



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ECOTEC**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**TÍTULO DEL TRABAJO:**

IMPLEMENTACIÓN DE UN SIG PARA EVALUAR LA EROSIÓN HÍDRICA EN  
LA CUENCA DEL RÍO JUBONES

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

GESTIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS AGRÍCOLAS

**MODALIDAD DE TITULACIÓN:**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

**CARRERA:**

INGENIERÍA AGRONÓMICA

**TÍTULO A OBTENER:**

INGENIERO AGRÓNOMO

**AUTOR:**

VIVANCO MORENO BRYAN JOSUÉ

**TUTORES:**

ING. SUÁREZ ARELLANO CÉSAR FRANCISCO, MGTR.

ING. CÉSAR ALCACER SANTOS, PHD

SAMBORONDÓN – GUAYAS – ECUADOR

2023

## **Dedicatoria**

Este trabajo se lo dedico a mis padres Enrique Vivanco y Gloria Moreno, quienes me apoyaron y encaminaron durante toda esta etapa de mi formación profesional, llegar con bien a mi meta de ser ingeniero agrónomo de esta prestigiosa universidad

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la sabiduría y la fortaleza de seguir adelante, mi tutor Francisco Suarez quien me guio todo este tiempo, mis profesores, en especial a mis amigos de la universidad quienes compartí buenos momentos y que me apoyaron de una u otra manera y a todos quienes me brindaron la mano para terminar mi trabajo de titulación



**ANEXO N° 7.1**

**UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR  
CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TUTOR METODOLÓGICO Y CIENTÍFICO PARA LA  
PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Samborondón, 28 de noviembre de 2023

Magíster  
**Erika Ascencio Jordán**  
Decano(a) de la Facultad  
Ingenierías  
Universidad Tecnológica ECOTEC

De mis consideraciones:

Por medio de la presente comunico a usted que el trabajo de integración curricular TITULADO: IMPLEMENTACIÓN DE UN SIG PARA EVALUAR LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO JUBONES según su modalidad PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR; fue revisado, siendo su contenido original en su totalidad, así como el cumplimiento de los requerimientos establecidos en la guía para su elaboración, Por lo que se autoriza al estudiante: **Vivanco Moreno Bryan Josué**, para que proceda con la presentación oral del mismo.

**ATENTAMENTE,**

CESAR|  
ALCACER|  
SANTOS|  
Firmado digitalmente por  
CESAR|ALCACER|  
SANTOS  
Fecha: 2023.11.30  
13:34:30 +01'00'

PhD. Alcácer-Santos César  
Tutor(a) metodológico

Mgtr/ Suarez A. Cesar Francisco  
Tutor(a) de la ciencia



## ANEXO N°7.2

### **UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR CERTIFICADO DEL PORCENTAJE DE COINCIDENCIAS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

---

---

Habiendo sido revisado el trabajo de integración curricular TITULADO: IMPLEMENTACIÓN DE UN SIG PARA EVALUAR LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO JUBONES según su modalidad PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR, elaborado por Vivanco Moreno Bryan Josué fue remitido al sistema de coincidencias en todo su contenido el mismo que presentó un porcentaje de coincidencias del 10% mismo que cumple con el valor aceptado para su presentación que es inferior o igual al 10% sobre el total de hojas del Trabajo de integración curricular. Se puede verificar el informe en el siguiente link: <https://app.compileio.net/v5/report/daafdcf8e4377f54252597682c913c109edcf797/summary> . Adicional se adjunta el informe de dicho resultado.

**ATENTAMENTE,**

**CESAR|**  
**ALCACER**  
**|SANTOS**

Firmado digitalmente por  
CESAR|ALCACER|  
SANTOS  
Fecha: 2023.11.30  
13:41:14 +01'00'

**PhD. Alcácer-Santos César**  
**Tutor(a) metodológico**

**Mgtr/ Suarez A. Cesar Francisco**  
**Tutor(a) de la ciencia**



# Tesis BVM 2 (1) (1)

10%  
Textos sospechosos



- 8% Similitudes  
0% similitudes entre comillas
- 1% Idioma no reconocido
- 0% Textos potencialmente generados por la IA

Nombre del documento: Tesis BVM 2 (1) (1).docx  
ID del documento: 000c62901667b534c1a1a82c1039e58b7f8b30e3  
Tamaño del documento original: 2,07 MB

Depositante: CESAR ALCACER SANTOS  
Fecha de depósito: 30/11/2023  
Tipo de carga: Interface  
Fecha de fin de análisis: 30/11/2023

Número de palabras: 9019  
Número de caracteres: 57.649

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="https://revistas.ugr.es/index.php/psuadgeo/article/download/24561/25388/103843">revistas.ugr.es</a> 3 fuentes similares	1%		Palabras idénticas: < 1% (111 palabras)
2	<a href="https://doi.org/10.15359/ingac.68-1.14">doi.org   Impacto de la erosión hídrica sobre la rentabilidad de los productores ag...</a> 3 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (73 palabras)
3	<a href="https://solofaq.com/afectaron-la-erosion-y-la-deposicion-a-los-accidentes-geograficos-en-la-d...">solofaq.com   ¿Cómo Afectaron La Erosión Y La Deposition A Los Accidentes Geogr...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
4	<a href="https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/ica/article/view/797">revistas.lamolina.edu.pe   Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica ...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (34 palabras)
5	<a href="https://www.donprofes.com/cuales-son-las-consecuencias-de-la-erosion-hidrica#:~:text=¿Qué es la e...">www.donprofes.com   ¿Cuáles son las consecuencias de la erosión hídrica?</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (21 palabras)

## Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="https://www.iaa.org/about/meetings/soil-erosion-symposium/key-messages/es/#~:text=La erosión ...">www.iaa.org   Mensajes clave   Simposio Mundial sobre la Erosión del Suelo   Dr...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (26 palabras)
2	<a href="https://www.doi.org/10.6018/GEOGRAFIA.395691">www.doi.org</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (27 palabras)
3	<a href="https://doi.org/10.7818/GCOS.2323">doi.org   Seguimiento semi-automático de la cobertura del suelo tras quema presc...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
4	<a href="https://doi.org/10.35426/ricano.98.149">doi.org   Análisis espacial de los cambios de usos del suelo. Aplicación con Sistem...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (20 palabras)
5	<a href="https://www.doi.org/10.51372/bioagro3226">www.doi.org   Evaluation of the level of soil degradation in two productive system...</a>	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)

## Fuentes mencionadas (sin similitudes detectadas)

Estas fuentes han sido citadas en el documento sin encontrar similitudes.

- <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/56119>
- <http://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3346243>
- <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/56125>
- <https://doi.org/10.23857/pc.v0i4.2589>
- <https://doi.org/10.23857/pc.v0i2.5177>

## **Resumen.**

La implementación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas que mediante el uso de información cartográfica y alfa numérica permite establecer en este caso evaluar problemas de erosión hídrica en la cuenca del río Jubones, se ha detectado afectación en suelos y por tal motivo el bajo desarrollo agrícola en la zona de estudio, la ecuación universal de suelos (USLE) permitió la gestión de factores que integran esta ecuación la cual se estableció con 19 estaciones meteorológicas que las precipitaciones máximas equivalen a 1201.8 mm teniendo como valor de agresividad climática máxima de 80.45 Mg/ha/año de pérdida de suelos, tomando en se estimó que cerca del 70% de suelos es susceptible a procesos hídricos, lo que puede apalea un poco la degradación física sería el fator topográfico ya que gran parte de la geomorfología presente no representa mayor problema del proceso erosivo, teniendo como resultado mediante la aplicación de la USLE, que la cuenca tiene un grado de erosión media a baja con rangos establecidos mediante los SIG fueron entre 1.4 a 80.75 Mg/ha/año y los rangos más altos son de 80.7 a 15575 Mg/ha/año en las zonas más próximas a la cordillera, se puede concluir que, el uso del SIG hace que la evaluación de la erosión y su distribución espacial sea eficiente, ya que garantiza un alto nivel de interacción entre los diferentes componente cartográficos y de gestión de la información.

**Palabras claves:** Erosión hídrica, Sistema de información geográfica, USLE, degradación

## **Summary.**

The implementation of Geographic Information Systems (GIS) are tools that through the use of cartographic and alpha-numerical information allows to establish in this case to evaluate problems of water erosion in the Jubones river basin, it has been detected affectation in soils and for such reason the low agricultural development in the study area, the universal soil equation (USLE) allowed the management of factors that integrate this equation which was established with 19 meteorological stations that the maximum rainfall is equivalent to 1201.8 mm, with a maximum climatic aggressiveness value of 80.45 Mg/ha/year of soil loss, taking into account that about 70% of the soils are susceptible to hydric processes, which can somewhat leverage the physical degradation would be the topographic factor since much of the geomorphology present does not represent a major problem of the erosive process, resulting from the application of the USLE, that the basin has a medium to low degree of erosion with ranges established by the GIS were between 1.4 to 80.75 Mg/ha/year and the highest ranges are from 80.7 to 15575 Mg/ha/year in the areas closest to the mountain range. It can be concluded that the use of GIS makes the evaluation of erosion and its spatial distribution efficient, since it guarantees a high level of interaction between the different cartographic and information management components.

**Key words:** Water erosion, geographic information system, USLE, degradation.

## Tabla de contenido

Resumen.....	
Summary.....	
1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del Problema.....	2
1.3 Pregunta científica.....	3
1.4 Planteamiento de Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 Justificación.....	4
Desarrollo de la investigación.....	5
Capítulo 1: Marco Teórico.....	5
1.1. Marco teórico fundamental.....	5
1.2. Marco teórico conceptual.....	9
1.3. Marco teórico Situacional.....	12
1.4. Marco teórico contextual.....	13
Capítulo 2: Metodología del proceso de investigación.....	14
Capítulo 3.....	23
Análisis e interpretación de los resultados de la investigación.....	23
3.1. Analizar la información digital de las coberturas temáticas de cada uno de los factores principales que interviene en la ecuación de la USLE.....	23
3.1.1. Factor Climático.....	23
3.1.2. Factor Edáfico.....	26
3.1.3. Factor Topográfico.....	28
3.2. Estimar las áreas susceptibles a procesos de degradación física en la cuenca del Río Jubones.....	31
3.3. Evaluar las pérdidas por erosión hídrica en la cuenca del rio jubones...	34
4. Discusión.....	37
5. Conclusiones.....	39
6. Recomendaciones.....	40
7. Bibliografía.....	41
8. Anexos.....	47

## Índice de tablas y figuras.

Tabla 1. Variable Climática Parámetro Precipitación (mm).....	23
Tabla 2. Tabulación de IMF y Factor R.....	25
Tabla 3. Parámetros Edáficos.....	27
Tabla 4. Escala de grado de erosión.....	35
Figura 1. Flujograma de trabajo .....	20
Figura 2. Distribución de las precipitaciones .....	26
Figura 3. Mapa temático Agresividad Climática R.....	28
Figura 4. Mapa temático Factor Edáfico K .....	29
Figura 5. Mapa de Pendiente .....	29
Figura 6. Mapa de Factor Topográfico LS.....	31
Figura 7. Mapa de Erosión Hídrica A .....	32
Figura 8. Zonas Afectadas por erosión hídrica.....	34
Figura 9. Diagrama del proceso SIG .....	36
Figura 10. Mapa de grados de erosión.....	34
Figura 11. Mapa de Ubicación de poblados dentro de la cuenca del Rio Jubones.....	47
Figura 12. Mapa de estaciones meteorológicas del Inamhi.....	47
Figura 13. Mapa de distribución de precipitaciones en la cuenca del Rio Jubones.....	48
Figura 14. Mapa de ubicación de la cuenca del Rio Jubones.....	48

## **1. Introducción.**

La erosión hídrica del suelo a nivel global es un problema atenuante que van más allá de la pérdida de tierras fértiles, provocando un aumento de la contaminación y la sedimentación en arroyos y ríos, obstruyendo estos cursos de agua y provocando una disminución de tierras degradadas ya que estos suelos suelen tener menos capacidad para retener agua, lo que puede empeorar las inundaciones. En la agricultura global, se ha estimado que la erosión del suelo puede provocar una pérdida de hasta el 50 por ciento del rendimiento de los cultivos (FAO, 2023).

El deterioro hídrico de los suelos en Ecuador ha disminuido la productividad agrícola en los últimos años, enfocándose exactamente en las funciones de los ecosistemas, ya que amplifica los riesgos hidrogeológicos como, los deslizamientos de tierra, inundaciones que son provocadas por el fenómeno del niño, causando pérdidas significativas de productividad en las zonas rurales y biodiversidad, daños a la infraestructura urbana y, en casos graves, conduce al desplazamiento de poblaciones humanas.

El uso de herramientas tecnológicas en la actualidad permite realizar estimaciones en la evaluación de la degradación hídrica de los suelos agrícolas, y los SIG, según (Matías Ramos et al., 2020), manifiesta que es una alternativa que nos permite la manipulación de la información de formatos alfanuméricos y cartográficos, a lo cual se puede aplicar cálculos o ecuaciones que permite establecer pérdidas de suelos y tener una información actual para la ejecución y manejo de los recursos naturales, aportando a las actividades agrícolas y uso del suelo en la cuenca en estudio y de esta manera adquirir un diagnóstico sobre las potenciales áreas afectadas por erosión hídrica en la cuenca del río Jubones.

Las estimaciones cuantitativas de la erosión del suelo por los diferentes fenómenos naturales son un componente clave de los planes de gestión del uso del suelo diseñados para proteger y recuperar los suelos prescribiendo las mejores de vegetación natural, agricultura y silvicultura, los planes de gestión pueden estar orientados a reducir la erosión del suelo, pero también pueden incluir medidas como recuperar la productividad del suelo y favorecer el desarrollo sostenible de la agricultura y de la biodiversidad (Dabral et al., 2018).

## **1.1 Antecedentes.**

Uno de los modelos de estimación más utilizados es la ecuación de USLE (Universal Soil Loss Equation: Ecuación Universal de Pérdida de Suelo), que es modelo empírico, y paramétrico que ha sido probado y validado en diversas condiciones tomando en cuenta diversos factores que afectan la erosión, como la pendiente del terreno, longitud de la pendiente, tipo de suelo, cobertura vegetal y prácticas de conservación del suelo (Serwan & Kamaruzaman., 2011).

La falta de mediciones y estimaciones de la erosión puede atenuarse mediante la realización de estudios de simulación. Existen muchos modelos de erosión del suelo, y pueden vincularse a sistemas de gestión de datos espaciales, como los sistemas de información geográfica (SIG). Los modelos de estimación como los valores de cada una de las variables se incorporan en el SIG, cada capa independiente en el SIG, de los valores y parámetros pueden ajustarse para estudiar los efectos de diferentes escenarios de gestión hídrica (Onyando et al., 2015).

(Sequeira et al., 2022), indica que el impacto de los procesos erosivos en zonas agrícolas causan un potencial ambiental en la calidad de los suelos puesto que causa baja en los rendimientos de la producción agrícola y el uso actual de las diferentes actividades socio productivo de las áreas productivas agrícolas, es así que la aplicación potencial de los sistemas de información geográfica SIG a través de herramientas informáticas de la agricultura de precisión, (Vera Ramírez, 2023), menciona que al obtener estrategias que se ajustan mediante diferentes modelaciones manipulando los factores que incide en la erosión de los suelos y de esta manera minimizar los resultados que causa los procesos erosivos en la cuenca del Rio Jubones.

## **1.2 Planteamiento del Problema**

Uno de los principales problemas dentro de la investigación es la evaluación de las posibles áreas afectadas por la erosión hídrica y cuantificar las pérdidas producidas por el proceso dinámico (Mendoza et al., 2023), indica que en la provincia de Manabí este factor incide significativamente en los problemas ambientales que tienen como resultado un problema erosivo en la región costa ecuatoriana.

La transformación que causa la erosión en la geomorfología indica (Zulaica et al., 2020), que es principalmente causada por los factores dinámicos que causan las precipitaciones, intensidad de lluvias, factor R y al suelo factor K, y dependiendo del tipo de suelo ya sean parámetros como textura, infiltración, y materia orgánica, donde la estructura se evalúa dependiendo de la longitud y pendiente que tiene como resultado a LS, en la cual se estima la cantidad de suelo que se puede perder por acción de las lluvias en una cuenca.

Un ejemplo claro es lo que sucede en el río Guayas, que conlleva la formación de islotes que es la acumulación del desprendimiento del suelo de las partes altas o de aguas arriba del río.

(Jaramillo-Véliz, 2021), señala que las herramientas SIG permiten manejar un modelo de predicción en las potenciales zonas afectas por diferentes escenarios climáticos, y al existir diferentes tipos de suelos y topografía, permite gestionar las múltiples medidas de conservación de suelo y a su vez establecer el manejo adecuado de las zonas agrícolas de la cuenca en estudio.

### **1.3 Pregunta científica.**

¿Es posible estimar la susceptibilidad de la cuenca del Río Jubones a la erosión hídrica a partir del uso de herramientas informáticas y la recopilación de información temáticas de los factores que intervienen en la ecuación de la USLE?

### **1.4 Planteamiento de Objetivos**

#### **1.4.1 Objetivo General**

- Desarrollar un SIG para evaluar la erosión hídrica en la cuenca del Río Jubones

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Analizar la información digital de las coberturas temáticas de cada uno de los factores principales que interviene en la ecuación de la USLE.
- Estimar las áreas susceptibles a procesos de degradación física en la cuenca del Río Jubones.
- Evaluar las pérdidas por erosión hídrica en la cuenca del Río Jubones.

### **1.5 Justificación**

La erosión hídrica según (Pisón & María, 2023), considera como una catástrofe natural que afecta de manera silenciosa ya que actúa de manera dinámica cada vez que ocurre un evento climático, y esto nos permite conocer como la agresividad dinámica actúa directamente dependiendo de las características de los suelos (Gálvez Valencia & Londoño García, 2023), indica que los factores de la erosión actúan como indicadores que inciden en los procesos erosivos, lo cual permite ir modelando un escenario y de esta manera anticipar las medidas adecuadas en la conservación y manejo de los suelos en la cuenca de estudio.

El uso de un modelo informático (Jaramillo-Véliz, 2021), permite utilizar la ecuación de la USLE, misma que es alimentada por diferentes factores obtenidos de entidades públicas que genera información actualizada para gestionar y analizar afectaciones, de los cuales se obtendrán las soluciones más adecuadas que permitan conservar el medio ambiente manteniendo una calidad óptima de los suelos.

La modelación de mapas según (Sabaté et al., 2022), en la presente investigación contribuirá a establecer un seguimiento de las áreas afectadas por el proceso erosivo y recomendar el manejo adecuado tanto en la mecanización y el riego como tal, y de esta manera encomendar los manejos adecuados y los cultivos aptos para el desarrollo en la zona de estudio.

## **Desarrollo de la investigación**

### **Capítulo 1: Marco Teórico**

#### **1.1. Marco teórico fundamental**

Según (Torres Benites et al., 2020) indica que los suelos son un medio en el cual se manifiesta los procesos de degradación de los suelos agrícolas en el estado de Chiapas, para la cual estableció un estudio de predicción de estos procesos erosivos y los cual constituye una herramienta metodológica para determinar mediante cartografía las área más susceptibles y afectada por estos procesos físico de degradación.

Una investigación realizada por (Gamboa Cruz, 2023), en la cuenca del rio Tumbes, en la que se utilizó la implementación de la ecuación universal de pérdidas de suelos (USLE), y aplicando la teledetección determino una tasa máxima de erosión potencial de 167.18 tm/ha/año, de las cual se determinó que es aproximadamente el 32% del área de la cuenca en estudio.

La determinación de la erosión hídrica en la cuenca del rio Chicama en Perú, según (Bocanegra Alza & Guzman Ventura, 2023), utilizo un método no experimental, transversal y descriptivo en la cual mediante la USLE y la recopilación de información cartográfica como técnica de revisión documental para lograr estimar que el 74% del área de la cuenca presenta unas pérdidas de suelo dominante que representa entre 33 y 143 tm/ha/año. Siendo valores significativos para establecer algún plan o medida de conservación la cuenca en estudio.

En el Ecuador, la erosión es la principal causa de la degradación del suelo, los factores antrópicos que incrementan la erosión van desde deforestación, uso intensivo del suelo, expansión del minifundio hasta el poco desarrollo tecnológico agrícola. En el país, de acuerdo con el Censo Nacional Agropecuario para el año 2020, 52.046,62 km<sup>2</sup> de su superficie presentaba uso agropecuario, de las cuales el 25,4% se encontraba bajo regadío, principalmente por gravedad a través de surcos de inundación y canteros (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo, 2022).

En las cuencas Andinas del Ecuador, la producción de sedimentos incluye la erosión en regueros, canales y movimientos en masa conocidos como deslizamientos, pero no todo el sedimento desprendido va directamente a los ríos, parte se deposita en zonas colinadas y planas de la cuenca baja, antes de llegar al río. Existe diferencia entre el desplazamiento del material más pesado, que rueda, salta, o se desliza, del más fino que es empujado por las partículas del fluido mientras está en suspensión. Al caudal sólido de las partículas pesadas se le conoce como carga de fondo, mientras que al de las finas se denomina carga suspendida, así como su suma es la carga total (Furbish, 2007).

### **1.2. Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada (RUSLE)**

USLE ha sido el modelo de erosión empírico frecuentemente utilizado y admitido para valorar las pérdidas de suelo en diversos países; sin embargo, posee algunas limitaciones como la interdependencia entre los factores. Este modelo fue diseñado para pequeñas pendientes por ello, la ecuación de RUSLE, mantiene la misma estructura para estimar la pérdida de suelo modificando la obtención de cada factor del modelo. Esta herramienta calcula la erosión laminar y en surcos generada por la precipitación y la escorrentía asociada, para un perfil de ladera (Alonso et al., 2007).

La metodología de la USLE es un modelo matemático empleado para calcular la tasa de erosión hídrica del suelo aceptado a nivel mundial por su facilidad de implementación y escalabilidad. La hipótesis principal de este enfoque es que la precipitación es el factor activo más importante de la erosión hídrica del suelo; sin embargo, la disgregación del material por salpicadura dependerá también de las condiciones y propiedades del suelo. Dado el patrón histórico de degradación del suelo en la MRM, se empleó el método USLE, tomando en cuenta factores topográficos, meteorológicos y edáficos, con el fin de realizar un análisis de la erosión hídrica del suelo (Loaiza & Silva, 2018).

Uno de los primeros modelos sencillos del proceso de la erosión hídrica fue propuesto por Meyer y Wischmeyer en 1969, demostraron que el impacto de las gotas de lluvia al caer sobre el suelo se lo conoce como erosión por “salpicadura”, que es el esfuerzo físico de compresión y corte del agua, que supera a la fuerza intersticial que sostiene a los agregados del suelo juntos; a

estas partículas individuales desprendidas del suelo también se las conoce como sedimentos (Van Rompaey, 2013).

La actividad agrícola se desarrolla constantemente en el territorio ecuatoriano aplicada mediante prácticas ancestrales como la quema después de la cosecha y antes del desbroce, para incrementar la productividad de los cultivos (cultivo de papa, haba en zonas de páramo). Por ello, la fertilidad del suelo es afectada en el transcurso de los años, y a su vez obteniendo suelos desnudos sin vegetación propensos a deslizamientos, desprendimientos o hundimientos (De Alba et al., 2011).

Los efectos negativos que puede conllevar la erosión del suelo son diversos: sobre terrenos agrícolas la erosión puede desencadenar la disminución de la profundidad cultivable y la fertilidad de los suelos, intensificando así la dependencia de fertilizantes y causando incluso el abandono de los terrenos agrícolas. En otros casos si la erosión es muy intensa puede alterar el funcionamiento de los ríos, la capacidad de retención de zonas inundables e incluso la colmatación y eutrofización de los embalses y masas de agua (Kravchenko & Guerrero, 2017).

El factor K, erosionabilidad del suelo, indica la susceptibilidad de los suelos a ser erosionados, así como la cantidad de erosión por unidad de índice de erosión para parcelas unitarias localizadas en dicho suelo; su determinación está en función del % de arena + limo, el % de arena, el % de materia orgánica, la estructura del suelo y la permeabilidad (Arias-Muñoz, 2023).

Los factores Longitud (L) y Pendiente (S) no son independientes en su acción sobre la erosión, porque el efecto de la topografía en la erosión se explica por la interacción de la longitud y la pendiente. El factor de cultivo (C) es la relación entre la pérdida de suelo en tierras cultivadas bajo condiciones específicas y la correspondiente pérdida de tierra labrada en barbecho continuo (Castro, 2013).

Cuando la capacidad de desprendimiento, del suelo es menor a la capacidad de transporte (como sucede en el caso de algunas arcillas), decimos que la erosión del suelo está limitada por su capacidad de desprendimiento; y al contrario cuando la capacidad de desprendimiento es mayor a la de transporte como en

las arenas, decimos que la cantidad y magnitud de la erosión está limitada por su capacidad de transporte (Kandel, 2004).

Un factor muy importante que interviene en los procesos de erosión es sin duda la cobertura vegetal, principalmente porque influye en la regulación del ciclo hidrológico. Entender cómo es la interacción planta-suelo puede ser muy útil al momento de proponer estrategias de manejo o conservación del suelo para evitar su riesgo de degradación (Zalewski, 2010).

Aunque el proceso de erosión es complejo, es posible caracterizar los principales factores que intervienen con algunos modelos. Un modelo de erosión pretende entender las leyes físicas y los elementos del paisaje, así como la escorrentía con el material parental del suelo. El modelo traduce estos factores en relaciones matemáticas y lo expone en los procesos de erosión hídrica fundamentales de desprendimiento, transporte y deposición (Jetten et al., 2003).

La estimación de las pérdidas de suelo según (Castro Mendoza, 2013), es de gran importancia ya que afecta de manera significativa a la calidad del agua en las zonas que se abastece para diferentes uso en su gran mayoría fines domestico de la cual la microcuenca Madin en México es la que abastece a gran parte de la comunidad que reside en esta zona de estudio La importancia de la estimación.

### **1.3. Marco teórico conceptual**

#### **1.3.1. Erosión y degradación de suelos**

La erosión hídrica según (Sequeira et al., 2019), la define como un fenómeno muy significativo en los procesos de degradación de los suelos en diversas unidades de producción a nivel mundial que causa un impacto en la producción y el rendimiento de las actividades agropecuarias.

La degradación de los suelos la define (Acevedo et al., 2021), como el proceso dinámico ya sea natural o artificial, las condiciones de las propiedades de los suelos se afectan por acción de incidencias externas en las cuales genera diferentes tipos de propiedades y características en los usos de los suelos y su actividad productiva.

#### **1.3.2. Uso de las herramientas SIG y zonificación de suelos**

El uso de los sistemas de información geográfica según (Betancourt Cruz et al., 2023), en la actualidad es una herramienta muy eficaz para la gestión de los recursos naturales tanto que se puede mediante el uso de cartografías temáticas la valoración de las afectaciones ocurridas por diferentes factores que inciden en las condiciones naturales de los sectores en estudio.

La zonificación de las diferentes áreas afectadas dinámicamente por cualquier tipo de agente externo según (Chacón et al., 2020), se lo puede cuantificar de manera más eficiente con el uso de herramientas SIG, ya que contribuye a la presentación dinámica de la información y de esta manera establecer, conocer y plantear las medidas más significativas para la gestión de los recursos naturales de las zonas afectadas en los diferentes tipos de estudios agrícolas y ambientales.

El estudio de la dinámica espacial de una zona en estudio en la que menciona (Humacata, 2019), se la puede realizar por medio de herramientas SIG ya que es de gran importancia científica ya que en un análisis identifica la dinámica y evolución de los suelos analizando patrones espaciales y obteniendo cartografía temática donde analiza las áreas afectadas por agentes externos dinámicos que intervienen en la formación de los suelos.

### **1.3.3. Factores dinámicos de la ecuación universal de suelos**

Según (Vera Onofre, 2020), las propiedades físicas es uno de los factores dinámicos que se ve afectado directamente en un proceso erosivo, entre los parámetros a evaluar son, la textura, información básica, estructura y materia orgánica, de las cuales se afectan a tal manera que se pierde y se va por escorrentía producto del arrastre producido por el agua.

La erosividad de la lluvias indica (Ricardo-Calzadilla et al., 2022), es el principal factor que interviene en los procesos de degradación física en especial la erosión hídrica puesto en un ensayo realizado en la cuenca del rio Palacios en cuba se estimó que más de 43% de las áreas fueron afectadas por este factor climático y que existe un área de moderado riesgo de erosión que aporta entre 10 a 17 tm/ha/año de material sedimentario hacia el mar.

La utilización del factor de longitud y pendiente según (Llomatumbi Paillacho & Chitalogro Yáñez, 2021), para la estimación de la erosión hídrica en la microcuenca del rio Chibunga, la realizo obteniendo este factor a partir de Modelos Digitales de Elevación (DEM), mismo que sirvió para estimar unas pérdidas de suelo que representa entre el 30 al 405 del área de la microcuenca, al tener una geomorfología accidentada según estimación cartográfica determinada mediante un SIG.

Mediante un análisis de recopilación de 20 años (Cabezas Caiza & Yacelga Lisintuña, 2021), determina un factor de agresividad de precipitación, mismo que permite establecer el grado de afectación de los suelos de la cuenca del rio Jubones y de la cual determino que el índice es relativamente bajo pero al cual se deberá estimar en función a los demás factores para ajustar más la afectación de los suelos producto de este factor climático.

#### **1.3.4. Efecto de la erosión sobre el suelo**

Según (Sequeira et al., 2022) en un ensayo manifiesta que uno de los principales impactos económicos es la erosión hídrica causada muchas veces por procesos naturales y en especial afecta a la región austral de Argentina teniendo un aumento en la pérdidas de las producciones y a los costos debido a que cada vez se incrementa las áreas sembradas que son en muchos casos áreas no aptas para el desarrollo de actividades agrícolas.

(Sánchez & Enriquez, 2021) indica que la erosión hídrica causa de que en la zona de Pillaro en Ecuador cerca del 70% de los suelos no pueden ser cultivadas debido a problemas de degradación física en un estudio se realizó a 196 familias indicaron que esta situación causa un gran perjuicio económico debido a la falta de áreas para poder desarrollar labores agrícolas adecuadas que permita sostener la economía del sector.

En trabajos realizados por (Matías Ramos et al., 2020), indica que la implementación de sistemas agroforestales son importantes rubros que mejora en la aportación de bienes económicos a diferentes sectores involucrados en las actividades agrícolas, y son amenazados en la actualidad, en México debido a los efectos que causados los procesos erosivos puesto, que determinaron una pérdida en la capas superficiales de los suelos agrícola y teniendo una correlación directos con procesos de compactación de los suelos y pérdidas en el componente orgánico de suelo.

#### **1.4. Marco teórico Situacional**

La cuenca del Rio Jubones está ubicada según (Arias, 2022), entre las provincias del Azuay, El Oro y Loja, la cual comprende un área aproximada de 4285 km<sup>2</sup>, en las cuales presenta diferentes pisos altitudinales que comprende entre 2500 y 3000 msnm, tiene una longitud de 79° 40´ y latitud de 3° 21´ en el cual está el rio Jubones con 145 km de longitud.

Un estudio presentado por (Escobar Quintero, 2021), determina que existe un grado de erosión severa en la microcuenca del Rio Amarillo perteneciente a la cuenca del rio Jubones, en la provincia de El Oro, en la cual se la determinó comparando dos técnicas de evaluación mediante la USLE, y cartografía digital para establecer el grado de afectación en los suelos de la zona en estudio.

Según (Delgado et al., 2021); indica que actividades antropogénicas dentro la provincia de El Oro son las principales causantes de los procesos de degradación de suelos, determinando así las causas de las diferentes condiciones de manejo de los suelos.

Según, (Montatixe Sánchez & Eche Enriquez, 2021) indicaron en su investigación que la degradación de los suelos causa un problema muy significativo en las diferentes sistemas productivos de las cuales es de gran importancia la evaluación de las zonas potencialmente afectadas por algún tipo de proceso de degradación en los suelos.

### **1.5. Marco teórico contextual**

Según (Chipana Quispe, 2022), utiliza la fórmula universal de suelos (USLE) para estimar pérdida anual de suelos, que es un método cuantitativo desarrollada por ICONA en 1988 y que consta de diferentes factores que son: Agresividad climática (R), Erodabilidad del suelos (K), longitud y pendiente (LS), que con ayuda tecnológica permite agilizar los procesos para la determinación de esta afectación ambiental.

En trabajos realizados por (Barcos Aguirre, 2023), sobre los efectos de la desertificación causada por problemas de deforestación en la cuenca del Río Jubones indica que existe un gran probabilidad de desarrollar problemas ambientales a causa de la degradación física, ya que al no tener una cubierta vegetal, estos suelos se vuelven más susceptibles a erosión hídrica a causa de precipitaciones atípicas a causa del cambio climático.

Una evaluación de los suelos elaborado por (Romero Macas, 2017), en una zona de la provincia del El Oro, que está dentro de la cuenca del Río Jubones, determinó que la mayor parte de la degradación de los suelos agrícolas es producto del mal manejo de los suelos el cual causa pérdida de las propiedades físicas que son el mayor indicador de la calidad de ese recurso edáfico.

La situación actual del sitio de estudio según (Espinoza, 2022), indica que el Río Jubones se encuentra, con rango de medio a alto, en afectación ambiental que corresponde a elementos pesados, sedimentos y coliformes, que afectan a las condiciones ambientales y de uso de este recurso natural.

## Capítulo 2: Metodología del proceso de investigación

Mediante la recolección de información cartográfica digital y de datos estadísticos, se implementó el levantamiento planimétrico mediante el uso de herramientas de información geográfica para la estimación de las pérdidas por erosión hídrica en la cuneca del Río Jubones, mismo que no se consideró variables de cobertura vegetal y prácticas de conservación ya que esta se tendría que dar como alternativas de conservación y de usos de los suelos en la cuenca en estudio.

Mediante la fórmula de la ecuación universal de las pérdidas de suelos (USLE), la cual consiste en diferentes variables que interactúan como el clima, suelos y la topografía y variables dinámicas que actúan sobre el proceso erosivo de los suelos, la fórmula a continuación se la utilizó mediante la herramienta de calculadora algebraica de mapas ráster que poseen cualquier plataforma del software SIG.

$$A = R * K * Ls$$

Donde:

A= Erosión hídrica Tm/Ha/año.

R= Erodabilidad del suelo.

Ls= Factor topográfico.

En la presente investigación se recolectó información de datos cartográficos digitales de libre acceso de la cuenca del Río Jubones, establecidos en las plataformas estatales, como: Ministerio de Agricultura y ganadería (MAGAP), Instituto nacional de meteorología e hidrología (INAMHI), y el Instituto geográfico militar (IGM),

Para determinar la variable de agresividad climática se procedió a utilizar las siguientes fórmulas.

## 2.1 Factor R. Erodabilidad del suelo

Se recolectó información pluviométrica de 15 años, de las estaciones que se encuentran dentro y fuera de la cuenca del Río Jubones, para cual se calculó en primer lugar el Índice Modificado de Fournier (IMF), el cual consiste en tomar todos los datos mensuales de precipitación y dividir por el promedio anual de cada una de las estaciones observadas, la cual se detalla a continuación:

$$IMF = \frac{\sum_1^{12} (p)^2}{Pm}$$

Donde:

$P^2$  = Precipitación media (mm)

$Pm$  = Precipitación media anual

Una vez obtenido el IMF se calculó el factor de agresividad climática aplicando la siguiente fórmula:

$$E = 0.1191 + 0.0873 \log_{10} I$$

Con la ecuación se procedió a determinar y calcular la variable de agresividad climática y por medio de la geoestadística utilizando la interpolación de kriging, se generó las isoyetas que representan las áreas de agresividad climática, para luego convertir el archivo vectorial en una imagen ráster que permitió utilizarla en la ecuación de la USLE.

Por los datos originados en la presente investigación se considera de tipo explicativa, ya que mediante un SIG se procesó la información cartográfica digital, en la cual se estimaron mediante la ecuación universal de pérdidas de suelos (USLE), asignando el nombre de ráster R.

## 2.2 Factor K. Erosión del suelo

Para el cálculo de este factor se consideró información de suelo de la cuenca del Río Jubones a partir de un archivo formato informático conocido como shapefile que tiene extensión (SHP), de la demarcación hidrográfica del Ecuador que está en la página de SNI (Sistema nacional de información), del polígono de la cuenca, para ello se extrajo la información de suelos del Ecuador, se obtuvo los atributos de las propiedades físicas de suelo tales como: textura, materia orgánica (MO), al igual de la página de la FAO (Soil portal of the world), y se calculó este factor recurriendo de la siguiente fórmula de Williams:

$$K = 0.1317x f(\text{arena fina}) x f(\text{arcilla} - \text{limo}) x f(\text{mo}) x f(\text{arena gruesa})$$

Donde:

K = Erodabilidad del suelo.

f (arena fina) = Factor de partícula de arena.

f (arcilla-limo) = Factor de partículas de arcilla – limo.

f (Mo) = Factor de carbono orgánico.

f (arena gruesa) = Factor de arena gruesa

Una vez obtenidos estos datos se procedió a calcular y enviar los datos a una hoja de cálculo, para lograr determinar cada uno de los factores que forma la ecuación de erodabilidad la cual se describe a continuación.

$$f(\text{arena fina}) = \left(0.2 + 0.3 \exp \left[ -0.0256 m_{\text{arena}} \left( 1 - \frac{m_{\text{limo}}}{100} \right) \right] \right)$$

$$f(\text{arcilla} - \text{limo}) = \left( \frac{m_{\text{limo}}}{m_{\text{arcilla}} + m_{\text{limo}}} \right)^{0.3}$$

$$f(\text{mo}) = \left[ 1 - \frac{0.25 x mo}{mo + \exp(3.72 - 2.95 X mo)} \right]$$

$$f(\text{arena gruesa}) = \left[ 1 - \frac{0.70 \left( 1 - \frac{m_{\text{arena}}}{100} \right)}{\left( 1 - \frac{m_{\text{arena}}}{100} \right) + \exp \left[ -5.51 + 22.9 \left( 1 - \frac{m_{\text{arena}}}{100} \right) \right]} \right]$$

Donde:

$M_{\text{limo}}$  = porcentaje de limo.

$M_{\text{arena}}$  = porcentaje de arena.

$M_{\text{arcilla}}$  = porcentaje de arcilla.

$M_o$  = porcentaje de materia orgánica

Una vez calculado los factores correspondientes se procedió a generar el ráster mediante la caja de herramientas de la plataforma SIG y del cual se le asigna el nombre K.

### 2.3 Factor topográfico LS

La data que representa a la topografía se la obtuvo a partir de las imágenes Lansat y del radar de la NASA, que están de libre acceso; para este factor se utilizó el software Global Mapper, donde se generó el modelo digital de elevación (DEM), y mediante el polígono de la cuenca se lo utilizó para delimitar el área a extraer y por medio de una superposición de imagen de la Nasa con una resolución de 30 x 30 cm, generando una imagen ráster de la cual luego se procedió a determinar los factores de L y S de la siguiente formula:

$$LS = \left(\frac{x}{22.13}\right)^m (0.065 + 0.045 x S + 0.0065 x S^2)$$

$$L = \left(\frac{x}{22.13}\right)^m$$

$$S = \frac{0.43 + 0.3 x S + 0.043 x S^2}{6.613}$$

Donde:

M = Constante de inclinación de pendiente.

S (%)	m
>= 5	0.5
3 – 5	0.4
1 – 3	0.3
<= 1	0.2

Donde:

X= Longitud de la ladera.

S = Factor de inclinación.

S= Inclinación en porcentaje.

Pero para la presente investigación se utilizó una variante de la ecuación, ya que se estimaron mediante imágenes DEM y de la cual procedió a usar la siguiente ecuación que Velázquez & Gover (2008), proponen para usar en los SIG, ya que se analizan los pixeles que generan la imagen ráster, primero se estableció un mapa de pendiente (slope), de toda el área analizar, seguido del parámetro F en función a la pendiente, y finalmente se consideró el parámetro (m), que es la pendiente, tomando en cuenta el factor (D), que es el tamaño del pixel y luego se procesó el ráster de LS con las fórmulas a continuación:

$$L = \frac{[A + D^2]^{(m+1)} - A^{m+1}}{x^m D^{m+2} (22.13)^m}$$

$$F = \frac{\text{sen } \beta / 0.0896}{3(\text{sen } \beta)^{0.8} + 0.56}$$

$$m = \frac{F}{1 + F^2}$$

$$S = 10.8 \text{ sen } \beta + 0.03$$

$$S = 16.8 \text{ sen } \beta - 0.5$$

Donde:

$\beta$ = Pendiente a nivel de pixel (debe de estar expresados en radianes, a grados multiplicar por (0.01745)).

A= Acumulación de flujo a nivel de pixel.

D= Lado del pixel.

X= Coeficiente de forma del pixel (x=1).

F= Función de la pendiente

m= Factor de pendiente

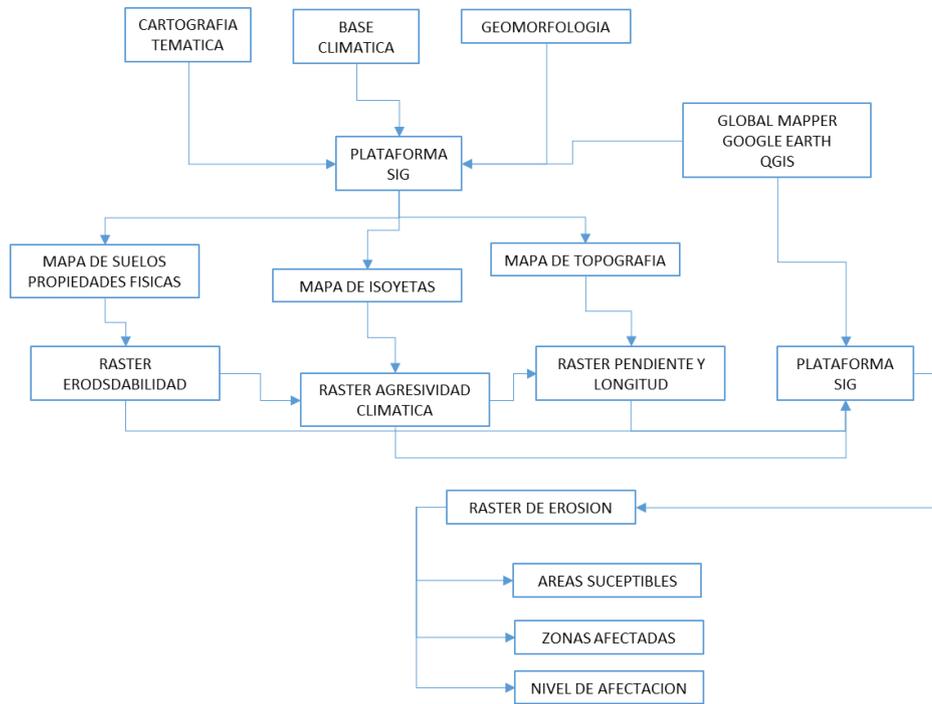
Con la herramienta espacial generamos un mapa de pendiente (slope) y generamos el mapa en grados, luego del ráster generado utilizamos la calculadora algebraica de mapas, para lo cual introducimos la fórmula (F) y se generó un ráster al que llamamos (F), de igual manera usando la calculadora algebraica generamos el factor de (m), que resulta otra imagen ráster a partir de la imagen DEM, para determinar el valor del tamaño del pixel que es (D), se observó el tamaño del pixel del DEM y para ello se introdujeron en la fórmula (L), donde estimamos la dirección del flujo y generamos la acumulación del flujo de la energía (A).

Los parámetros generados, se aplicaron con la formula (L), mediante la calculadora algebraica del mapa, procediendo a calcular el factor S con las fórmulas anteriores tomando en cuenta las condiciones según su ángulo de pendiente, el cual se genera en el ráster de S, y el ráster de L y S, multiplicándolos con la herramienta de algebra de mapas donde se obtuvo el ráster llamado LS.

#### **2.4 Estimación de la erosión A**

Con las imágenes ráster desarrolladas se procede a multiplicar las capas de cada una de las variables que comprende la ecuación de la USLE, misma que por medio de colores se procede a determinar las zonas susceptibles al proceso erosivo, una vez procesados estos datos se realizaron los diferentes mapas temáticos correspondientes al análisis, como se muestra en el flujograma de trabajo de investigación. (Ver imagen 1)

Figura 1. Flujograma de trabajo



Fuente: Elaboración propia.

## **2.5 Enfoque de la investigación**

Por el origen de los datos que fundamentaron la presente investigación se logró establecer que el presente estudio es de enfoque cualitativo, ya que, por medio de la información estadística, y cartográfica nos permite establecer el recurso de la implementación de un sistema de información geográfica SIG, tomando en consideración en forma general las potenciales zonas afectadas por los procesos erosivos, que están siendo dañadas potencialmente por las variables climáticas, edáficas y topográficas del sitio en estudio.

### **2.5.1 Tipo de investigación**

Esta investigación se enfoca de manera exploratoria, descriptiva y explicativa, ya que el estudio permite establecer el problema que causan las precipitaciones causadas por los diferentes fenómenos naturales que se desarrollan en cada temporada de invierno, en la cual afectan de manera significativa los suelos y la topografía que incide de manera directa sobre la degradación de los suelos en la cuenca del Río Jubones, permitiendo así identificar las causas que afectan la degradación de la zona de estudio.

## **2.6 Periodo y lugar donde se desarrolla la investigación**

La presente investigación se desarrolló durante los meses de agosto a diciembre del presente año, seleccionando la cuenca del Río Jubones que está ubicada entre las provincias: Azuay, El Oro, y Loja, con un área de aproximadamente 4285 km<sup>2</sup>, y con las siguientes coordenadas: longitud 79° 40'; y latitud 3° 21' 07", situadas al sur oeste ecuatoriano y que desemboca hacia el océano pacífico.

### **2.6.1 Universo y muestra de la investigación**

Los datos que comprenden la presente investigación son los datos climáticos de precipitación de las 19 estaciones meteorológicas de 15 años de data, y que influyen sobre los 4285 km<sup>2</sup> de superficie de la cuenca del Río Jubones, en los que se determinó 10 unidades de suelos distribuidos en la zona de estudio.

## **Materiales usados**

- Mapas digitales en formato SHP o CAD, correspondiente a la cuenca del Rio Jubones, red Hídrica del Ecuador, Zonas pobladas, centros poblados.
- Cartas digitales 1:50000 del IGM en las que cubra la cuenca en estudio.
- Datos meteorológicos del INAMHI de las estaciones que se encuentre en un área de influencia de la cuenca en estudio.
- Imágenes DEM de la zona de Estudio de la cuenca del rio Jubones.
- Imágenes landsat 7 de la cuenca del rio Jubones

## Capítulo 3

### Análisis e interpretación de los resultados de la investigación.

#### 3.1. Analizar la información digital de las coberturas temáticas de cada uno de los factores principales que interviene en la ecuación de la USLE.

La información recolectada para el proceso de la investigación fue desarrollada por medio de diferentes plataformas libres, y de fuentes públicas estatales, con la utilización de diferentes softwares las mismas que se detallan a continuación:

##### 3.1.1. Factor Climático

Este parámetro se lo desarrollo mediante la recopilación de la información climática de 15 años de precipitaciones y de las 19 estaciones meteorológicas estatales del Ecuador, se utilizó la plataforma de Aquastat, de la página de la FAO, en la cual se tabuló y se obtuvieron las variables climáticas de precipitación (mm), misma que se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Variable Climática Parámetro Precipitación (mm)

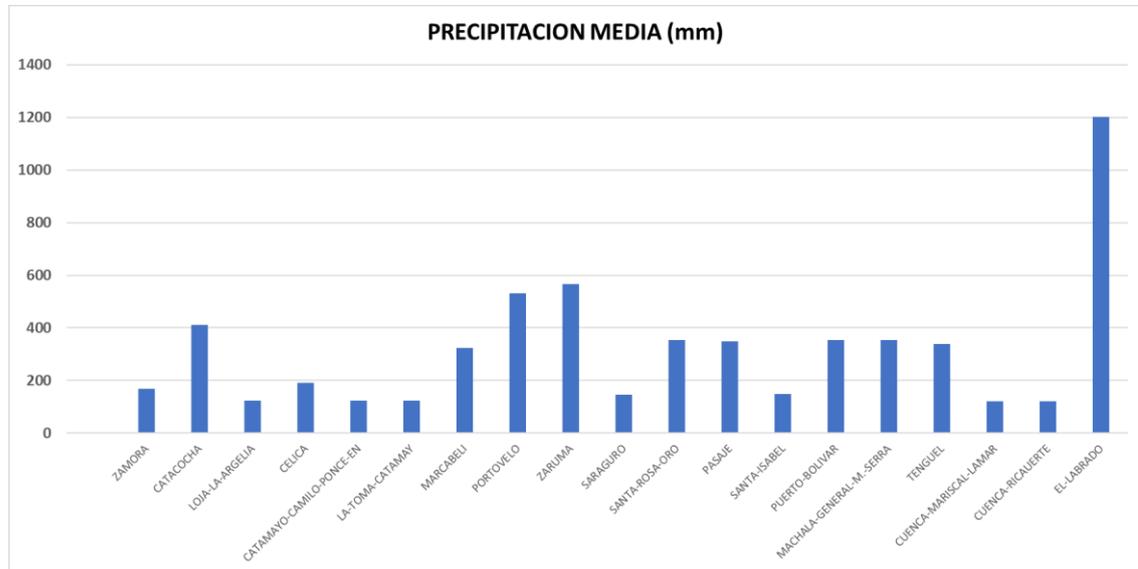
COD	ESTACION	PRECIPITACION MENSUAL (mm)												PRECIP TOTAL (mm)	PRECIPITACION MEDIA (mm)
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
EC48ZMRO	ZAMORA	201.67	154.67	210.00	168.00	138.67	189.33	186.00	139.33	112.00	127.67	195.00	186.33	2008.7	167.4
EC49CTCC	CATACOCHA	663.67	461.00	582.00	757.00	485.00	333.67	200.33	134.33	233.33	333.00	300.67	437.33	4921.3	410.1
EC49LRGL	LOJA-LA-ARGELIA	248.67	186.00	349.00	163.67	105.67	55.33	21.33	9.00	12.00	78.33	115.33	135.67	1480.0	123.3
EC49CLCO	CELICA	404.33	367.67	374.00	338.33	246.33	104.67	44.00	39.33	36.33	60.67	98.33	179.67	2293.7	191.1
EC49CTMY	CATAMAYO-CAMILO-PONCE-EN	248.67	186.00	349.00	163.67	105.67	55.33	21.33	9.00	12.00	78.33	115.33	135.67	1480.0	123.3
EC39LTMC	LA-TOMA-CATAMAY	248.67	186.00	349.00	163.67	105.67	55.33	21.33	9.00	12.00	78.33	115.33	135.67	1480.0	123.3
EC39MRCB	MARCABELI	668.33	634.00	488.33	468.67	478.00	423.00	172.67	88.33	48.67	71.00	101.67	226.67	3869.3	322.4
EC39PRTV	PORTOVELO	745.50	714.33	803.00	733.00	526.00	512.00	346.00	292.67	377.33	405.00	393.67	530.67	6379.2	531.6
EC39ZRM0	ZARUMA	873.33	714.33	803.00	834.33	711.67	512.00	346.00	292.67	377.33	405.00	393.67	530.67	6794.0	566.2
EC39SRGR	SARAGURO	265.00	204.00	379.33	214.00	100.00	44.00	23.00	15.33	33.67	111.67	212.67	161.00	1763.7	147.0
EC39SNTR	SANTA-ROSA-ORO	510.33	765.67	607.67	437.33	557.67	558.33	211.67	93.67	71.67	103.67	112.00	222.00	4251.7	354.3
EC39PSJO	PASAJE	510.33	765.67	607.67	437.33	558.00	491.67	211.67	93.67	71.67	103.67	112.00	222.00	4185.3	348.8
EC39SNTS	SANTA-ISABEL	212.00	227.67	198.67	152.00	129.33	22.67	26.33	4.67	72.00	174.33	253.33	292.00	1765.0	147.1
EC30PRTB	PUERTO-BOLIVAR	494.67	784.33	549.00	340.67	543.00	637.00	264.00	89.67	79.67	134.33	112.67	207.00	4236.0	353.0
EC39MCHL	MACHALA-GENERAL-M.-SERRA	494.67	783.67	549.00	340.67	543.00	637.00	264.00	89.67	79.67	134.33	112.67	207.00	4235.3	352.9
EC29TNGL	TENGUEL	875.67	766.67	699.00	412.00	449.00	272.00	136.00	72.33	104.67	88.67	87.00	110.00	4073.0	339.4
EC28NCM	CUENCA-MARISCAL-LAMAR	173.33	154.67	239.00	106.67	120.67	56.67	49.33	29.67	32.00	134.33	218.33	132.33	1447.0	120.6
EC28CNCR	CUENCA-RICAUERTE	173.33	154.67	239.00	106.67	120.67	56.67	49.33	29.67	32.00	134.33	218.33	132.33	1447.0	120.6
EC29LLBR	EL-LABRADO	2190.33	1782.33	2004.33	1723.67	1860.00	1474.00	1136.67	635.67	533.00	363.67	212.00	506.33	14422.0	1201.8
<b>total de precipitacion en la cuenca</b>		<b>10202.50</b>	<b>9993.33</b>	<b>10380.00</b>	<b>8061.33</b>	<b>7884.00</b>	<b>6490.67</b>	<b>3731.00</b>	<b>2167.67</b>	<b>2331.00</b>	<b>3120.33</b>	<b>3480.00</b>	<b>4690.33</b>	<b>72532.2</b>	

Fuente: Elaboración propia.

Los datos del factor climático del parámetro de precipitación, evidenció la variabilidad de las precipitaciones de 15 años, mismas en las que se puede evidenciar que las precipitaciones máximas equivalen a 1201.8 mm y una precipitación mínima de 120.06 mm, debido a que en la cuenca se comparten 3 provincias y 2 regiones climáticas diferentes, como se evidencia en el mapa temático de distribución espacial de lluvias donde la mayor precipitación es en la

zona del labrador y la mínima en la zona de cuenca como se puede ver en la figura 2.

Figura 2. Distribución de las precipitaciones



Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente luego de la tabulación, se tomó en consideración la variable precipitación, para lo cual se realizó un mapa temático de isoyetas. (Anexo 2); Por consiguiente, se procedió a calcular el índice modificado de Fournier para cada una de las 19 estaciones meteorológicas, distribuyendo estos cálculos en el factor de agresividad climática el cual se evidencia en la tabla 2.

Tabla 2. Tabulación de IMF y Factor R

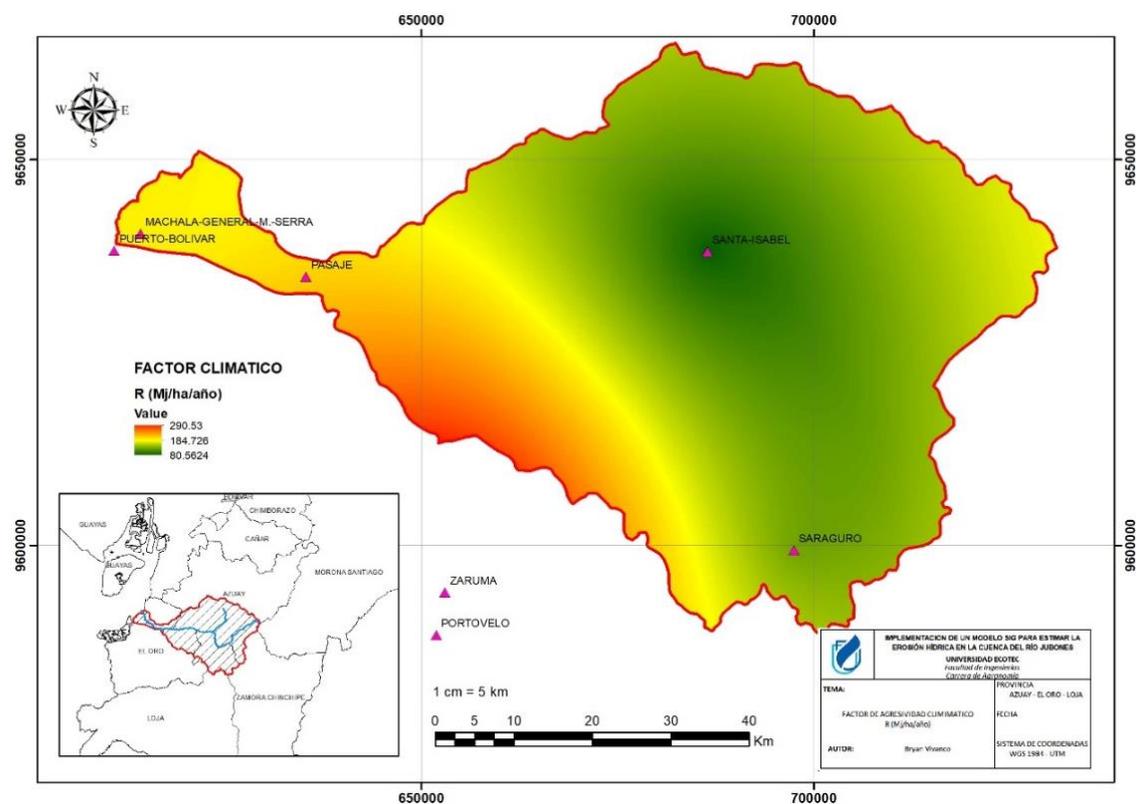
COD	ESTACION	PRECIPITACION MEDIA (mm)	IMF	R (Mj/ha/año)
EC48ZMRO	ZAMORA	167.4	20.25	63.03
EC49CTCC	CATACUCHA	410.1	89.50	306.85
EC49LRGL	LOJA-LA-ARGELIA	123.3	41.78	136.33
EC49CLCO	CELICA	191.1	71.28	240.79
EC49CTMY	CATAMAYO-CAMILO-PONCE-EN	123.3	41.78	136.33
EC39LTMC	LA-TOMA-CATAMAY	123.3	41.78	136.33
EC39MRCB	MARCABELI	322.4	115.44	402.39
EC39PRTV	PORTOVELO	531.6	87.12	298.18
EC39ZRM0	ZARUMA	566.2	112.26	390.61
EC39SRGR	SARAGURO	147.0	39.82	129.52
EC39SNTR	SANTA-ROSA-ORO	354.3	61.26	204.91
EC39PSJO	PASAJE	348.8	62.23	208.37
EC39SNTS	SANTA-ISABEL	147.1	25.46	80.45
EC30PRTB	PUERTO-BOLIVAR	353.0	57.77	192.49
EC39MCHL	MACHALA-GENERAL-M.-SERRA	352.9	57.77	192.53
EC29TNGL	TENGUEL	339.4	188.26	677.43
EC28CNCR	CUENCA-MARISCAL-LAMAR	120.6	20.76	64.74
EC28CNCR	CUENCA-RICAUERTE	120.6	20.76	64.74
EC29LLBR	EL-LABRADO	1201.8	332.66	1242.12

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 2 se puede señalar que el valor máximo de agresividad climática corresponde a 1242.1 Mg/ha/año que reporta la estación del labrado en la provincia del Azuay, que es una zona fuera de la cuenca del sitio en estudio y; la estación que está dentro de la cuenca arrojó un valor máximo de 208.37, de la estación ubicada en Pasaje, en la estación Puerto Bolívar se registró una agresividad climática de 192.49 Mg/ha/año y finalmente en la provincia de El Oro se presentaron valores de 80.45 Mg/ha/año.

La información tabulada de la presente investigación se la generó utilizando el software de la plataforma GIS, en la cual se diseñó y se ilustró un mapa temático, considerando el factor climático denominada R, mismo que se observa en la imagen 1, donde se puede demostrar que la agresividad climática se manifiesta en la zona sur-oeste de la cuenca del Río Jubones, resultando en valores de aproximadamente un 10% del área más susceptible (rojo), el 25 % representa un área susceptible media (amarillo) y finalmente el 65% simboliza un área susceptible baja del proceso de la agresividad climática (verde).

Figura 3. Mapa temático Agresividad Climática R



Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.2. Factor Edáfico

Para el procesamiento de datos del factor edáfico se tomaron como referencia las características del tipo de suelo, como su textura, infiltración, área y la capa superficial del suelo, rasgos que influyen en la erosión del suelo, para lo cual se realizó el cálculo mediante una plataforma de libre acceso en línea elaborado por la FAO, mismo que describe los diferentes parámetros físicos, y químicos de los suelos a nivel mundial, esta información, se la consiguió determinar del factor de Erodabilidad, el cual mediante fórmulas se extrajeron los siguientes datos que se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Parámetros Edáficos

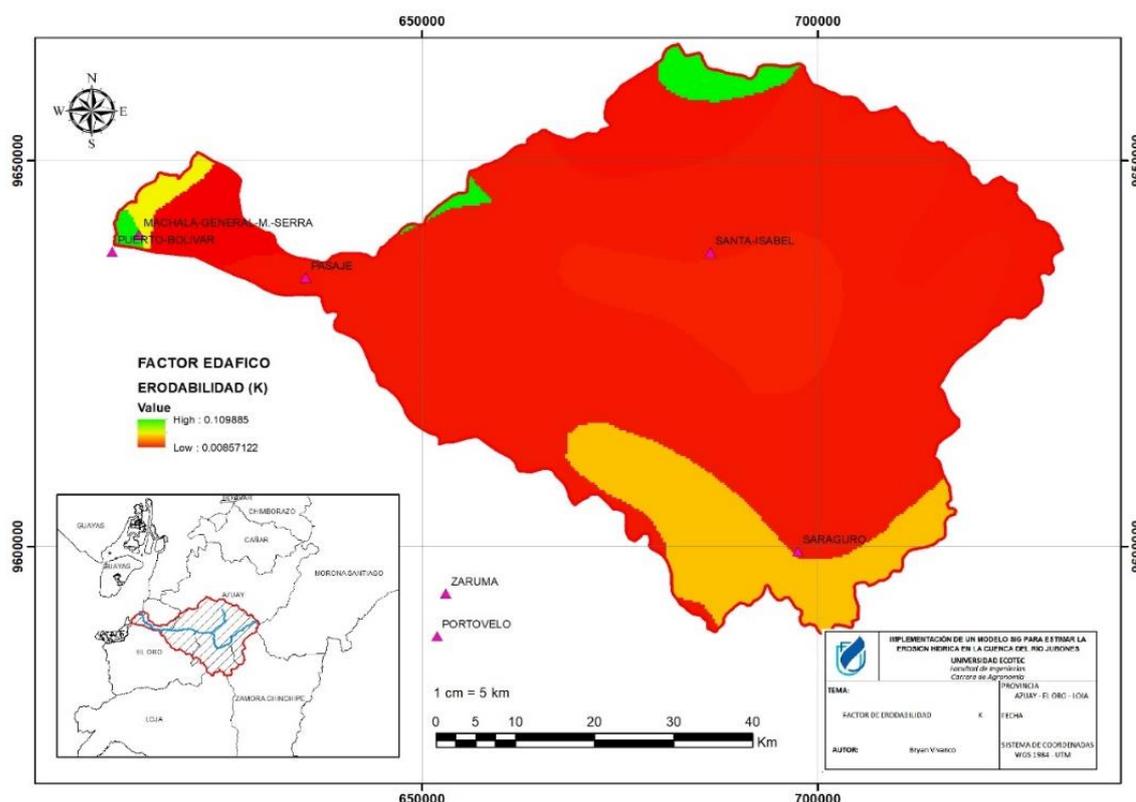
Simbolo suelo FAO	% arena	% limo	% arcilla	% mo	area	textura	infiltracion
<b>BH</b>	55.2	21	23.8	3.86	776.2	franco arcillo arenoso	15
<b>HL</b>	39.1	26.5	34.6	1.46	47867.2	franco arcilloso	4.25
<b>I</b>	58.9	16.2	24.9	0.97	276866.2	franco arcillo arenoso	11.21
<b>JE</b>	70.8	12.8	16.5	1.15	12328.1	franco arenoso	28.65
<b>ND</b>	38.9	17.6	43.6	1.57	1525	arcilloso	1.1
<b>RE</b>	68.3	15.1	16.6	0.5	4486.3	franco	20.68
<b>TH</b>	41	41.3	17.7	7.03	21467.6	franco	18.35
<b>TM</b>	31.2	39.6	29.2	3.95	6733.6	franco arcilloso	7.14
<b>XH</b>	54.8	20.6	24.9	0.53	43007.3	franco arcillo arenoso	11
<b>ZG</b>	47.8	8.5	43.8	0.38	1314	franco arenoso	0.65

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 3, se puede observar que los parámetros edáficos de la textura de suelos que más predominó en la cuenca del Río Jubones son los suelos: franco arcilloso arenoso con un promedio de infiltración entre 11 a 15 mm/h, seguido de los suelos francos, con una infiltración que va 18.35 a 20.68 mm/h, y los suelos con parámetros edáficos que se encuentran en menor proporción son los suelos arcillosos, franco arcilloso y franco arenosos con infiltración entre 4,25 y 7,14 mm/h.

Además, los valores de los parámetros edáficos establecieron que el factor K corresponde a la susceptibilidad de los suelos a procesos de erosión hídrica, el cual se presenta en el mapa temático de erodabilidad del factor edáfico.

Figura 4. Mapa temático Factor Edáfico K



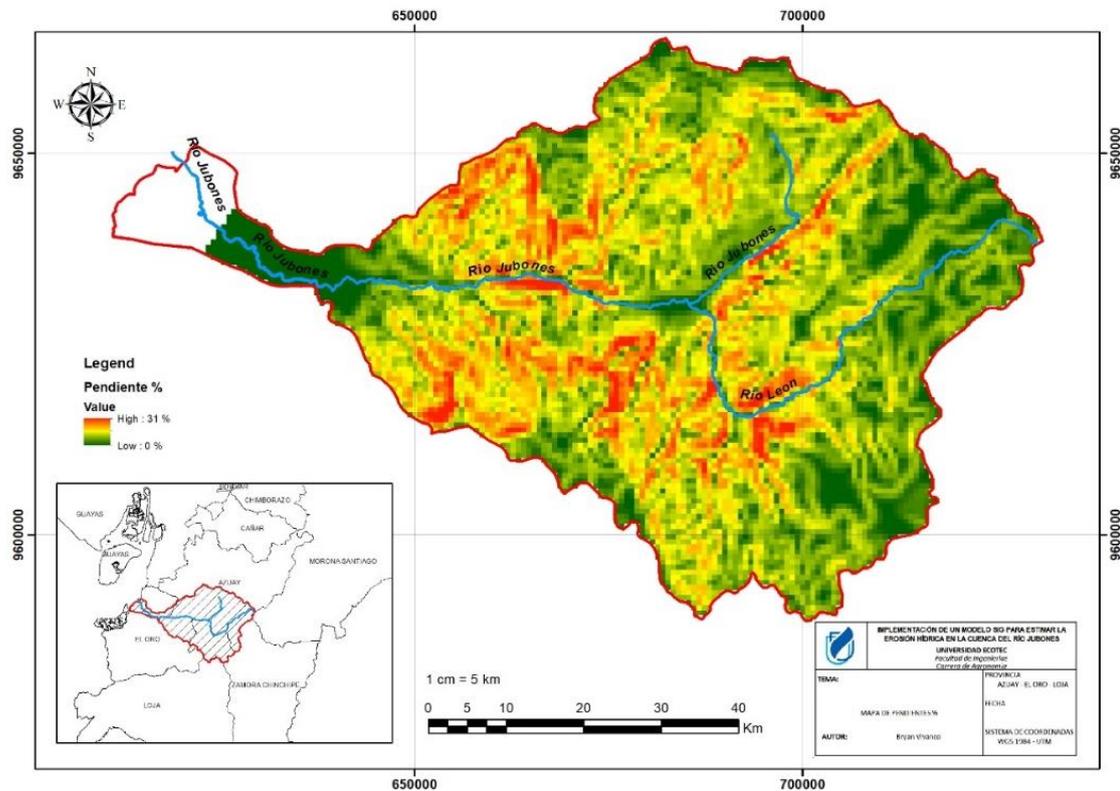
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 4, mediante un sistema de información geográfica se consiguió establecer el factor edáfico “K”, en el cual se generó mapas para mostrar la distribución espacial de la erosionabilidad, y los resultados mostraron que cerca del 70% (rojo) del área es susceptible a procesos hídricos erosivos, los cuales están establecidos en la parte central de la cuenca del Río Jubones, en contraste, el 20% (naranja) del área de la cuenca se observa un proceso erosivo medio y cerca del 10% (verde-amarillo) que equivale a procesos erosivos bajos, en los cuales mayoritariamente son causados por las propiedades físicas de los suelos. Esta distribución de las propiedades físicas de los suelos se lo representa en el mapa temático de propiedades edáficas (Ver Anexo).

### 3.1.3. Factor Topográfico

Este parámetro se lo determino mediante la utilización de un software que permitió extraer un Modelo DEM, mismo que es aplicado en un SIG, en el cual se establecieron las curvas de nivel para instaurar la topografía y luego calcular la pendiente, observando en la ilustración 5 las zonas más sensibles de un proceso erosivo en la cuenca del Río Jubones.

Figura 5. Mapa de Pendiente

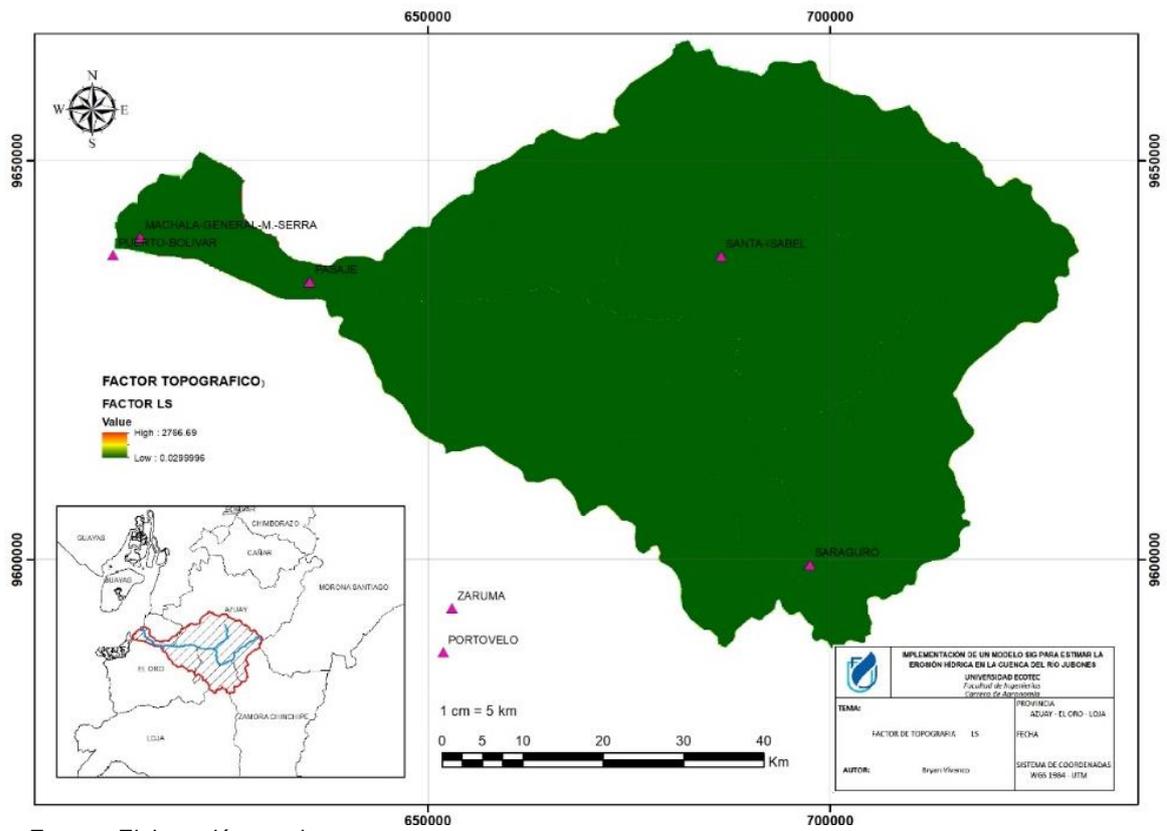


Fuente: Elaboración propia.

En la ilustración del mapa temático 5, del factor topográfico en la zona de estudio se utilizó para desarrollar un mapa de factor LS, que es la relación de pérdida de suelo que se espera en un área específica para una pendiente determinada, es así que en el presente estudio demuestra a través del mapa, que la pendiente máxima es del 31% (rojo) que corresponde a una topografía poco accidentada y en las pendientes menores suelen llegar a una pendiente del 0% (verde), que equivale a una topografía plana, por lo tanto, se puede evidenciar que la topografía no representa mayor riesgo de erosión hídrica salvo el caso de las áreas aledañas al Rio Jubones como se representa a continuación en el mapa de Factor LS que representa la longitud y pendiente.

Mediante la definición de capas de colores a través de los SIG, determinamos que las tasas de pérdida de suelo del Río Jubones con referente a la pendiente podrían reducirse a un nivel que no afectará significativamente a la productividad del suelo a largo plazo del sitio en estudio.

Figura 6. Mapa de Factor Topográfico LS



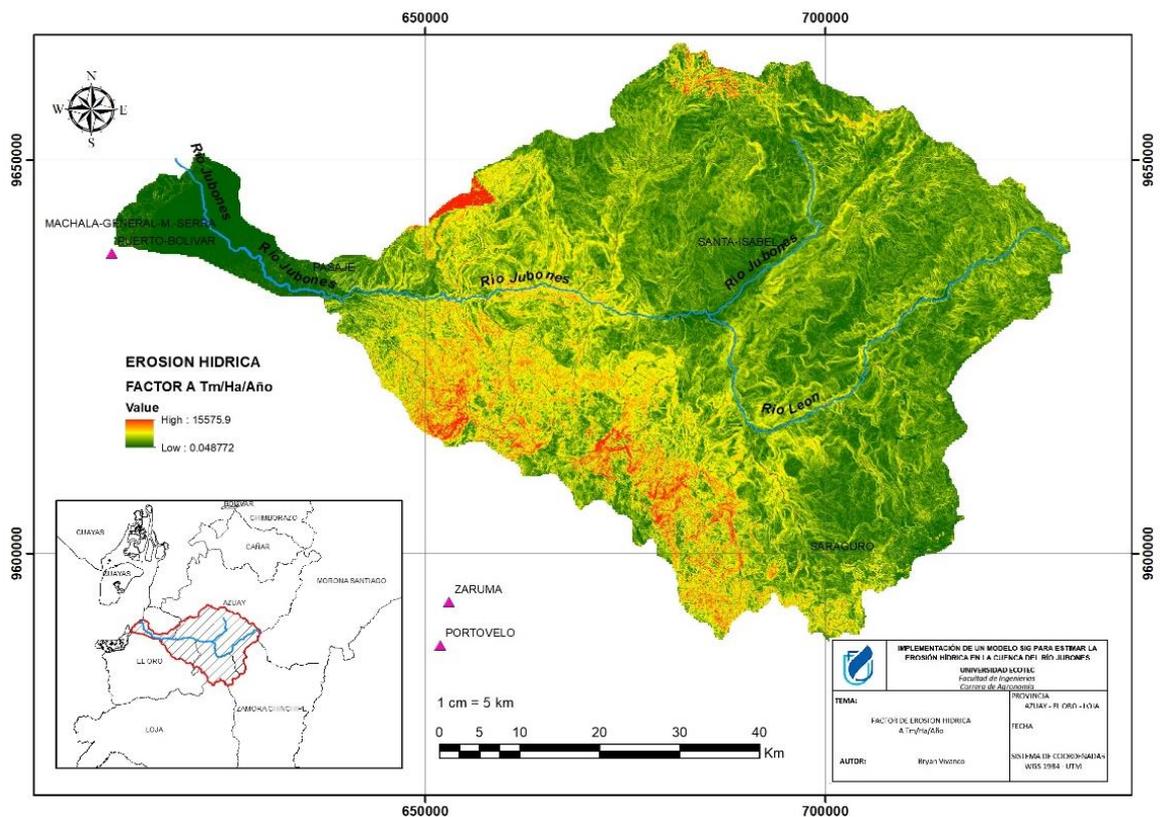
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Estimación de las áreas susceptibles a procesos de degradación física en la cuenca del Río Jubones.

Una vez obtenido la delimitación y las generaciones de los factores que conforman la ecuación universal de los suelos (USDA), se estimó, mediante un sistema de información geográfica SIG y la información cartográfica de los centros poblados sensibles a un proceso erosivo, en el cual se muestra en la imagen 5 que corresponde a las áreas susceptibles a erosión hídrica.

La degradación de la tierra en la provincia de El Oro, indica una disminución atenuante de la capacidad productiva y la funcionalidad de la tierra en esta zona, casi la mitad del total de la tierra terrestre cerca del Río Jubones enfrenta degradación debido a diferentes procesos de erosionabilidad.

Figura 7. Mapa de Erosión Hídrica A



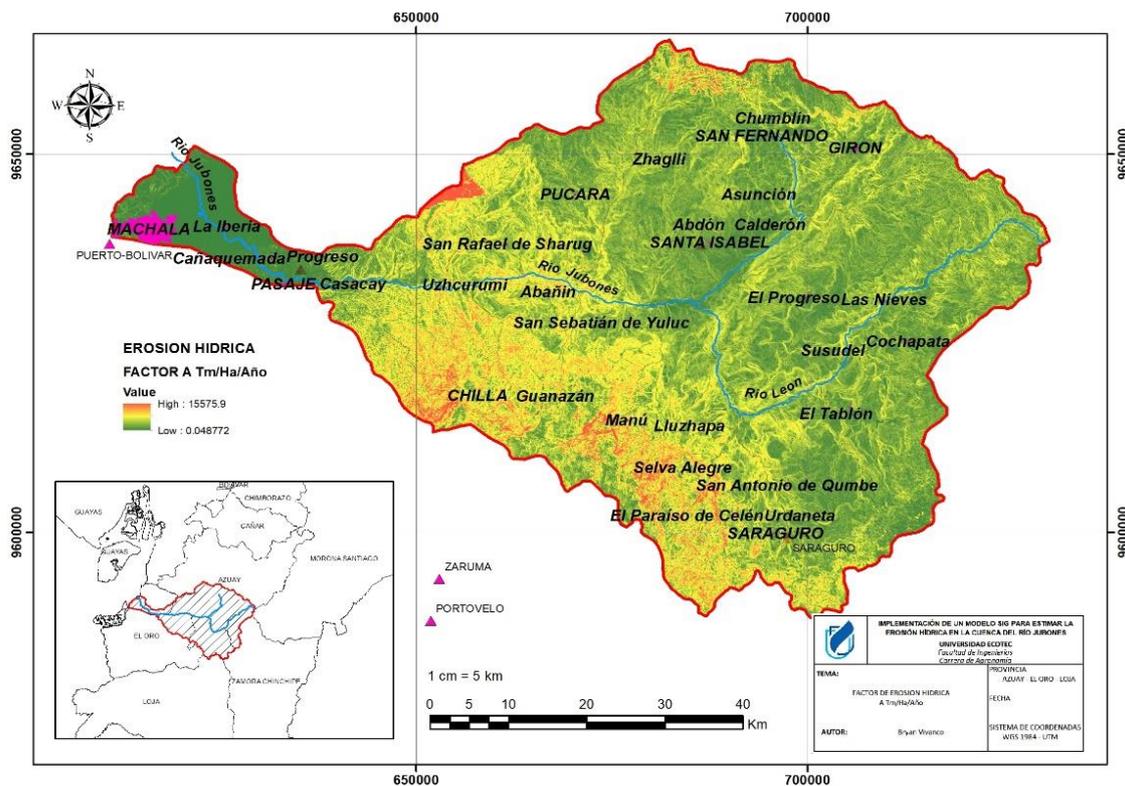
Fuente: Elaboración propia.

La erosión hídrica de la ilustración, demuestra y se observa la estimación de la cantidad de aproximadamente 15575,9 Tm/Ha/año, que equivale a los valores máximos de estimación de erosión hídrica en zonas del noreste cerca de la provincia del Azuay y en ciertas zonas de la ladera del sistema montañoso de la

provincia de El Oro, se registran valores con un promedio de 0,048 Tm/Ha/año, teniendo como valor mínimo calculado, los valores de precipitación media, presentan una erosividad pluviométrica en el oeste y norte, de la cuenca del río Jubones que coincide con la mayor elevación.

En la figura 8, se evidencia las zonas afectadas a los procesos de erosión hídrica que están ubicado dentro de la cuenca del Río Jubones, la cual se detalla a continuación:

Figura 8. Zonas Afectadas por erosión hídrica



Fuente: Elaboración propia.

La erosión hídrica (Factor A), es un problema ambiental grave a nivel global que contribuye a la pérdida de productividad y biodiversidad de los suelos en todo el Ecuador, especificándose en la cuenca del Río Jubones, además, este tipo de problemas conllevan la afectación de los agroecosistemas, causando pérdidas económicas en la producción de cultivos que se desarrollan en la zona de estudio.

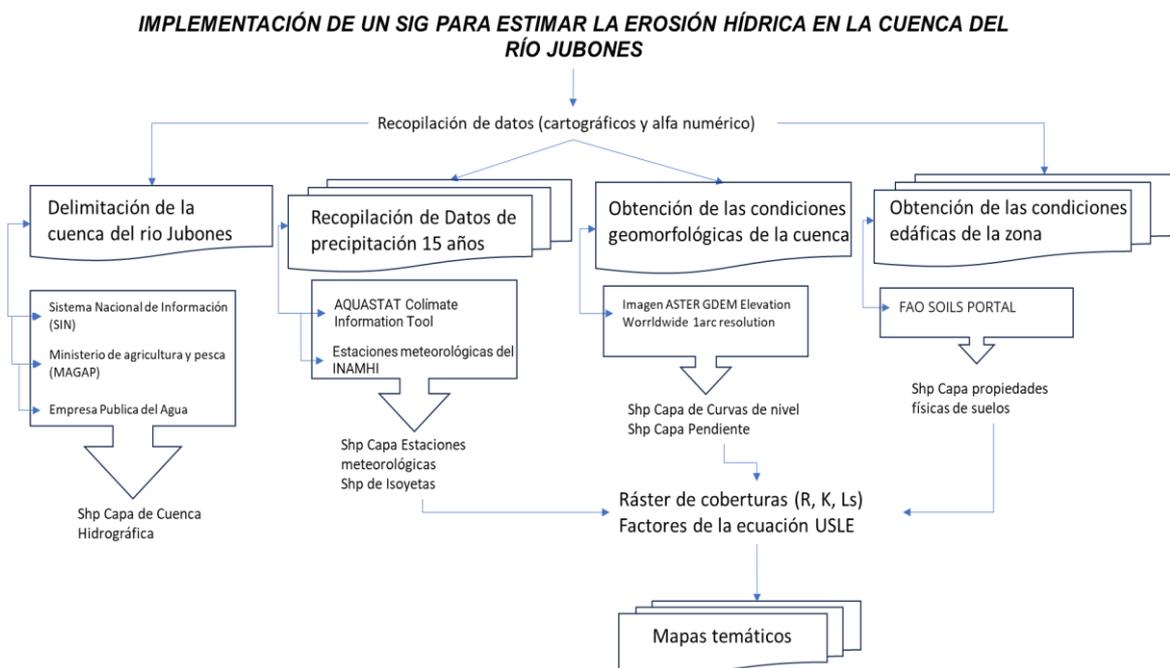
La evaluación de pérdidas por erosividad en la cuenca del río Jubones es importante para comprender los impactos ambientales y económicos de la erosión y para desarrollar estrategias de manejo de suelos y cuencas que minimicen la erosión y que promuevan la sostenibilidad.

### 3.3. Evaluación de las pérdidas por erosión hídrica en la cuenca del Río Jubones.

Conociendo los conceptos de los SIG se puede establecer el uso de diferentes tipos de herramientas, componentes, plataformas y aplicaciones que interactúan entre sí para recoger, almacenar, manipular, y desplegar la información alfanumérica, en sus diferentes formas, mismas que permiten a este trabajo el desarrollo y la estimación de las áreas afectas por procesos hídricos causados por eventos climáticos con parámetros de precipitación, mismos que se pueden utilizar información en línea de fuentes estatales, u organismos internacionales como la FAO, al igual que los parámetros edáficos.

Así mismo la información topográfica mismo que se utilizó plataformas de libre acceso que generan imágenes DEM, que luego con herramientas SIG se estableció la morfología de la cuenca hidrográfica del Río Jubones, para luego establecer las pendientes respectivas que se usaron en la plataforma GIS para instaurar las áreas y las zonas más susceptibles a problemas hídricos en la cuenca hídrica, mismo que se detalla el proceso en el siguiente flujograma.

Figura 9. Diagrama del proceso SIG



Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama del proceso SIG, se puede observar el esquema para establecer un Sistema de Información Geográfica, para evaluar las pérdidas de suelos en la cuenca de Rio Jubones, mismo que permitió establecer las zonas afectadas, para luego ordenar los respectivos planes de protección, mitigación, y las áreas potencialmente afectadas y de esta manera gestionar eficientemente los recursos económicos que se utilicen en la zona de estudio.

La degradación por erosión corresponde a la pérdida de la capa superficial de la corteza terrestre por acción del agua, viento, lluvias y por escurrimiento superficial, que es causada por el ser humano, y trae consecuencias ambientales, ecológicas, sociales, económicas y culturales.

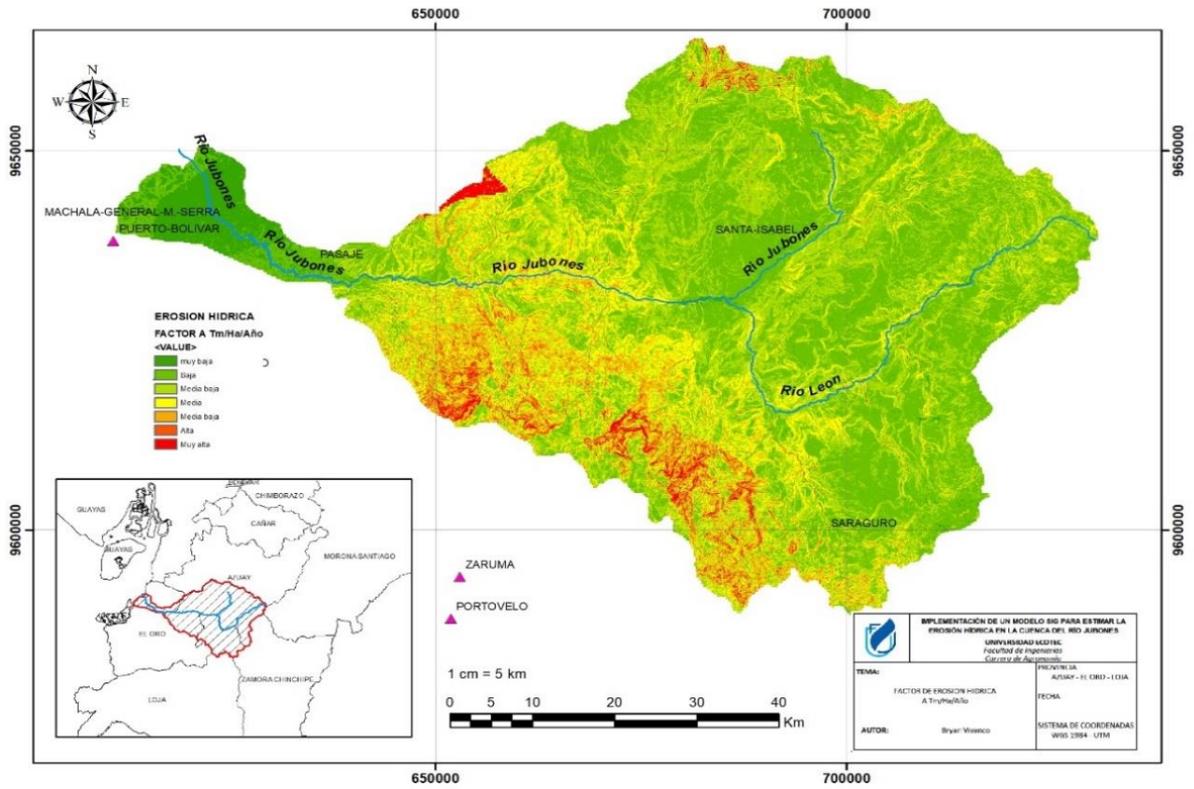
En la tabla 4. y mapa se muestra la intensidad de erosión y con colores (verdes, amarillo, naranja y rojo), en Tm/ha/año se representan los diferentes rangos, y grados de erosión (baja, media baja, media, media alta, alta, y muy alta), que se presentan en la actualidad en la cuenca del rio Jubones, con este tipo de escala se logró determinar, evaluar y estimar las zonas más susceptibles a procesos de erosión hídrica en el sitio de estudio, como se muestra en la figura 10.

*Tabla 5. Escala de grado de erosión*

Intensidad de Erosión	Rango Tm/ha/año	Grados de erosión
	1.4 - 27.8	Baja
	27.87 - 54.31	Media baja
	54.31 - 80.75	Media
	80.75 - 107.19	Media alta
	107.19 - 133.6	Alta
	133.6 - 15575	Muy Alta

Fuente: Elaboración propia.

Figura 10. Mapa de grados de erosión



Fuente: Elaboración propia.

#### **4. Discusión**

En los suelos de la cuenca del Río Jubones de la provincia de El Oro, dependen de la agricultura como principal fuente de ingreso y debido al bajo nivel de conocimiento sobre prácticas correctas para mitigar la pérdida de suelo producidas por la agricultura se genera una presión adicional a suelos que en su mayoría son altamente propensos a la erosión, por lo consiguiente se concuerda con (Matías Ramos et al., 2020), que al usar herramientas geoinformáticas para evaluar y estimar degradaciones hídricas de los suelos agrícolas, puesto que mediante este trabajo se pudo analizar la información, manipular y establecer resultados cartográficos que permitieron analizar la información desde diferentes puntos de vista, estimando de manera cuantitativa las pérdidas de suelos, los resultados generados pueden orientar la toma de decisiones en cuanto al ordenamiento territorial, pues los resultados indican el lugar y la magnitud del proceso erosivo que se está presentando en el lugar de estudio.

La implementación de prácticas de control de procesos erosivos, puede reducir en gran medida las tasas de erosión en los sectores donde sean aplicadas, estos efectos, pueden ser simulados y cuantificados utilizando herramientas SIG de acuerdo con (Vera & Ramírez, 2023), mencionan que es posible obtener modelaciones con diferentes parámetros o factores que inciden en la estimación de la degradación de los suelos agrícolas, que de esta manera permitirá minimizar los daños de erosividad que afecten en la cuenca del Río Jubones.

La herramienta denominada álgebra de mapas, que se encuentra en software GIS, es en realidad una herramienta bastante simple, sin embargo, es bastante poderosa y es a través de ella que se pueden ejecutar todos los procesos necesarios para realizar todo tipo de análisis geográficos pues presenta la facilidad de ir operando sobre una o varias capas de manera que se van obteniendo nueva información derivada que generalmente es presentada en nuevas capas, es así que la implementación de la ecuación USLE que propone (Bocanegra Alza & Guzman Ventura, 2023), utilizando los modelos SIG, accediendo a la recopilación de la información cartográfica en línea de diferentes entidades públicas y permitió hacer una revisión cartográfica más eficiente de la

información para ser aplicada a los modelos SIG y establecer los rangos de pérdidas de suelos posible en la cuenca del río Jubones.

La erosión hídrica en la cuenca del río es un problema significativo que afecta la productividad del suelo y la biodiversidad (Salazar, 2012). Este fenómeno se ve agravado por factores como la fragilidad ambiental y la incidencia de precipitaciones pluviales, la evaluación del riesgo de erosión hídrica en cuencas hidrográficas, a través de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), ha demostrado ser efectiva para identificar áreas con alto riesgo de erosión (Pinargote-Chóez, et al., 2021).

Se concuerda parcialmente con (Escobar Quintero, 2021), al decir el grado de erosión severo de la micro cuenca del Río Amarillo, ya que al ser un área muy pequeña no representa significación con respecto a la cuenca del Río Jubones pero se concuerda que existe pérdidas de suelo a causa de erosión hídrica causadas por factores climáticos, suelos y topográficos.

Se coincide con (Barcos Aguirre, 2023), al determinar que uno de los principales causantes de la afirmación de áreas sensibles a procesos erosivos se debe a gran medida a problemas de deforestación u a las precipitaciones atípicas a causa del cambio climático.

## **5. Conclusiones**

Una vez terminado el trabajo de investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

Las condiciones climáticas atípicas inciden el proceso de erosión hídrica que se distribuyen dentro de la cuenca en estudio, puesto de la cuenca comparte 3 provincias y 2 regiones climáticas que hacen que el clima de la zona sea muy variable.

Los suelos que están dentro de la zona de estudio son muy homogéneos puesto que la mayoría son suelos francos que con una que otra aportación de texturas finas que permite una infiltración moderada con promedio de 18.35 a 20.68 mm/h

Se puede estimar que cerca del 5% existe un potencial alto de erosión hídrica y 20 al 30% medio y el resto entre 50 al 70% a un potencial bajo de erosión hídrica debido a su gran mayoría a los suelos que aporta una estabilidad y la topografía que no permite que el proceso sea muy agresivo.

El uso de herramientas SIG permite establecer una modelación sobre afectaciones y establecer escenarios debido a que la gran cantidad de información existente por parte de entidades públicas locales e internacionales que permite la gestión más eficiente de la información usando aplicativos de libre acceso

## **6. Recomendaciones**

Una vez concluido el trabajo se puede llegar a las siguientes recomendaciones:

Analizar la información climática incluyendo más estaciones meteorológicas que contengan información de precipitaciones máximas mínimas y medias que se estima con periodos de retorno de más años del mismo modo implementar modelos locales que permita estimar las pérdidas de suelo al igual de modelar con diferentes escenarios la ecuación de la USLE, en las diferentes sub cuencas hídricas para de esta manera ingresar más variables que permitan ir validando los datos generados con el modelo de diferentes escenarios y comparar con otras cuencas de características similares, para luego ir agregando mas variables de conservación tales como uso del suelo y prácticas de conservación

## 7. Bibliografía

- Acevedo, I., Sánchez, A., & Mendoza, B. (2021). Evaluación del nivel de degradación del suelo en dos sistemas productivos en la depresión de Quíbor. I. Análisis multivariado. *Bioagro*, 33(1), Article 1.
- Alonso, G., Ruiz, M., Schiettecatte, W., Diaz, J., y Almoza, Y. (2007). Riesgo de Erosión Hídrica en la Cuenca Hidrográfica La Güira, Río Cuyaguaje, Cuba, 11(1), 110–123.
- Arias, P. O. (2022). *La gestión territorial de la cordillera de los Andes en zonas vulnerables: La cuenca del río Jubones*.
- Arias-Muñoz, P., Saz, M.A., & Escolano, S. (2023). Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, (79), 207-230. <https://doi.org/10.14198/INGEO.22390>
- Barcos Aguirre, K. S. (2023). *Efectos de la desertificación como causa de la deforestación en suelos del Ecuador* [bachelorThesis, BABAHOYO]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/13975>
- Betancourt Cruz, J. J., Grillo, R., & Adolfo, G. (2023). *Implementación de un Sistema de Información Geográfica ( SIG ), para el manejo y conservación de los suelos cafeteros en la vereda Alto San Isidro, municipio del Pital Huila*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/56119>
- Bocanegra Alza, Y. A., & Guzman Ventura, Y. E. (2023). *Determinación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Chicama, 2021*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3346243>
- Cabezas Caiza, J. K., & Yacelga Lisintuña, M. P. (2021). *Determinación de la agresividad de la precipitación de la cuenca del Río Jubones, periodo 1980 – 2000*. [bachelorThesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7869>

- Castro Mendoza, I. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34(2), 3-16.
- Castro, I. (2013). “Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en micro- cuenca de presa Madín, México”. *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34(2): 3-16. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pi-](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pi-)
- Chacón, J. A., Bambagüé, C., & Arboleda, O. E. (2020). Uso de herramientas de sistemas de información geográfica para establecer la zonificación ecológica de unidades de paisaje en un sector del municipio de Timbío—Cauca. *Revista Novedades Colombianas*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.47374/novcol.2020.v15.1801>
- Chipana Quispe, O. (2022). *Estimación de la pérdida de suelo media anual mediante la ecuación universal de pérdida de suelo revisada, en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros—Apurímac – 2019.* <https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/384>
- Delgado, I. R., Iglesias, H. I. P., & Batista, R. M. G. (2021). Degradación del suelo en sistemas agrícolas de la granja Santa Inés, provincia de El Oro, Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 13(S2), Article S2.
- De Alba, S., Alcázar, M., Cermeño, F., y Barbero, F. (2011). Erosión Y Manejo Del Suelo. Importancia Del Laboreo Ante Los Procesos Erosivos Naturales Y Antrópicos. *Agricultura ecológica*, 7, 13–34.
- Escobar Quintero, J. N. (2021). *Análisis comparativo entre rusle y el análisis multicriterio, para obtener la erosión hídrica en la microcuenca del río Amarillo, El Oro Ecuador* [bachelorThesis, Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/56776>
- Espinoza, K. (2022). *Situación actual del Río Jubones en el Ecuador, un análisis de los metales traza, calidad y parámetros fisicoquímicos del agua | Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS.* <https://www.editorialalema.org/index.php/pentaciencias/article/view/106>

- Furbish, D.J., Hamner, K.K. Schmeckle, M. Borosund M.N. y Mudd, S.M., 2007. Rain splash of dry sand revealed by high-speed imaging and sticky paper splash targets. *J. Geophys. Res.*, 112, F1 doi:10.1029/2006JF000498.
- Gálvez Valencia, L. C., & Londoño Garcia, J. C. (2023). *Identificación de riesgos de erosión de suelos por agricultura intensiva en el municipio de tuluá—Valle del cauca, aplicando herramientas de sistemas de información geográfica*. <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/56125>
- Gamboa Cruz, A. O. (2023). Estimación de la erosión hídrica aplicando la metodología RUSLE con técnicas de teledetección en la cuenca del río Tumbes 2000-2022. *Universidad Nacional de Tumbes*. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/64161>
- Humacata, L. (2019). Análisis espacial de los cambios de usos del suelo. Aplicación con Sistemas de Información Geográfica. *Revista cartográfica*, 98, 239-257. <https://doi.org/10.35424/rcarto.i98.149>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2022). Ecuador en Cifras. Información Agroambiental y tecnificación agropecuaria. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/informacion-agroambiental/>
- Jaramillo-Véliz, J. J. (2021). Diagnóstico de la erosión hídrica del suelo aplicando modelo U.S.L.E mediante herramientas SIG. *Polo del Conocimiento*, 6(4), Article 4. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i4.2589>
- Jetten, V., Govers, G., Hessel, R., 2003. Erosion models: quality and spatial predictions. *Hydrological Processes*. 17, 887-900.
- Kandel, D.D., Western, A.W., Grayson, R.B., Turrall, H.N., (2004. Process parameterization and temporal scaling in surface runoff and erosion modelling. *Hydrological Processes*. 18, 1423-1446.
- Kravchenko, R., y Guerrero, D. (2017). Comparative analysis of the eroded soils on the slopes of the Calderon region, Ecuador. *Bulletin of Science and Practice*, (3), 148–152.
- Loaiza, S., & Silva, M. A. D. (2018). Evaluación del potencial de mitigación de las estrategias de adaptación implementadas en los Territorios Sostenibles

Adaptados al Clima (TeSAC). Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Palmira, Colombia. 1-27.

Llamatumbe Paillacho, E. T., & Chitalogro Yánez, V. A. (2021). *Aplicación del modelo Usle para estimar cuantitativamente la erosión hídrica en la microcuenca del río Chibunga* [bachelorThesis, Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo]. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/7411>

Matías Ramos, M., Gómez Díaz, J. D., Monterroso Rivas, A. I., Uribe Gómez, M., Villar Hernández, B. de J., Ruiz García, P., Asencio, C., Matías Ramos, M., Gómez Díaz, J. D., Monterroso Rivas, A. I., Uribe Gómez, M., Villar Hernández, B. de J., Ruiz García, P., & Asencio, C. (2020). Factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en un bosque templado. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(59), 51-71. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.673>

Mendoza, E. F. M., Arteaga, E. A. G., & Delgado, D. (2023). La erosividad de la lluvia como factor condicionante de la erosión hídrica en Manabí. *Polo del Conocimiento*, 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.23857/pc.v8i2.5177>

Montatixe Sánchez, C. I., & Eche Enríquez, M. D. (2021). [Http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S2477-88502021000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2477-88502021000100001&lng=es&nrm=iso&tlng=es). *Siembra*, 8(1). <https://doi.org/10.29166/siembra.v8i1.1735>

Pisón, S. M. de, & María, A. (2023). *Erosión una catástrofe silenciosa*. <http://crea.ujaen.es/jspui/handle/10953.1/19439>

Ricardo-Calzadilla, M. P., Gómez-Arias, A., & Cutie-Cansino, V. (2022). Erosividad de las lluvias en Finca Tierra Brava de la subcuenca (S1) Río Los Palacios. *Ingeniería Agrícola*, 12(4), Article 4. <https://ojs.edicionescervantes.com/index.php/IAgric/article/view/1630>

Romero Macas, D. J. (2017). *Evaluación del estado actual de degradación del suelo en agroecosistemas de cacao y pasto en la granja Santa Inés* [bachelorThesis, Machala: Universidad Técnica de Machala]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/11705>

- Sabaté, A. M., Álamo, C. C. del, Latorre, B., Rodríguez-Ochoa, R., & Alberdi, J. R. O. (2022). Seguimiento semi-automático de la cobertura del suelo tras quema prescrita mediante clasificación de imagen basada en redes neuronales convolucionales: *Ecosistemas*, 31(1), Article 1. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2323>
- Sequeira, N. D., Vazquez, P., & Sacido, M. (2019). Erosión hídrica y su relación con el avance de la agricultura en el sudeste bonaerense, Argentina. El caso del partido de Benito Juárez durante las campañas 1989/90, 2002/03 y 2014/15. *Papeles de Geografía*, 65, Article 65. <https://doi.org/10.6018/geografia.395691>
- Sequeira, N. D., Vázquez, P., Sequeira, N. D., & Vázquez, P. (2022). Impacto de la erosión hídrica sobre la rentabilidad de los productores agrícolas en el partido de Tres Arroyos, Región Pampeana Austral, Argentina. *Revista Geográfica de América Central*, 68, 379-408. <https://doi.org/10.15359/rgac.68-1.14>
- Torres Benites, E., Cortes Becerra, J., Uresti Gil, J., Torres Cedillo, L., Rivera Torres, P. S., Torres Benites, E., Cortes Becerra, J., Uresti Gil, J., Torres Cedillo, L., & Rivera Torres, P. S. (2020). Predicción de la erosión hídrica en la cuenca del Cañón del Sumidero, Chiapas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(8), 1903-1915. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2747>
- Van Rompaey, A.J.J., Krasa, J., Dostal, T. y Govers, G., 2013. Modelling sediment supply to rivers and reservoirs in Eastern Europe during and after collectivization period. *Hydrobiologia*. 494, 169-176.
- Vera Onofre, M. G. (2020). *Clases texturales de los suelos y su relación con la compactación en sistemas de cultivos de maíz (Zea mays L.) en el Ecuador* [bachelorThesis, BABAHOYO:UTB,2020]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/8430>
- Vera Ramírez, F. D. (2023). *Estimación de la erosión hídrica de Santiago Tulantepec a través de la EUPSR integrada a SIG*. <http://200.57.56.70:8080/xmlui/handle/231104/3155>
- Zalewski, M., (2010). Ecohydrology - the scientific background to use ecosystem properties as management tools toward sustainability of water resources. *Ecological Engineering*. 16, 1–8.

Zulaica, L., Vazquez, P., Daga, D., Zulaica, L., Vazquez, P., & Daga, D. (2020). Transformaciones territoriales en el periurbano hortícola de Mar del Plata (Argentina) y su incidencia en los procesos de erosión hídrica. *Revista de geografía Norte Grande*, 75, 179-200. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022020000100179>

## 8. Anexos

Figura 11. Mapa de Ubicación de poblados dentro de la cuenca del Rio Jubones

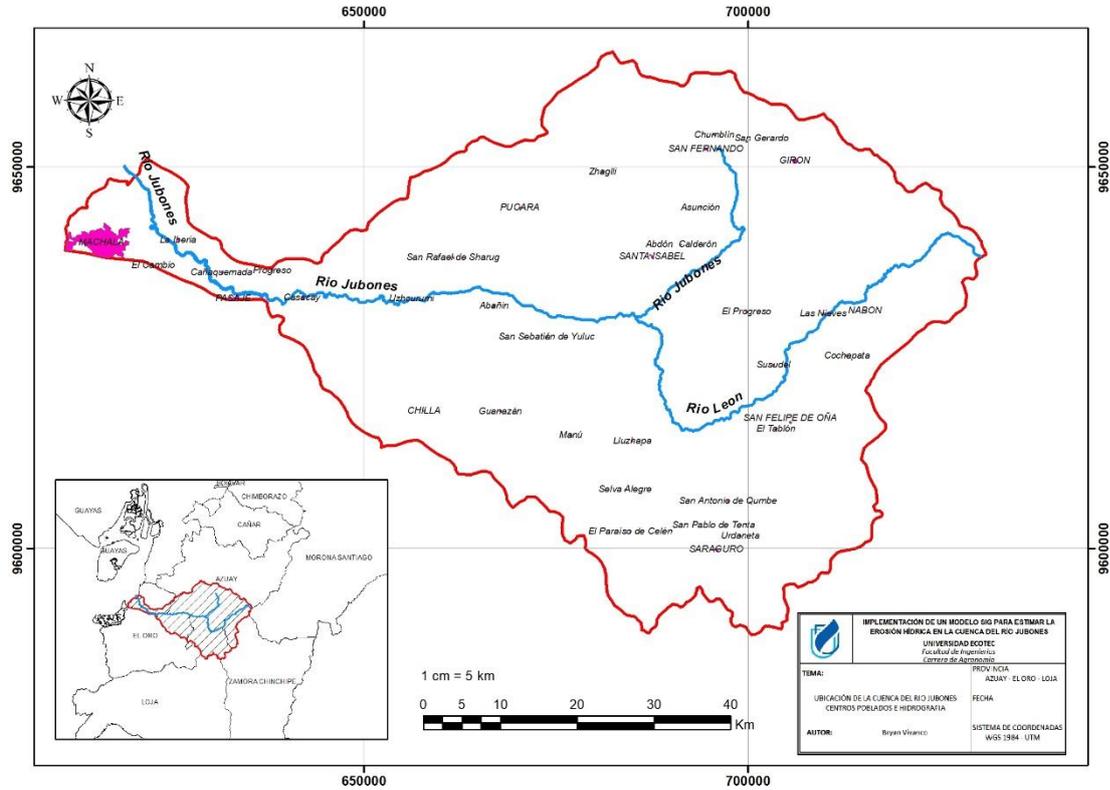


Figura 12. Mapa de estaciones meteorológicas del Inamhi

