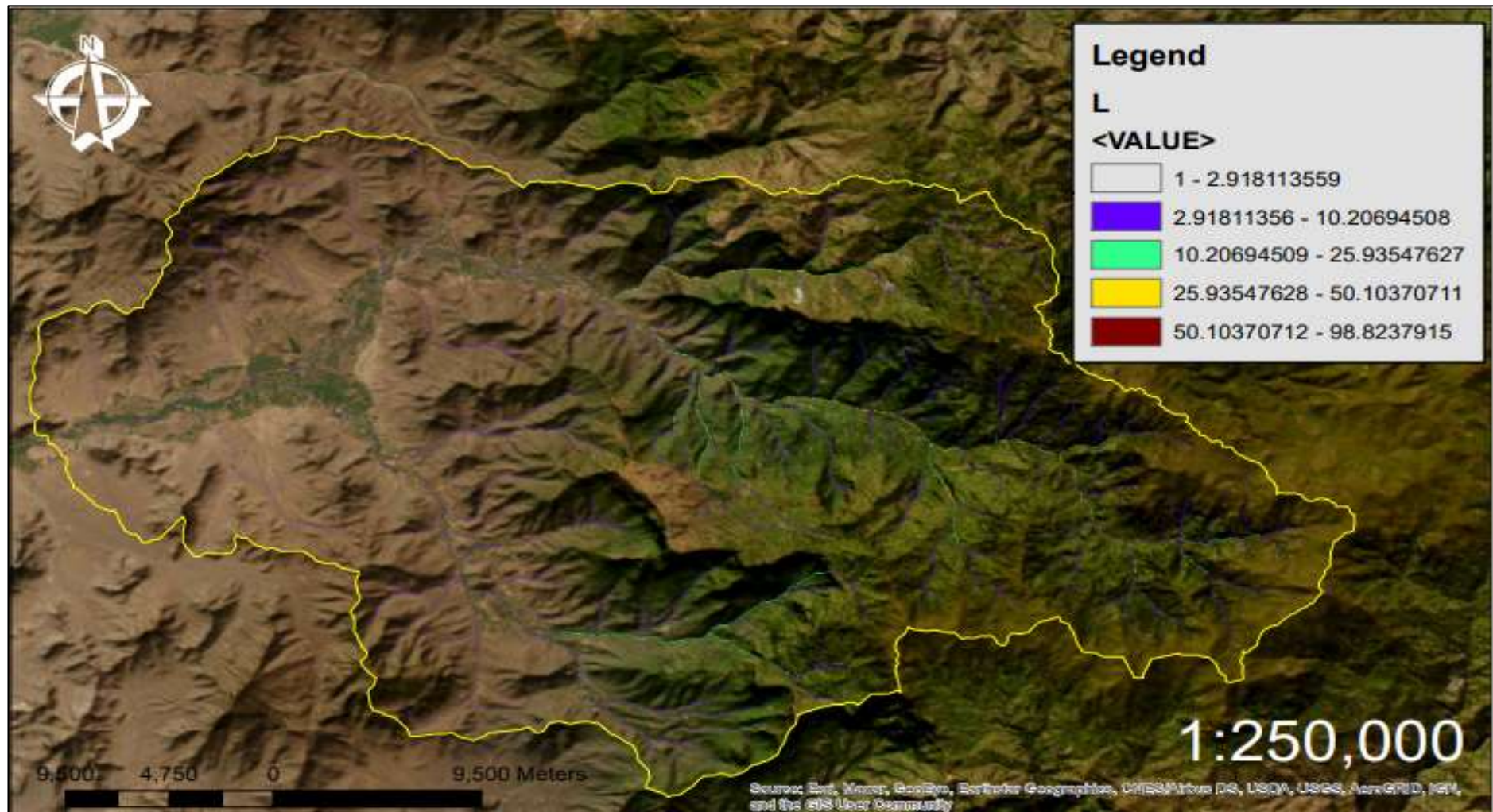


**Plano 4:** Factor K – Sub cuenca del río Zaña



**Fuente:** Elaboración Propia – ArcMap 10.5

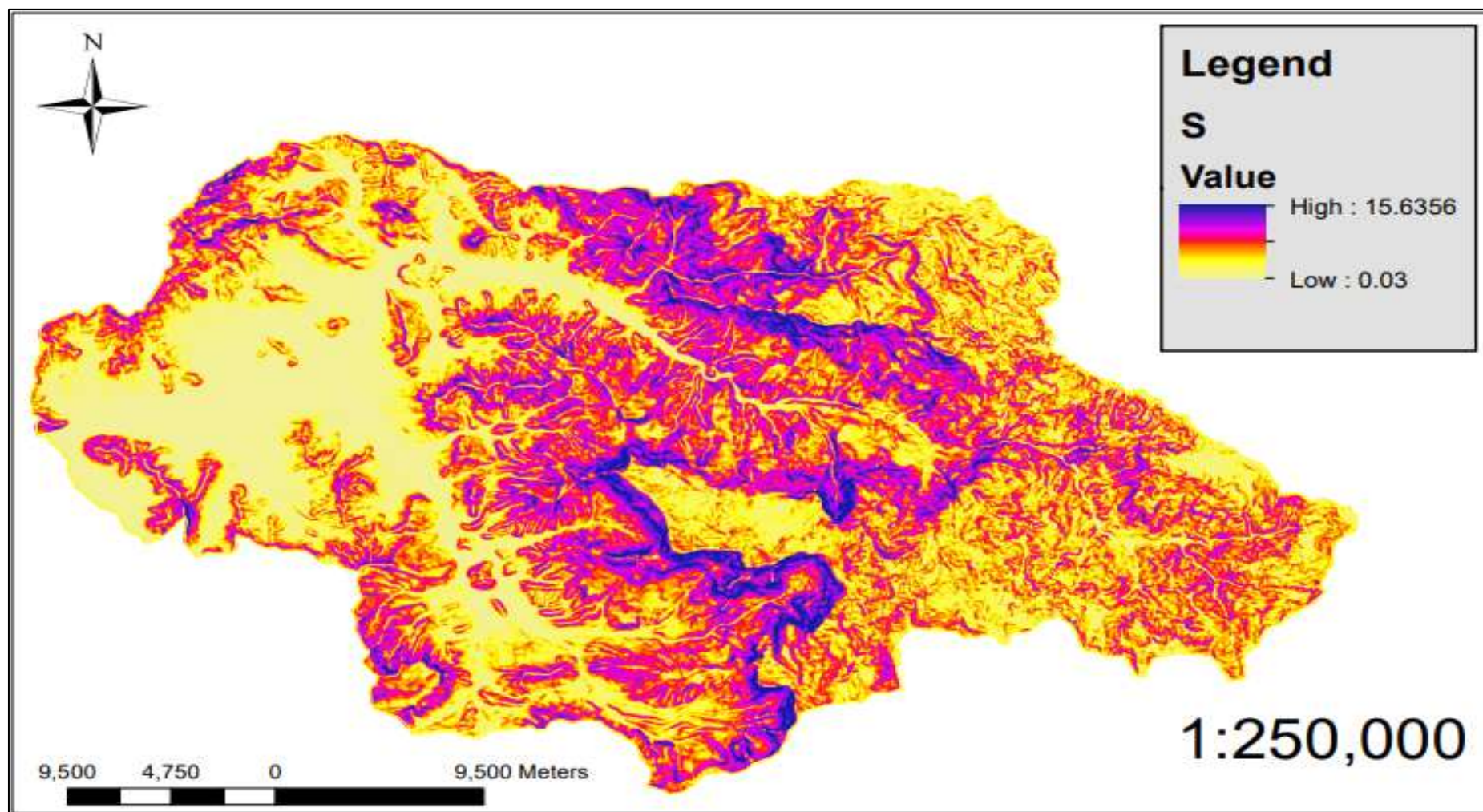
**Plano 5:** Factor L – Sub cuenca del río Zaña



**Fuente:** Elaboración Propia – ArcMap 10.5



**Plano 6:** Factor S – Sub cuenca del río Zaña



**Fuente:** Elaboración Propia – ArcMap 10.5



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**  
**UNIDAD DE INVESTIGACION**



**ACTA DE SUSTENTACION PRESENCIAL N°003-2024-UINV-FIA**



Siendo las nueve horas del día viernes 12 de enero de 2024, en el auditorio de la facultad de ingeniería agrícola, se reunieron los Miembros del Jurado designado mediante Resolución N°340-2022-FIA-VIRTUAL, conformado por:

**ING. M.SC. JORGE SEGUNDO CUMPA REYES**

**Presidente**

**ING. JOSE ARTURO SOLORZANO GONZALES**

**Secretario**

**ING. ERNESTO CONTRERAS OCAMPO**

**Vocal**



Para llevar a cabo la sustentación presencial de tesis citados mediante Resolución N°003-2024-FIA-VIRTUAL; denominado **"ESTIMACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE SEDIMENTOS - EROSIÓN HIDRICA APLICADOS A LA CUENCA DEL RÍO ZAÑA"** presentado por los bachilleres **REVILLA CRUZADO JORGE GERMÁN Y URIARTE MELÉNDREZ HUMBERTO**, y patrocinado por **ING. M.SC. ENOCH ABRAHAM MONTES BANCES**, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola.

Luego de culminada la sustentación, el Jurado procedió a realizar las preguntas a los sustentantes, se solicitó a los bachilleres anotar las observaciones para su corrección respectiva, el jurado luego de evaluar las rubricas decidió **APROBAR** la tesis con el calificativo de **MUY BUENO** correspondiente a la nota de **18 (DIECIOCHO.)**.

En consecuencia, los referidos Bachilleres quedan aptos para obtener el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, de acuerdo a la Ley universitaria 30220, el Estatuto y Reglamento de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las diez y 30 horas del mismo día, se dio por finalizado el acto de sustentación y se procedió a firmar la presente acta los que en ella han intervenido.

\_\_\_\_\_  
**ING. M.SC. JORGE SEGUNDO CUMPA REYES**  
Presidente de Jurado

\_\_\_\_\_  
**ING. JOSE ARTURO SOLORZANO GONZALES**  
Secretario de Jurado

\_\_\_\_\_  
**ING. ERNESTO CONTRERAS OCAMPO**  
Vocal del jurado

\_\_\_\_\_  
**ING. M.SC. ENOCH ABRAHAM MONTES BANCES**  
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO  
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

\_\_\_\_\_  
**Ing. Dr. Luis Armando Toledo Casanova**  
Director de la Unidad de Investigación -FIA



## CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

Yo, **ENOCH MONTES BANCES**, Docente de la facultad de Ingeniería Agrícola, asesor de Tesis de los **Bachilleres Jorge Germán Revilla Cruzado y Humberto Uriarte Meléndez**, Titulada: **“ESTIMACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS UTILIZADOS PARA CÁLCULO DE SEDIMENTOS – EROSIÓN HÍDRICA APLICADOS A LA CUENCA DEL RÍO ZAÑA”**, luego de la revisión exhaustiva del documento constato que la misma tiene un índice de similitud de **20%** verificable en el reporte de similitud del programa Tumitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas con constituyen plagio. A mi leal saber y entender las tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Lambayeque, 07 de Julio del 2023

---

**ENOCH MONTES BANCES**  
**Asesor**

Se adjunta:

Resumen del Reporte (Con porcentaje y parámetros de configuración)

# ESTIMACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE SEDIMENTOS - EROSIÓN HIDRICA APLICADOS A LA CUENCA DEL RÍO ZAÑA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	7%
2	<a href="https://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="https://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://repositorio.inta.gob.ar">repositorio.inta.gob.ar</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://cicese.repositorioinstitucional.mx">cicese.repositorioinstitucional.mx</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="https://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="https://repositorio.uap.edu.pe">repositorio.uap.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="https://pt.scribd.com">pt.scribd.com</a> Fuente de Internet	1%

9	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	1 %
10	Submitted to Universidad Tecnologica de Honduras Trabajo del estudiante	<1 %
11	<a href="http://vsip.info">vsip.info</a> Fuente de Internet	<1 %
12	Fernando Carvajal Ramírez, Juan Vicente Giráldez Cervera. "Análisis de la producción de sedimentos en una cuenca con un sistema de información geográfica. El sistema Cubillas-Colomera", Ingeniería del agua, 2000 Publicación	<1 %
13	<a href="http://intranet.cip.org.pe">intranet.cip.org.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad Catolica de Oriente Trabajo del estudiante	<1 %
15	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
16	<a href="http://core.ac.uk">core.ac.uk</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %

18 Submitted to Submitted on 1688057051838  
Trabajo del estudiante

  
ENOCH MONTES BANCES  
Asesor

<1 %

19

repositorio.unprg.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

20

dspace.utb.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

21

www.uco.es

Fuente de Internet

<1 %

22

www.ugm.org.mx

Fuente de Internet

<1 %

23

Submitted to Universidad Técnica de Machala

Trabajo del estudiante

<1 %

24

repositorio.upla.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

25

Submitted to Universidad Internacional de la Rioja

Trabajo del estudiante

<1 %

26

rephip.unr.edu.ar

Fuente de Internet

<1 %

27

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

28

www.ana.gob.pe

Fuente de Internet

<1 %

29

livrosdeamor.com.br

Fuente de Internet

<1 %

30

[mail.polodelconocimiento.com](mailto:polodelconocimiento.com)

Fuente de Internet

<1 %

31

[repositorio.usmp.edu.pe](http://repositorio.usmp.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

32

[repositorio.unasam.edu.pe](http://repositorio.unasam.edu.pe)

Fuente de Internet

<1 %

33

[www.scribd.com](http://www.scribd.com)

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 15 words

Excluir bibliografía

Activo

  
**ENOCH MONTES BANCES**  
Asesor




## Recibo digital


Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jorge Germán Revilla Cruzado Humberto Uriarte Meléndrez  
Título del ejercicio: TESIS  
Título de la entrega: ESTIMACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS UTILIZADO...  
Nombre del archivo: N\_EN\_M\_TODOS\_DE\_SEDIMENTOS\_EN\_LA\_SUB-CUENCA\_DEL\_...  
Tamaño del archivo: 12.69M  
Total páginas: 97  
Total de palabras: 13,367  
Total de caracteres: 74,512  
Fecha de entrega: 03-jul.-2023 11:29a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 2126073493



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**"PEDRO RUIZ GALLO"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**TESIS**  
"ESTIMACIÓN Y COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS UTILIZADOS  
PARA EL CÁLCULO DE SEDIMENTOS - EROSIÓN HÍDRICA  
APLICADOS A LA CUENCA DEL RÍO ZAÑA"

Para optar el título profesional de:  
INGENIERO AGRÍCOLA

Autor (es):  
Bach. Revilla Cruzado Jorge Germán  
Bach. Uriarte Meléndrez Humberto

Asesor:  
M. Sc. Ing. Montes Bancos Enoch  
Lambayeque -Perú  
2023

  
**ENOCH MONTES BANCOS**  
Asesor