



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA  
ZAPOTAL MEDIANTE RUSLE Y SIG: IMPLICACIONES PARA LA  
CONSERVACIÓN DE SUELOS**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Requisito parcial para la obtención del título de:

**INGENIERO AGROPECUARIO**

**Autor:** José Ricardo Alejandro Valverde

LA LIBERTAD, DICIEMBRE 2025



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA  
ZAPOTAL MEDIANTE RUSLE Y SIG: IMPLICACIONES PARA LA  
CONSERVACIÓN DE SUELOS**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**  
Requisito parcial para la obtención del título de:  
**INGENIERO AGROPECUARIO**

**Autor:** José Ricardo Alejandro Valverde

**Tutor:** Ing. Daniel Ponce de León, Ph.D.

**LA LIBERTAD, DICIEMBRE 2025**

## **TRIBUNAL DE GRADO**

Trabajo de Integración Curricular presentado por **JOSE RICARDO ALEJANDRO VALVERDE** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero/a Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 09/diciembre/2025.

---

Ing. Lenni Ramírez Flores, Mgr.  
**DIRECTORA DE CARRERA**  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Carlos Balmaseda Espinosa, Ph.D.  
**PROFESOR ESPECIALISTA**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Daniel Ponce de León Lima, Ph.D.  
**PROFESOR TUTOR**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D.  
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC**  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

---

Ing. Washington Perero Vera  
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO**  
**SECRETARIO**

## RESUMEN

La susceptibilidad a la erosión hídrica en un área determinada, considerando factores naturales y antrópicos mediante la ecuación RUSLE, mostró que el factor de erosividad de la lluvia (Factor R), calculado con el índice de Fournier Modificado para el periodo 2010-2013, presentó una alta variabilidad interanual, lo que indica un elevado riesgo climático. El factor de erodabilidad del suelo (K) evidenció que predominan vertisoles, aridisoles, molisoles y alfisoles, siendo los suelos arenosos y limosos los más vulnerables a la erosión. El factor de longitud y pendiente (LS) resultó ser un elemento determinante en la pérdida de suelo, alcanzando valores considerados “muy fuertes”, lo que señala la pendiente como el principal agente erosivo. Por otro lado, los factores C y P mostraron valores bajos en la mayor parte del área, lo que refleja una adecuada cobertura vegetal y la implementación de prácticas de conservación, como la labranza mínima, que actúan como mitigadores frente a la degradación del suelo. Finalmente, el factor A y la erosión hídrica potencial registraron valores elevados en zonas con mayor pendiente y suelos arenosos y limosos, mientras que la erosión hídrica actual indicó que los efectos antrópicos son menores en áreas donde las prácticas de conservación son efectivas, destacando el impacto positivo de la gestión humana frente a condiciones naturales adversas

**Palabras clave:** *Degradación de suelos, Pérdidas de suelo, Conservación de suelos.*

## ABSTRACT

The susceptibility to water erosion in each area, considering natural and anthropic factors using the RUSLE equation, showed that the rainfall erosivity factor (R Factor), calculated with the Modified Fournier index for the period 2010-2013, presented a high interannual variability, which indicates a high climatic risk. The soil erodibility factor (K) showed that vertisols, aridisols, mollisols and alfisols predominate, with sandy and silty soils being the most vulnerable to erosion. The length and slope factor (LS) turned out to be a determining element in soil loss, reaching values considered "very strong", which indicates slope as the main erosive agent. On the other hand, factors C and P showed low values in most of the areas, reflecting adequate vegetation cover and the implementation of conservation practices, such as minimum tillage, which function as mitigators against soil degradation. Finally, factor A and potential water erosion registered high values in areas with greater slope and sandy and silty soils, while current water erosion indicated that anthropic effects are lower in areas where conservation practices are effective, highlighting the positive impact of human management in the face of adverse natural conditions.

**Keywords:** Soil degradation, Soil loss, Soil conservation.

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado “**EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA ZAPOTAL MEDIANTE RUSLE Y SIG: IMPLICACIONES PARA LA CONSERVACIÓN DE SUELOS**” y elaborado por **José Ricardo Alejandro Valverde**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

### **Transferencia de derechos autorales.**

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

---

Firma del estudiante

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>Problema Científico</b> .....	<b>2</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>2</b>
Objetivo General: .....	2
Objetivos Específicos:.....	3
<b>Hipótesis</b> .....	<b>3</b>
<b>CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
<b>1.1 Uso del suelo</b> .....	<b>4</b>
<b>1.2 Erosión Hídrica</b> .....	<b>5</b>
<b>1.3 Cuencas Hidrográficas</b> .....	<b>5</b>
<b>1.4 Tipos de Cuencas Hidrográficas</b> .....	<b>6</b>
1.4.1 Cuencas exorreicas o abiertas.....	6
1.4.2 Cuencas endorreicas .....	7
1.4.3 Cuenca arreicos .....	7
1.4.4 Cuencas mixtas.....	7
<b>1.5 Importancia de las Cuencas Hidrográficas</b> .....	<b>7</b>
<b>1.6 Grupo Azúcar</b> .....	<b>7</b>
<b>1.7 Modelos para estimar la erosión</b> .....	<b>8</b>
<b>1.8 RUSLE</b> .....	<b>8</b>
1.9 Ecuación de RUSLE .....	8
<b>1.9.1 Factor A</b> .....	<b>9</b>
<b>1.9.2 Factor R</b> .....	<b>9</b>
1.9.2.1 Uso aplicativo del Factor R .....	9
<b>1.9.2.2 Zonificación de los índices de erosividad</b> .....	<b>10</b>
<b>1.9.3 Factor K</b> .....	<b>10</b>
1.9.3.1 Uso del Factor K según Pérez-Cutillas et al. (2019) .....	12
<b>1.9.4 Factor LS</b> .....	<b>14</b>
1.9.4.1 Aplicación del Factor LS dadas por Wischmeier and Smith (1978). .....	15
<b>1.9.5 Factor C</b> .....	<b>16</b>
1.9.5.1 Uso del Factor C propuesta por Pacheco et al. (2019). .....	17
<b>1.9.6 Factor P</b> .....	<b>18</b>
1.9.6.1 Aplicación del Factor P propuesta por Ibáñez (2007).....	19
<b>1.10 Gravimetría (SWC)</b> .....	<b>19</b>
<b>1.11 Sistema de Información Geográfica (SIG)</b> .....	<b>20</b>
<b>1.12 Aplicación de SIG en estudios ambientales</b> .....	<b>21</b>
<b>1.13 Ventajas del uso de SIG para la modelación espacial de erosión</b> .....	<b>21</b>

<b>CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
2.1 Área de estudio .....	22
2.2 Diseño Experimental .....	23
2.2.1 Tipo de investigación.....	23
2.2.1 Instrumentos .....	23
2.3 Ecuación Universal Revisada de Pérdida del Suelo (RUSLE) .....	23
2.3.1 Factor erosividad de lluvia (R) .....	23
2.3.2 Factor longitud de pendiente (LS) .....	24
2.3.3 Factor erodabilidad (K) .....	25
2.3.4 Factor cobertura vegetal (C).....	26
2.3.5 Factor prácticas de conservación mejorada (P) .....	28
2.4 Materiales de campo.....	29
2.5 Fase de análisis.....	29
2.6 Flujograma de los procedimientos de los Factores de RUSLE .....	29
<b>CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>31</b>
3.1 Procesamiento de información de la ecuación universal revisada de pérdida del suelo .....	31
3.1.1 Factor R .....	31
3.1.2 Factor K.....	34
3.1.3 Factor LS .....	36
3.1.4 Factor C .....	37
3.1.5 Factor P.....	38
3.1.6 Erosión hídrica.....	39
3.2 Medidas de conservación propuestas para la cuenca .....	41
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>42</b>
Conclusiones.....	42
Recomendaciones.....	43
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>50</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rango de clasificación de erosividad lluvia .....	9
Tabla 2. Valor del índice de Fournier .....	10
Tabla 3. Clasificación del Índice Modificado de Fournier para América. ....	10
Tabla 4. Código de permeabilidad y estructura del suelo en función de su textura. ....	11
Tabla 5. Clasificación de permeabilidad (cm/h).....	11
Tabla 6. Coeficiente de correlación de Pearson entre erodabilidad y otras propiedades del suelo.....	12
Tabla 7. La textural del factor K.....	13
Tabla 8. Porcentaje de tamaño de partículas por clase textural. ....	13
Tabla 9. Factor de erodabilidad K generalizados para órdenes de suelos comunes en la cuenca Zapotal según FAO (1938). ....	14
Tabla 10. Grados de longitud de pendiente. ....	15
Tabla 11. Valores en “m” en función a “β”. ....	15
Tabla 12. Índice espectral y su relación N con dosel .....	16
Tabla 13. Biomasa radicular. ....	17
Tabla 14. Diversos tipos de cobertura. ....	17
Tabla 15. Valores de P para prácticas de contornos. ....	18
Tabla 16. Factores de prácticas de conservación.....	18
Tabla 17. Valores de P en terrazas. ....	19
Tabla 18. Mapa de resumen de la cuenca Zapotal.....	22
Tabla 19. Valores de bosque tropical .....	27
Tabla 20. Valores pluviométricos anuales (mm).....	32
Tabla 21. índice de concentración pluviométrica. ....	32
Tabla 22. Concentración anual. ....	33
Tabla 23. Máximo de precipitación.....	33
Tabla 24. Precipitación mensual según el IMF. ....	33
Tabla 25. Porcentaje de orden de suelo. ....	35
Tabla 26. Promedio textural del factor K. ....	35
Tabla 27. Pendiente de LS.....	37

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Parte del río .....	6
Figura 2. Mapa Cuenca río Zapotal. ....	22
Figura 3. Flujograma Factor R. ....	29
Figura 4. Flujograma Factor K. ....	29
Figura 5. Flujograma Factor LS. ....	29
Figura 6. Flujograma Factor C. ....	30
Figura 7. Flujograma Factor P. ....	30
Figura 8. Ubicación de las estaciones pluviométricas. ....	31
Figura 9. Órdenes de suelo y nivel del Factor K. ....	34
Figura 10. Variación estructural del suelo. ....	36
Figura 11. Distribución espacial de Longitud de pendiente LS. ....	36
Figura 12. distribución de la cobertura vegetal. ....	38
Figura 13. Efectividad de las prácticas de conservación. ....	39
Figura 14. Erosión hídrica actual. ....	40
Figura 15. Erosión hídrica potencial. ....	41

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Precipitaciones medias mensuales (mm) de las estaciones pluviométricas.....	50
Anexo 2. Tasa de erosión actual del suelo.....	50
Anexo 3. Tasa de la erosión potencial del suelo.....	51

## INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo impacta significativamente en la producción agrícola y en las actividades de los campesinos. A medida que este proceso avanza, el rendimiento de los cultivos disminuye de manera inevitable. Para evitarlo, es fundamental monitorear los campos y actuar ante cualquier signo de deterioro. Los suelos con bajo rendimiento requieren mayor atención y cuidados, como la fertilización (Petro Kogut, 2023). Este desgaste ocasiona pérdidas de materia orgánica, lo que reduce la capacidad del suelo para mantener su estructura, ya que la materia orgánica actúa como un aglutinante que une las partículas y proporciona estabilidad. La pérdida de esta propiedad puede ser provocada tanto por factores naturales como por la acción humana.

La erosión hídrica consiste en la pérdida de suelo ocasionada por el movimiento del agua. El flujo continuo arrastra partículas y materiales, provocando un desgaste progresivo de la superficie terrestre (Sergieieva, 2021). Este proceso, originado por la degradación del suelo, se intensifica debido a la acción del agua, considerada una de las principales causas del problema.

La erosión es un proceso que implica la degradación de la capa superficial del suelo, lo que reduce su productividad y ocasiona pérdidas significativas para los agricultores. Este fenómeno se intensifica cuando se combinan factores naturales con prácticas humanas no sostenibles, como la deforestación y el uso inadecuado de la tierra (Tarakanov, 2024).

La erosión puede manifestarse en diversas formas, dependiendo del material afectado. Entre ellas se distinguen: erosión eólica, causada por el viento que desplaza partículas desde zonas de alta presión hacia áreas de baja presión; erosión hídrica, originada por las lluvias y el flujo de agua que transporta partículas finas del suelo hacia zonas de menor altitud; erosión antrópica, provocada por actividades humanas que alteran la capa superior del suelo; erosión glacial, generada por el movimiento de bloques de hielo sobre pendientes, que desgastan la superficie rocosa subyacente; y erosión gravitacional, producida por el desplazamiento de rocas y sedimentos desde terrenos elevados hacia zonas más bajas, donde pueden ser incorporados por otros procesos erosivos (Cartón, 2021).

Una cárcava es una hendidura profunda en el terreno provocada por el flujo concentrado del agua. En contraste, un reguero corresponde a una incisión pequeña, que suele medir entre 5 y 40 cm de ancho y menos de 60 cm de profundidad. Este último puede desaparecer con las labores agrícolas continuas, mientras que la cárcava, por su mayor

dimensión, no puede ser eliminada mediante prácticas convencionales de cultivo (Alive, 2022).

Los mapas de erosión se convirtieron en herramientas fundamentales para poder zonificar áreas de alto riesgo donde las actividades de agricultura intensiva deberían ser manejadas bajo regulaciones como las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y también la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) para designar áreas más aptas para las actividades agrícolas o para aplicar prácticas de conservación.

Los mapas de erosión no muestran únicamente la cantidad de erosión, sino también una distribución espacial, siendo fundamental para la gestión de las cuencas hidrográficas y zonas de intervención, permitiendo identificar de manera clara los “puntos calientes de erosión”, que son áreas que de forma constante muestran tasas de pérdida de suelo más elevadas. Esto resulta clave para que planificadores y comunidades comprendan dónde y por qué sucede la erosión, para poder así priorizar y dirigir los esfuerzos de conservación de forma estratégica y eficiente. Estos mapas son elaborados comúnmente mediante aplicaciones de modelos matemáticos en Sistemas de Información Geográfica (SIG), siendo uno de los modelos más usados la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y su versión revisada (RUSLE), utilizados en la evaluación de la erosión en cuencas, subcuencas u otros escenarios geográficos.

No todas las áreas que son de alto riesgo pueden ser intervenidas debido a las limitaciones de los recursos, por lo que es necesario establecer prioridades para una buena combinación de factores de severidad de la erosión, impacto socioeconómico y ambiental.

### **Problema Científico**

¿Cuál será la pérdida de suelo estimada de la cuenca Zapotal resultado de la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE) mediante tecnología de SIG?

### **Objetivos**

#### **Objetivo General:**

Estimar de la pérdida del suelo mediante la aplicación de la ecuación de RUSLE integrada a través de técnicas de SIG para identificar las áreas de riesgo y proponer medidas de conservación.

**Objetivos Específicos:**

- Calcular la tasa de erosión hídrica en la cuenca utilizando la ecuación RUSLE.
- Integrar herramientas geoespaciales en la cartografía de la erosión hídrica en la cuenca Zapotal.
- Proponer medidas de conservación para el área de la cuenca.

**Hipótesis**

La evaluación de la degradación por erosión hídrica en la cuenca Zapotal mediante la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo y tecnologías de Sistemas de Información Geográfica permitirá proponer medidas de conservación y establecer prioridades para la cuenca.

# **CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

## ***1.1 Uso del suelo***

Según la FAO (2015) el suelo es un recurso fundamental que provee una amplia variedad de bienes y servicios al ecosistema terrestre. Este cumple un papel clave en la regulación de los ciclos biológicos, hidrológicos y geoquímicos del sistema Tierra, además de ser una fuente esencial de recursos para la sociedad humana. Sin embargo, con el paso del tiempo, las actividades humanas han generado cambios significativos en la dinámica del uso del suelo, provocando pérdidas considerables de este recurso debido a su manejo inadecuado.

El uso del suelo es uno de los factores más determinantes en los procesos de degradación ambiental, especialmente en la generación de erosión hídrica. Actividades como la agricultura intensiva, la ganadería extensiva, la deforestación y la urbanización alteran la cobertura vegetal natural y modifican el equilibrio del suelo, incrementando su vulnerabilidad (Trujillo Vera et al., 2025). La conversión de suelos forestales a usos agrícolas disminuye la capacidad de infiltración del agua y aumenta el escurrimiento superficial, lo que intensifica los procesos erosivos.

En las últimas décadas, Ecuador ha experimentado una creciente presión sobre el uso del suelo, situándose entre los países con mayores transformaciones en sus paisajes naturales. Este fenómeno se debe principalmente al avance de la frontera agrícola, la expansión de la ganadería extensiva y el crecimiento urbano desorganizado. Un caso emblemático se observa en la provincia del Azuay, donde el suelo destinado tradicionalmente a la agricultura está siendo progresivamente reemplazado por áreas urbanizadas (Cartón, 2021).

El análisis de la distribución espacial del uso del suelo permite identificar zonas críticas con alta pérdida de suelo, lo cual facilita una planificación territorial más eficiente, orientada a la conservación y al manejo sostenible de los recursos naturales (Trujillo Vera et al., 2025).

Este proceso de transformación ha conllevado la alteración de ecosistemas naturales, como los páramos andinos, especialmente en zonas con pendientes pronunciadas (mayores al 50%), que ahora son utilizadas para actividades agropecuarias (USDA, 2016). La

expansión de estas actividades ha generado una ruptura en la función ecológica y social del suelo, comprometiendo su integridad y equilibrio ambiental (Vázquez, 2015).

### ***1.2 Erosión Hídrica***

La erosión hídrica es un proceso natural de remoción y transporte de partículas del suelo debido a la acción del agua. Sin embargo, la intervención antrópica ha acelerado este fenómeno, convirtiéndolo en una de las principales causas de degradación de tierras a nivel global (Tarakanov, 2024). La pérdida de suelo fértil no solo compromete la productividad agrícola, sino que también afecta la calidad del agua, incrementa la sedimentación en cuerpos fluviales y disminuye la capacidad de regulación hídrica de las cuencas.

Este tipo de erosión se manifiesta en diferentes formas, desde la erosión laminar, en la que se pierde una delgada capa de suelo superficial, hasta formas más severas como la erosión en surcos y cárcavas. Los factores que la condicionan incluyen la intensidad de la lluvia, las características del suelo, la pendiente del terreno, el tipo de cobertura vegetal y las prácticas de manejo aplicadas (Morgan, 2005).

Este tipo de erosión se manifiesta en distintas formas, que van desde la erosión laminar, que se caracteriza por la pérdida uniforme de una delgada capa superficial de suelo, hasta formas más severas como la erosión en surcos y la formación de cárcavas. La magnitud y el impacto de este proceso dependen de diversos factores, entre ellos la intensidad y duración de las precipitaciones, las propiedades físicas y químicas del suelo, la pendiente del terreno, la cobertura vegetal existente y las prácticas de manejo del uso del suelo.

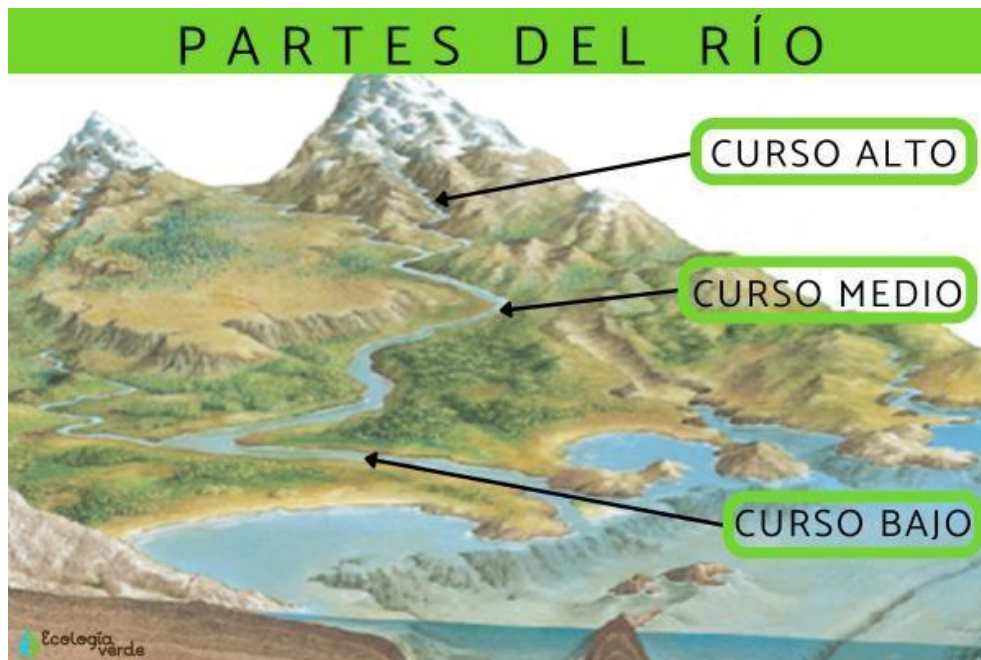
### ***1.3 Cuencas Hidrográficas***

Para las definiciones y características tipológicas de las cuencas hidrográficas se sigue a continuación a Márquez (2021) y González y Olmedo (2022)

La cuenca hidrográfica es una depresión del terreno rodeada por terrenos más altos en la cual esta converge en el agua proveniente de precipitaciones o deshielos. Las cuencas hidrográficas constituyen un sistema natural de drenaje del agua y un conjunto de sistemas hidrográficos que desembocan en un mismo lugar denominado vertiente hidrográfica.

La formación de estas cuencas hidrográficas se relaciona con el ciclo del agua; durante las precipitaciones el agua puede evaporarse, infiltrarse o circular pendiente abajo, así mismo puede ocurrir con el agua proveniente del deshielo. La formación de estas se ocasiona cuando la depresión de la cuenca es muy grande, llegando a crear corrientes de aguas permanentes alimentadas por corrientes superficiales.

Actualmente existen tres elementos de las cuencas hidrográficas: la cuenca alta, que constituye el área de nacimiento de los ríos desplazándose por grandes pendientes; la cuenca media, que corresponde al área del valle del río, donde se encuentran materiales sólidos que son arrastrados por la corriente y son depositados; y la cuenca baja, que es el área baja del río en la cual el material es arrastrado a lo largo de la cuenca, formándose generalmente llanuras



*Figura 1 Parte del río*

**Fuente:** (Márquez, 2021)

#### ***1.4 Tipos de Cuencas Hidrográficas***

Para las definiciones y características tipológicas de los tipos de cuencas hidrográficas se sigue a continuación a Bordino (2024).

##### **1.4.1 Cuencas exorreicas o abiertas**

Son cuencas que drenan las aguas hacia el mar o los océanos; son sistemas abiertos que contienen altos rangos de almacenamiento, flujos y salidas de agua. Las entradas de la cuenca exorreica son las precipitaciones formadas por las lluvias, así como las sólidas, granizos o deshielos, en especial los glaciales de las grandes montañas y cordilleras.

#### **1.4.2 Cuencas endorreicas**

Son sistemas cerrados de circulación y drenaje, cuyo río desemboca en cuerpos de agua internos en las masas. Su almacenamiento puede representarse en pantanos, lagunas o grandes lagos. Esto puede ocurrir en todos los tipos de clima, pero en su mayoría en lagos atrapados dentro de las cordilleras montañosas, en las áreas secas como desiertos o tundras y en áreas muy alejadas de las costas.

#### **1.4.3 Cuenca arreicos**

Estas son cuencas en que las aguas de lluvia no tienen salida hacia el mar o hacia un lago, tiende a acumularse en áreas bajas formando lagos temporales o estacionales.

#### **1.4.4 Cuencas mixtas**

Estas cuencas se representan característicamente en cuencas exorreicas y en cuencas endorreicas, ocurriendo en zonas donde las aguas superficiales pueden fluir hacia un punto de salida, pero también llegan a acumularse sin tener algún tipo de salida.

### **1.5 Importancia de las Cuencas Hidrográficas**

Estas son de importancia a nivel ecosistémico, tanto como para el desarrollo de las actividades humanas. La principal importancia de las cuencas es el flujo de agua y su capacidad de regulación, al poder recolectar y canalizar el agua de las diferentes cuencas hidrográficas ayudan a mantener los ecosistemas equilibrados, por lo que su presencia es capaz de reducir los riesgos naturales como las inundaciones o desprendimientos, protegiendo a las comunidades de los desastres relacionados con el agua. También son fuentes de agua dulce, sustentando la biodiversidad del planeta (González y Olmedo, 2022).

Las cuencas también tienen importancia económica debido al apoyo industrial de los agricultores, pescadores y actividades turísticas, para proporcionar los recursos esenciales. La protección de las cuencas hidrográficas permite sostener las actividades económicas y promocionarlas. El acceso al agua limpia y a los espacios recreativos dentro de las cuencas hidrográficas mejora la calidad de vida y fomenta el bienestar de las comunidades, teniendo conexiones con el medio ambiente (Nutshell, 2020)

### **1.6 Grupo Azúcar**

Su primera formación se encuentra en la formación Estancia, la cual consiste en mezclas de areniscas y limonitas intercaladas con rocas volcánicas (latitas). Las areniscas

son predominantes e indican fuentes de sedimentos ricas en cuarzo; la presencia de latitas indica una actividad volcánica.

La segunda está ubicada sobre la Estancia, siendo esta la formación Candy, que consiste principalmente en conglomerados que alternan con lentejones arenosos. Estas conglomeráticas indican cambios en el ambiente de depósito de mayor energía.

La tercera es la formación Engavio y constituye la unidad superior del Grupo Azúcar, cuya característica litológica muestra similitud con la formación Estancia, junto con la intercalación de latitas que, a diferencia de las unidades basales, la Engavio incorpora conglomerados (Vázquez, 2015).

### ***1.7 Modelos para estimar la erosión***

En la actualidad existen diversos modelos de predicción de la erosión del suelo que ayudan a orientar la planificación y prácticas sostenibles sobre el recurso suelo (RUVIVAL, 2019), los cuales van desde el análisis en campo hasta modelos físicos-matemáticos que simulan cada uno de los factores que intervienen en la erosión (Sylvia *et al.*, 2014). Por lo general, los modelos más aplicados son modelos empíricos como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) propuesta y su versión revisada RUSLE (Ecuación Universal de Pérdida del Suelo Revisada). Estos modelos tienen en común un factor de erosividad de la lluvia (R), que refleja la capacidad potencial de la precipitación para causar pérdida de suelo, y es uno de los factores básicos más importantes para la estimación de la erosión del suelo (Veliz, 2015).

### ***1.8 RUSLE***

La ecuación universal revisada de pérdida del suelo (RUSLE) es un modelo usado para estimar la tasa anual promedio de la erosión del suelo por erosión hídrica. Esta predice la cantidad de pérdidas de suelo debido a la erosión laminar en surcos, basándose en diversos factores que están relacionados con las precipitaciones, propiedades del suelo, topografía, cobertura terrestre y prácticas de conservación (USDA, 2022).

### **1.9 Ecuación de RUSLE**

**$A = R * K * LS * C * P \rightarrow$**  para la tasa de erosión hídrica actual

**$A = R * K * LS \rightarrow$**  para la erosión hídrica potencial

### 1.9.1 Factor A

Es la pérdida del suelo calculada por unidad de superficie, siendo expresada en las unidades seleccionadas por el factor K y el periodo para R Mega gramo (Mg) hectáreas (ha)<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

### 1.9.2 Factor R

Este factor R indica el potencial erosivo que puede afectar la velocidad del proceso de erosión del suelo, es decir, que una lluvia fuerte por día puede producir la suficiente energía para ocasionar una erosión al suelo, en comparación con lluvias de media intensidad en el año. En la **Tabla 1. Rango de clasificación de erosividad lluvia** se muestran los rangos de clasificación de la erosión expresada en  $Mj.ha.mm^{-1}$ .

*Tabla 1. Rango de clasificación de erosividad lluvia*

Clasificación	R ( $Mj.ha.mm^{-1}$ )
Natural	<1000
Muy baja	1000 -2500
Baja	2500-5000
Moderado	5000-7500
Alta	7500-10000
Muy alta	10000-15000
Severa	15000-20000
Extremadamente severa	>20000

Fuente: (Mosquera *et al.*, 2021)

#### 1.9.2.1 Uso aplicativo del Factor R

Los factores de erosión por precipitación pluvial pueden sumarse para cualquier período, de modo que proporcionan una medida numérica de erosividad por precipitación pluvial durante un período. Los cálculos de energía de una tormenta, como el componente **EI**, requieren definiciones exactas de un evento individual, el tiempo mínimo óptimo que define el fin de dos tormentas. Las mejores correlaciones de las cantidades de pérdidas de suelo y valores de **EI** se obtuvieron cuando se separaron por 6 horas o menos, logrando considerarlas como si hubiese sido una única lluvia. (Crettaz, Gvozdenovich y Saluzzio, 2016).

### 1.9.2.2 Zonificación de los índices de erosividad

Los índices de la **Tabla 2**. Valor del índice de Fournier y **Tabla 3**. Clasificación del Índice Modificado de Fournier para América (Ei30 y USLE en la precipitación media anual), se efectuó utilizando el software QGIS v 3.6, obteniendo los shapes relacionados con las diversas variables. Se procedió a realizar interpolaciones mediante el método del inverso de la distancia ponderada (IDW), teniendo en cuenta que el IDW es un algoritmo simple diseñado para disminuir la distorsión en la interpolación de la superficie determinada, el cual se utiliza en la predicción climática y el desarrollo cartográfico.

*Tabla 2. Valor del índice de Fournier*

<b>IF</b>	<b>Calificación</b>
< 15	Muy bajo
16-30	Bajo
31-50	Moderado
51-65	Alto
> 65	Muy alto

(Delgado, 2003)

*Tabla 3. Clasificación del Índice Modificado de Fournier para América.*

<b>Clase</b>	<b>IMF</b>	<b>Calificación</b>
<b>1</b>	0 - 60	Muy bajo
<b>2</b>	60-90	Bajo
<b>3</b>	90-120	Moderado
<b>4</b>	120-160	Alto
<b>5</b>	> 160	Muy alto

(Lobo, 2006)

### 1.9.3 Factor K

El factor K en el modelo de RUSLE es fundamental para poder cuantificar la susceptibilidad intrínseca de los suelos hacia la erosión hídrica. La susceptibilidad del suelo proporciona un valor numérico que representa la tasa de pérdida de suelo para una sola energía hídrica en un tipo de suelo específico, estando bajo condiciones de parcelas unitarias estándar. El valor más alto de K indica una mayor erosión del suelo, lo que significa que es más propenso a descomponerse y ser transportado por el agua, mientras que un valor más

bajo de K indica una menor erosionabilidad, lo cual sugiere que el suelo es más resistente a la erosión (Valdivia Martínez *et al.*, 2022).

El valor de K está determinado principalmente por las propiedades inherentes del suelo, por el tipo de textura, la proporción de arena, limo y arcilla. Los suelos que contienen un alto contenido de limo y arena tienden a tener valores de K más altos, mientras que los suelos con altos contenidos de arcilla, que favorecen la agregación, y los suelos arenosos presentan valores más bajos de K (Wischmeier and Smith, 1978).

Tanto la textura como la estructura de los suelos afectan la permeabilidad **Tabla 4** y la velocidad de infiltración, en la **Tabla 5** se aprecia la clasificación del grupo hidrológico en función de estas propiedades, propuestas por Pérez-Cutillas *et al.* (2019).

El uso amplio de los servicios de conservación de los suelos (SCS) se emplea para la estimación de las pequeñas y medianas cuencas, así como para la derivación de las ecuaciones básicas destinadas a la estimación del volumen de escurrimiento (Javier L. Q, 1999).

*Tabla 4. Código de permeabilidad y estructura del suelo en función de su textura.*

Clase textural	Código de permeabilidad	de Conductividad saturada (mm/hrs)	hidráulica	SCS grupo hidrológico de suelo
Arcilla, franco arcilloso	6	<1		D
Arcillo arenoso, franco arcillo limoso	5	1-2		C-D
Franco arcillo arenoso, franco arcilloso	4	2-5		C
Franco limoso, franco	3	5-10		B
Areno francos, franco arenoso	2	10-60		A
Arena	1	>60		A

Fuente: USDA (2022)

*Tabla 5. Clasificación de permeabilidad (cm/h).*

Velocidad	Tiempo
Muy lenta	Menos de 0.15
Lenta	0.15 – 0.50
Relativamente lenta	0.5 – 2.0

<b>Moderada</b>	2.0 – 6.5
<b>Relativamente rápida</b>	6.5 – 15.0
<b>Rápida</b>	15 – 25
<b>Muy rápida</b>	Más de 25

Calderón (2017)

La **Tabla 6** indica que el coeficiente, cuyo valor oscila entre -1 y +1, permite determinar tanto la fuerza como la dirección de la asociación entre variables, identificando si el incremento en una característica del suelo se vincula con un aumento o disminución en su susceptibilidad a la erosión.

*Tabla 6. Coeficiente de correlación de Pearson entre erodabilidad y otras propiedades del suelo.*

	<b>Factor K</b>	<b>MO</b>	<b>A</b>	<b>Ar</b>	<b>L</b>	<b>EA</b>	<b>DMP</b>	<b>DA</b>	<b>CH</b>
<b>MO</b>	-0.517								
<b>A</b>	0.499	0.141							
<b>Ar</b>	-0.370	-0.273	-0.820						
<b>L</b>	-0.159	0.243	-0.186	-0.409					
<b>EA</b>	-0.427	0.245	-0.289	0.292	-0.041				
<b>DMP</b>	-0.821	0.586	-0.151	0.051	0.151	0.567			
<b>DA</b>	0.544	-0.747	0.022	0.111	-0.227	0.010	-0.349		
<b>CH</b>	-0.485	0.097	-0.136	-0.086	0.365	0.004	0.544	-0.200	
<b>RP</b>	-0.540	-0.010	-0.576	0.659	-0.211	0.337	0.223	-0.220	0.014

Piscitelli et al. (2010)

$p < 0.05$   $p < 0.001$ . *MO: materia orgánica; A: Arenas; Ar: Arcilla; L: Limos; EA: Estabilidad de agregados; DMP: Diámetro medio ponderado; DA: Densidad aparente; CH: Conductividad hidráulica saturada; RP: Resistencia a la penetración.*

### 1.9.3.1 Uso del Factor K según Pérez-Cutillas et al. (2019)

- Evaluar la vulnerabilidad del suelo permitiendo identificar los tipos de suelos dentro de un área más susceptible a la erosión.

- Planificar los usos del suelo sobre actividades apropiadas para los diversos tipos de suelos minimizando los riesgos de erosión.
- Modelos de erosión, son componentes esenciales para predecir la pérdida de suelos bajo diversos tipos de manejos y conservaciones ambientales.
- Evaluación de impactos de los cambios en el suelo, estos permiten comprender como la degradación de la materia orgánica o la alteración de la estructura del suelo podrían incrementar la erosión
- La **Tabla 7** Se refiere a la proporción de partículas de arena, limo y arcilla. Esta característica influye directamente en la erodabilidad:

*Tabla 7. La textural del factor K*

Textura del suelo	Rango de K (ton ha h/ha MJ mm)
<b>Arena</b>	0.05- 2
<b>Arena gruesa</b>	0.02- 0.1
<b>Arena mediana</b>	0.05- 0.002
<b>Arena fina</b>	0.05- 0.16
<b>Arena limosa</b>	0.1- 0.3
<b>Franco arenoso</b>	0.05- 0.2
<b>Franco fino arenoso</b>	0.1- 0.35
<b>franco</b>	0.2- 0.4
<b>Franco limoso</b>	0.25- 0.45
<b>Limo</b>	0.3- 0.5
<b>Franco arcillo arenoso</b>	0.1- 0.3
<b>Franco arcillo limoso</b>	0.15- 0.4
<b>Franco arcilloso</b>	0.1- 0.35
<b>Arcilla arenosa</b>	0.05- 0.2
<b>Arcilla limosa</b>	0.1- 0.3
<b>Arcilla</b>	0.02- 0.25

(Saxton y Rawls, 2006)

La **Tabla 8** la categoría que describe la textura del suelo, determinada por la proporción de partículas finas (arcilla), medias (limo) y gruesas (arena).

*Tabla 8. Porcentaje de tamaño de partículas por clase textural.*

Clase textural	%arena	%limo	%arcilla
----------------	--------	-------	----------

<b>Arena</b>	86-100	0-14	0-10
<b>Arena franca</b>	70-86	0-30	0-15
<b>Franco arenoso</b>	50-70	0-50	0-20
<b>Franco</b>	23-52	28-50	7-27
<b>Franco limoso</b>	20-50	74-88	0-27
<b>Limo</b>	0-20	88-100	0-12
<b>Franco arcilloso</b>	20-45	15-52	27-40
<b>Franco arcillo arenoso</b>	45-80	0-28	20-35
<b>Franco arcillo limoso</b>	0-20	40-73	27-40
<b>Arcillo arenoso</b>	45-65	0-20	35-55
<b>Arcillo limoso</b>	0-20	46-60	40-60
<b>Arcilla</b>	0-45	0-40	40-100

(USDA, 2022)

La **Tabla 9** se refiere a categorías taxonómicas del suelo que comparten características físicas y químicas similares.

*Tabla 9. Factor de erodabilidad K generalizados para órdenes de suelos comunes en la cuenca Zapotal según FAO (1938).*

<b>Factor erodabilidad</b>	
<b>Tipo de suelo</b>	<b>K</b>
Alfisol	0.00821
Molisol	0.01008
Vertisol	0.01131
Aridisol	0.00729
Inceptisol	0.01167
Entisol	0.00743

#### 1.9.4 **Factor LS**

Los factores representados son los efectos de longitud y de pendiente sobre la erosión, cuya combinación de ambos factores se denomina factor topográfico. El factor L es la relación de longitud real de la pendiente horizontal y la longitud de pendiente media experimental. El factor S de la pendiente es la relación del factor de pendiente experimental (9%). Los factores L y S están formados de modo que constituyan una sola pendiente de longitud (22,13 m y 9%).

Los exponentes de la variable de longitud ( $m$ ) reciben valores específicos según su porcentaje de inclinación como muestra la **Tabla 10** (Wischmeier and Smith, 1978).

*Tabla 10. Grados de longitud de pendiente.*

Grados de pendiente (S)		
S	0.2	< 1%
S	0.3	1% ≤ s < 3%
S	0.4	3% ≤ s < 5%
S	0.5	≥ 5%

(García y Giménez-Suárez, 2025)

Se define subfactor ( $s$ ) como la relación entre la pérdida del suelo desde la pendiente del campo y la de una pendiente ( $m$ ), como se muestra en la **Tabla 11** que constituye a una función en relación con la erosión entre surcos  $\beta$ , el cual corresponde al impacto del flujo de lluvia, los valores se clasifican como “bajo, moderado y alto”.

*Tabla 11. Valores en “m” en función a “β”.*

Relación de radianes	Categoría	Valor de m
$\beta < 0.5$	Bajo	0.2
$0.5 \leq \beta < 1.0$	Moderado	0.3
$\beta \geq 1.0$	alto	0.5

(García y Giménez-Suárez, 2025)

#### 1.9.4.1 Aplicación del Factor LS dadas por Wischmeier and Smith (1978).

El factor **LS** es el producto de los subfactores de longitud y pendiente del suelo, la distribución de  $S$  se obtuvo mediante una aplicación directa de una capa de cobertura de **SIG** sobre la pendiente del suelo, en cambio la distribución de  $L$  depende de la distribución espacial de  $\lambda$  como del exponente  $m$ , la distribución espacial de  $m$  se determina usando la forma combinada de dos ecuaciones de cobertura sobre pendientes del suelo y el uso del mismo, en  $\lambda$  se aplicaron diversos procedimientos para llegar a los diferentes esquemas del factor **LS**.

1. *LS,  $\lambda$  constante:* se aplica el procedimiento constante sin considerar la distribución de  $\lambda$ .
2. *LS, asociando un valor de I según la clase de pendiente:* se calcula de forma directa mediante el mapa digital de la pendiente.
3. *LS cálculo de  $\lambda$  según su enfoque:* se hace uso del procedimiento general considerando la distribución de  $\lambda$  dentro de la cuenca para poder determinar

mediante la aproximación usando el modelo de CALSITE ( $\lambda = \text{área acumulada de drenaje} / \pi)^{0.5}$ .

4. *LS por segmentos siguiendo líneas de flujo*: se hace uso del programa “16usle\_flowline\_ls”, el cual aplica un algoritmo para resolver aproximaciones bidimensionales para suelos irregulares.

### 1.9.5 Factor C

El factor cobertura y manejo es la proporción de pérdida de suelo en una superficie específica e idéntica en barbecho, con labranza continua.

Este modelo es crucial para evaluar y cuantificar el impacto de la vegetación, las prácticas de manejo agrícolas y las medidas de control contra la erosión en la reducción de la pérdida de suelo. La cuantificación del efecto de la cobertura y el manejo se expresa mediante un valor adimensional que representa la relación entre la pérdida de suelo en una parcela con cobertura y manejo específico respecto a la pérdida de suelo en condiciones sin protección. El valor C (1) indica la protección mínima del suelo, mientras que el valor C (0) señala una óptima protección del suelo, comparado con una pérdida de suelo significativamente reducida debido a su cubierta vegetal densa Morgan (2005) pero en algunos casos las situaciones intensivas justo después de la siembra pueden verse ligeramente superiores a 1.

Las áreas que presentan menor cobertura vegetal mostrarán una tasa de erosión hídrica más elevada en comparación con aquellas que tienen mayor cobertura. El uso de la teledetección, así como la clasificación de la cobertura, complementa actualmente las técnicas convencionales de bajo costo, permitiendo análisis de datos precisos y rápidos (Pacheco, Cevallos y Vinces, 2019).

El valor de C se calcula teniendo en cuenta cinco subfactores, “**cobertura de dosel, altura de caída de lluvia, cobertura y rugosidad de la superficie del suelo, biomasa de las raíces y el uso de la tierra anterior**”.

*Tabla 12. Índice espectral y su relación N con dosel*

Índice	Modelo	R2	CME gm <sup>-2</sup>
CI borde rojo	Y=2.0675x	0.93	0.47
CI verde	Y=1.9314x	0.84	0.70

<b>NDVI</b>	$Y=8.3203x$	0.60	1.11
-------------	-------------	------	------

(Durigon *et al.*, 2014)

$R^2$  presenta el coeficiente de determinación, (indica la proporción de la varianza en la variable dependiente).

CME cuadrado medio del error.

### 1.9.5.1 Uso del Factor C propuesta por Pacheco et al. (2019).

- Así como en la Tabla 9 indican el impacto de diferentes usos de suelos, lo cual nos permite comparar la susceptibilidad hacia la erosión de diversos tipos de cobertura.
- Así mismo como en la Tabla 10 sirven para los diferentes tipos de cobertura, su planificación de prácticas de gestión agrícola sostenibles, ayudan a seleccionar los sistemas de cultivos, los métodos de cultivos y gestionar los residuos que minimicen la erosión.
- Estrategias de conservación, ayudan a identificar las áreas donde las mejores prácticas de manejo podrían tener un mayor impacto en la reducción de carga de sedimentos en los cuerpos de agua.

*Tabla 13. Biomasa radicular.*

<b>Tipos de suelo</b>	<b>Biomasa radicular (Kg/m<sup>2</sup>)</b>
<b>Arenoso</b>	<b>0.5- 1.0</b>
<b>Limoso</b>	<b>1.0- 2.0</b>
<b>Arcilloso</b>	<b>1.5- 3.0</b>
<b>Orgánico</b>	<b>2.5- 5.0</b>

(Pacheco, Cevallos y Vincés, 2019)

*Tabla 14. Diversos tipos de cobertura.*

<b>Tipos de cobertura</b>	<b>Factor C</b>
<b>Bosque y selva nublada</b>	$\leq 0.1$
<b>Bosque, cultivos y pastizales</b>	0.2
<b>Matorrales y pastizales</b>	0.3
<b>Cultivos y pastoreo</b>	0.4
<b>Cultivos y arbustales</b>	0.5
<b>Vegetación escasa</b>	0.6
<b>Vegetación semiárida y terrenos y cultivos</b>	0.9

<b>Suelos desnudos</b>	1.0
(Wischmeier and Smith, 1978)	

### 1.9.6 *Factor P*

El factor P de prácticas de apoyo de conservación en la Tabla 11, la proporción de pérdida de suelo es una práctica de apoyo como cultivo en contornos en la Tabla 12, Tabla 13 barreras vivas o cultivos en terrazas con respecto a la labranza en el sentido de pendiente.

RUSLE calcula el factor P basándose en el porcentaje de pendiente, longitud de pendiente, altura de bordes, distribución del “EI”, grupo de los suelos hidrológicos mencionados por Ibáñez (2007) y el efecto de terrazas contra la pendiente, las cuales son:

A: surcos de contornos

- Camellones
- Contornos a desnivel
- Longitud de pendiente crítica, gradiente

B: terrazas

- Terraceo en gradas
- Deposición

C: cultivos en fajas

- Fajas de amortiguación
- Fajas perpendiculares a la pendiente

D: drenaje subsuperficial

- Drenes

E: medidas de conservación en tierras silvopastoriles

- Prácticas de manejo silvopastoril

*Tabla 15. Valores de P para prácticas de contornos.*

Altura entre surcos	Valores de P
<b>Muy baja</b>	0.5
<b>Baja</b>	0.3
<b>Moderado</b>	0.15
<b>Alto</b>	0.08
<b>Muy alto</b>	0.05

(Tian et al., 2021)

*Tabla 16. Factores de prácticas de conservación.*

Manejo del suelo	Factor P
Sin prácticas	1.0
Áreas pobladas	0.7
Pistas niveladas	0.5
Cordones de vegetación permanente	0.25
Cultivo permanente	0.9
Glacial	0.1
Terrazas	0.1
Cuerpos de agua	1.0
Vegetación arbustiva	0.3

(Delgado, 2003)

Tabla 17. Valores de P en terrazas.

Gradiente (%)	Subfactores de entrega de sedimentos		P en terrazas de cultivos
	P	Longitud máxima de ladera (m)	
1-2	<0.60	122	1-2
3-5	0.50	91	3-5
6-8	0.50	61	6-8
9-12	0.60	37	9-12
13-16	0.70	24	13-16
17-20	0.80	18	17-20
21-25	>0.90	15	21-25
<b>Se pondera por 0.80 si considera contornos realizados con pilas de residuos</b>			

(Tian *et al.*, 2021).

#### 1.9.6.1 Aplicación del Factor P propuesta por Ibáñez (2007).

Para poder evaluar este parámetro es necesario el uso de las imágenes satelitales, permitiendo monitorear las prácticas de manejo en uso y adaptabilidad a las diversas condiciones climáticas.

#### 1.10 Gravimetría (SWC)

Este es el único método directo para determinar cuanta agua hay en el suelo, descritos por María (2022) en:

**SWC gravimétrico**, es el contenido de agua en el suelo sobre una base, la unidad gravimétrica se define como (%g/g), también existen algunos inconvenientes para las mediciones debido a la densidad de los diversos suelos, por lo que el peso unitario es el suelo que puede ocupar el volumen (Alexandra, 2009).

**SWC volumétrico**, es un método más usado para la presentación del estado húmedo del suelo, multiplicando SWC por la densidad aparente del suelo y expresando su unidad [%v/v] (de la Comarca, 2009).

El **potencial de agua del suelo** es una medida de trabajo necesario para extraer el agua, expresando sus unidades [KPa, mCA, bar o cbar, donde 1 bar = 100 cbar] (Hidalgo-Campos y Camacho-Umaña, 2024).

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

Un Sistema de Información Geográfica (SIG) es una tecnología especializada en la gestión y el análisis de información georreferenciada, es decir, datos que están asociados a ubicaciones específicas sobre la superficie terrestre. Estos sistemas integran componentes informáticos, cartográficos y de bases de datos para facilitar la recopilación, el almacenamiento, la manipulación, el análisis y la visualización de datos espaciales y alfanuméricos (Gómez-Delgado, 2000).

Entre las principales funcionalidades de un SIG se encuentran la digitalización y georreferenciación de mapas, lo cual permite convertir documentos cartográficos físicos en archivos digitales precisos. También destacan la creación y administración de bases de datos espaciales, que almacenan tanto información geométrica (como puntos, líneas y polígonos) como atributos descriptivos (como nombres, categorías o valores numéricos). A esto se suma la posibilidad de realizar análisis espaciales complejos, tales como la superposición de capas temáticas, el análisis de proximidad, la detección de patrones geográficos o el modelado de escenarios futuros (Baxendale y Buzai, 2011).

En el ámbito ambiental, son herramientas clave para el monitoreo de ecosistemas, la evaluación del cambio climático, la gestión de áreas protegidas y la prevención de desastres naturales. También se utilizan en ingeniería civil, agricultura de precisión, salud pública, logística, seguridad, y en muchos otros campos donde la dimensión espacial es un factor clave en la toma de decisiones (Rodríguez Ayala, 1964).

### ***1.12 Aplicación de SIG en estudios ambientales***

Según Rodríguez (2016) SIG se han consolidado como una herramienta esencial para los estudios ambientales, ya que permiten integrar información de diversas fuentes (sensores remotos, datos de campo, estadísticas oficiales) en un mismo entorno digital. Esta integración facilita el análisis de fenómenos complejos como la deforestación, la pérdida de biodiversidad, la contaminación del aire o el agua, y el cambio climático. Por ejemplo, mediante SIG es posible delimitar áreas protegidas, identificar corredores ecológicos, calcular tasas de deforestación o modelar la dispersión de contaminantes. Además, los SIG permiten monitorear cambios en el tiempo, lo cual es crucial para evaluar la efectividad de políticas ambientales y proponer estrategias de mitigación o restauración. En la gestión ambiental, esta tecnología también es clave para la participación ciudadana y la transparencia en la toma de decisiones, al generar mapas comprensibles y accesibles (Bermeo, 2019).

### ***1.13 Ventajas del uso de SIG para la modelación espacial de erosión***

La erosión del suelo es un fenómeno natural que puede agravarse significativamente debido a actividades humanas como la tala indiscriminada de bosques, el pastoreo excesivo o la implementación de técnicas agrícolas inadecuadas. En este contexto, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se presentan como una herramienta clave para el análisis espacial de este proceso, ya que permiten integrar diversas variables como la inclinación del terreno, el tipo de suelo, la cobertura vegetal, el uso que se le da a la tierra y la cantidad de precipitaciones (Saavedra y Mannaerts, 2003).

Una de las principales fortalezas de los SIG es su capacidad para procesar y visualizar grandes volúmenes de datos geospaciales, lo que permite identificar con precisión las zonas más propensas a la erosión. Modelos como la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y su versión revisada (RUSLE), cuando se utilizan dentro de plataformas SIG, permiten estimar la pérdida de suelo y evaluar distintos escenarios de manejo. Esto contribuye a la formulación de estrategias efectivas para la conservación del suelo, como la reforestación, la construcción de terrazas o la rotación de cultivos

## CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

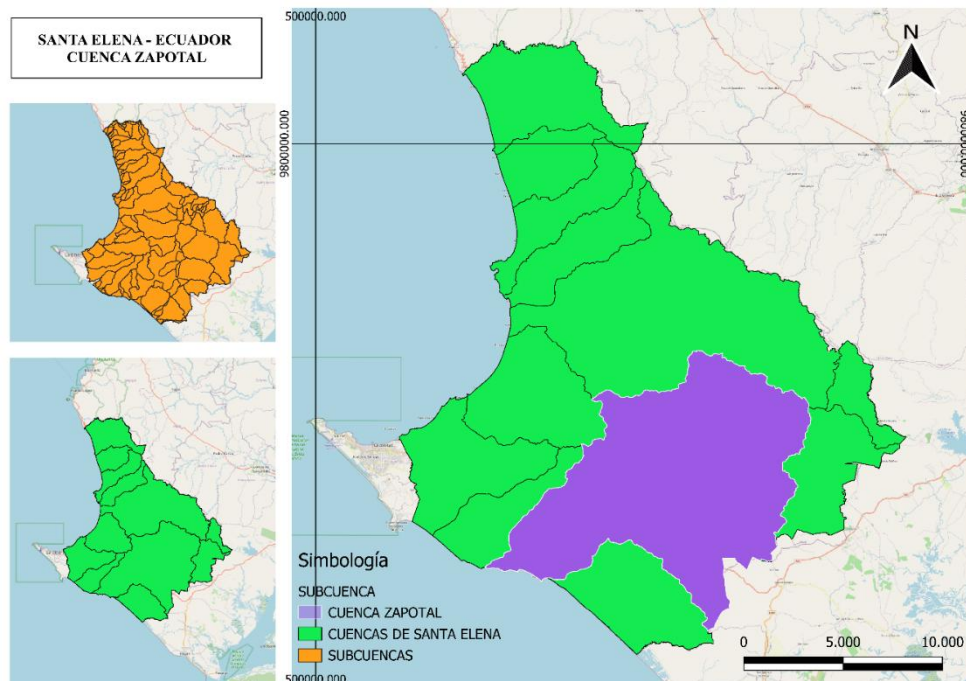
### 2.1 Área de estudio

La cuenca del río Zapotal está ubicada en la Península de Santa Elena, limitando con el río Javita, al sur por el estuario del río Guayas, al este con el golfo de Guayaquil y al oeste por la comunidad Baños de San Vicente, la cuenca está caracterizada por diferentes formaciones geológicas denominadas “Grupo azúcar”, así como en la **Tabla 14** indica la información relacionada con la **Figura 2**.

Paleoceno-Eoceno y Medio, las cuales son unidades fundamentales Estancia - inferior, Candy - intermedia y el Engavio - superiores (Vázquez, 2015).

*Tabla 18. Mapa de resumen de la cuenca Zapotal.*

Fuentes de información	
<b>Mapa</b>	Cuenca río Zapotal
<b>Nombre del Mapa</b>	Hidrografía en la Cuenca río Zapotal Santa Elena – Ecuador Cuenca río Zapotal Santa Elena – Ecuador río en la Cuenca Zapotal
<b>Mapa topográfico</b>	UTM Zone 17s
	Escala 1:50000
	Fuente: IGM



*Figura 2. Mapa Cuenca río Zapotal.*

## 2.2 Diseño Experimental

### 2.2.1 Tipo de investigación

Este tipo de diseño se caracteriza por la ausencia de manipulación de variables independientes y la no aplicación de tratamientos controlados. Su objetivo principal es observar y analizar los fenómenos tal como ocurren en su contexto natural, sin intervenir en ellos. Este enfoque resulta especialmente adecuado para estudios descriptivos y correlacionales, donde se busca comprender relaciones entre variables y generar información confiable para la toma de decisiones, sin alterar las condiciones originales del entorno.

### 2.2.1 Instrumentos

Se empleó el sistema de posicionamiento global (GPS) para la georreferenciación del área de estudio, complementado con mapas temáticos que facilitan la representación espacial de la cuenca. Estos recursos garantizan la rigurosidad metodológica del análisis y aportan información precisa y confiable para la planificación de estrategias orientadas a la conservación de los suelos. Así mismo se consultaron fuentes digitales y literatura científica para fundamentar el análisis teórico, complementando este proceso con el uso de calculadoras destinadas al cálculo de los factores que integran el modelo RUSLE, dicho procedimiento se apoyó mediante la metodología propuesta por (Wischmeier y Smith, 1978)

## 2.3 Ecuación Universal Revisada de Pérdida del Suelo (RUSLE)

### 2.3.1 Factor erosividad de lluvia (R)

Según Crettaz et al. (2016) El factor de erosividad de lluvia (R) es la unidad total anual de cada tormenta que se obtiene del producto de la energía total, lo cual **E** es la energía cinética por unidad de área, el **I<sub>30</sub>** es la intensidad máxima en 30 minutos de lluvia, (*energía/intensidad EI<sub>30</sub>*).

$$R = \sum (EI_{30}) i / N$$

Donde:

R= es la erosividad anual

(EI<sub>30</sub>) i = EI<sub>30</sub> para tormenta I

N = tormenta erosiva en un periodo de N años (P > X mm)

*La energía de la tormenta (EI o R) indica el volumen de lluvia y escurrimiento*

**E** podría tener un mismo valor que una lluvia de corta, mientras que (**I**) es la alta intensidad.

*La energía se calcula:*

$$E = 0.29 * (1 - 0.72 * \exp(-0.05(I)))$$

Donde:

E: Energía cinética de 1 mm de lluvia (Mj/ha\*mm)

I: intensidad de lluvia (mm/hrs)

*La determinación de la intensidad de precipitación se realiza con base a la distribución de Gumbel para cada una de las estaciones meteorológicas*

### **2.3.1.1 Índice de Fournier (IF)**

Este índice indica la estimación de lluvia anual (IF).

$$IF = \frac{p^2}{P}$$

Donde:

p: precipitación del mes más lluvioso (mm)

P: Precipitación total anual (mm)

Los valores de IF se obtienen con la escala valorativa para las áreas montañosas tropicales (**Tabla 2.** Valor del índice de Fournier), los índices modificados de Fournier (IMF anual), hace uso de los registros de estaciones convencionales.

$$IMF = \sum_1^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

Donde:

Pi es la precipitación mensual del mes “i” (de enero hasta diciembre)

Los valores de IMF resultantes se clasifican según los rangos propuestos en **Tabla 3.** Clasificación del Índice Modificado de Fournier para América (Delgado, 2003)

### **2.3.2 Factor longitud de pendiente (LS).**

La longitud de pendiente (LS) se define como la distancia desde el punto de origen del flujo hasta el punto, en el cual.

- A medida que el gradiente de la pendiente disminuye provoca el inicio de la deposición de sedimentos
- El escurrimiento llega a ser concentrado en un canal definido

$$L = \left( \frac{\lambda}{72.6} \right)^m$$

$$S = (65.41 \sin^2\theta + 4.56\sin\theta + 0.065)$$

Donde:

L = factor de longitud

S = factor pendiente

$\lambda$  = longitud de la pendiente (pies)

m = exponente de la longitud de la pendiente

72.6 = longitud de parcela unitaria RUSLE

*La longitud de la pendiente es de proyección horizontal, el exponente de longitud determina la relación entre la erosión en surcos causadas por el flujo y erosión entre surcos causados por el impacto de gotas de lluvia.*

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

m = exponente de la longitud de la pendiente.

$\theta$  = ángulo de pendiente (%).

$\beta$  = pendiente (radianes).

Inclinación de la pendiente (S) refleja la influencia de la gradiente de la pendiente en la erosión, el potencial de erosión aumenta con cada pendiente.

*Para aquellas pendientes que son mayores de 5m se debe de utilizar lo siguiente.*

**S = 10.8 \* sin  $\theta$  + 0.03** → cuando S < 9%

**S = 16.8 \* sin  $\theta$  - 0.5** → cuando S ≥ 9%

Donde:

S = factor de inclinación de pendiente.

$\theta$  = ángulo de pendiente (°).

### 2.3.3 Factor erodabilidad (K)

El factor erodabilidad del suelo (factor K), representa la susceptibilidad del suelo al proceso erosivo y está determinado por las características intrínsecas del suelo y su compactamiento ante en la pérdida, los valores de K son asignados usando el nomograma de erodabilidad del suelo, que está relacionado con el efecto del tamaño de las partículas (%MO), código de estructura del suelo y la clase de permeabilidad del perfil.

Los suelos de textura fina y con alto contenido de arcilla tienen valores bajos en **k** (0.05-0.15) debido a que son resistentes al desprendimiento.

Los suelos con textura gruesa (suelos arenosos) tienen valores bajos de **k** (0.05-0.2) debido a su bajo escurrimiento, porque predomina la microporosidad (son fácilmente desprendibles).

Los suelos de textura media (franco limoso) tiene valores moderados de **k** (0.25-0.4) debido a que tienen una moderada estabilidad estructural y producen escurrimientos moderados (Pérez-Cutillas, Barberá y García, 2019).

$$K = \left( \frac{2.1 * 10^{-4} * M^{1.14} (12 - MO) + 3.25(s - 2) + 2.5(p - 3)}{100} \right) * 0.1317$$

Donde:

K = factor de erodabilidad del suelo (t/ha. MJ\*ha/mm\*hrs)

MO = % de materia orgánica

S = clasificación de estructura del suelo

P = clasificación de permeabilidad

M = factor textural →  $M = (msilt + mvfs) * (100 - mc)$

*mc* = porcentaje contenido de arcilla (<0.002mm)

*msilt* = porcentaje de limo (0.002 – 0.05mm)

*mvfs* = porcentaje de arena fina (0.05 – 0.1mm)

**Fuente:** (Astorga Gómez, Aróstica Córdova y Iriarte Salinas, 2016)

### 2.3.4 Factor cobertura vegetal (C)

La determinación del factor C parte de los datos de la teledetección espacial basado en el *índice de vegetación de diferencia normalizada* (NDVI), debido a su fácil obtención y a su alta disponibilidad de datos, sus rangos llegan a oscilar entre el -1 y el +1 correspondiendo a valores con menor y mayor cobertura vegetal (Matellanes, 2019).

$$C = 0.431 - 0.805 * NDVI$$

Siendo la fórmula para el cálculo final para obtener el NDVI

$$NDVI = \left( \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right)$$

Donde:

NIR hace referencia espectral de la superficie en la banda infrarroja cercana.

RED es la reflectancia espectral de la superficie de la banda roja.

Según Durigon et al. (2014) el primer método usado para la estimación del factor C y adoptado por Almagro et al. (2019) por Jeffery and Dercksen (2015) el “C<sub>TA</sub> y el C<sub>VK</sub>” se

calculan de modo que  $C_{ra}$  se basa en el re escalamiento del NDVI de condiciones climáticas tropicales y con intensas precipitaciones, en base con él  $C_{vk}$  los valores 2 y 1 son óptimas para los climas europeos, representativamente a los parámetros de  $\alpha$  y  $\beta$ .

$C_{ra}$  es el coeficiente del factor C, representa la resistencia a la erosión en condiciones sin efectos estacionales marcados de las lluvias sobre la vegetación,  $C_{vk}$  es el coeficiente usado para ajustar el factor C, sus condiciones estacionales como la fase de crecimiento o la densidad vegetal, especialmente se consideran los efectos estacionales de las precipitaciones (Macedo *et al.*, 2020).

$$C_{VK} = x \left( -\alpha \frac{NDVI}{(\beta - NDVI)} \right)$$

$$C_{rA} = 0.1 \left( \frac{-NDVI + 1}{2} \right)$$

Tabla 19. Valores de bosque tropical

Variable	Intervalo de la variable	Referencias
Intervalo de precipitación media anual (mm)	700- 1200	(Miranda and Hernández-X, 1963)
	300- 1800	(CONABIO, 2021)
	250- 2000	(Murphy y Lugo, 2003)
	500- 2000	(Tosi, 1966)
	17	
Temperatura media anual mínima (°C)	20	(Miranda and Hernández-X, 1963), (CONABIO, 2021)
	25	(Sanchez-Azofeita <i>et al.</i> , 2005)
Relación entre la evapotranspiración potencial y la precipitación media anual	>1	(Tosi, 1966)
Número mínimo de meses secos	3	(Sanchez-Azofeita <i>et al.</i> , 2005)
	4	
	5-8	(CONABIO, 2021)

Fuente:(Guerra Martínez et al., 2021)

#### 2.3.4.1 Subfactor de Dosel (CC)

$$CC = 1 - fc$$

Donde:

fc = fracción de cobertura vegetal

#### 2.3.4.2 Altura de caída de lluvia (HC)

$$HC = e^{(-k \cdot h)}$$

K = coeficiente de atenuación

h = altura vegetal (cm)

### 2.3.4.3 cobertura superficial (SC)

$$SC = e^{-b(rc + rr)}$$

Donde:

b = coeficiente empírico

rc = % de los residuos vegetales

rr = índice de rugosidad

### 2.3.4.4 Biomasa radicular (BR)

$$BR = 1 / (1 + k * rb)$$

Donde:

k= constante (0.1 para suelos agrícolas)

rb= biomasa radicular (Kg/Ha)

### 2.3.4.5 Uso de la tierra anterior (PLU)

$$PLU = 0.8 + 0.2 * (1 - e^{-\lambda t})$$

Donde:

$\lambda$  = tasa de recuperación (0.1 año)

t= tiempo desde cambio de uso (años)

e= erosividad

## 2.3.5 Factor prácticas de conservación mejorada (P)

Según las identificaciones de medidas de ingeniería se basaron en pendientes y terrazas, combinando características de imágenes de forma, color, posición y cultivos Angima et al, (2003), en las mediciones de labranza que fueron recopiladas mediante imágenes y datos estadísticos de la siembra y rotación de los cultivos, este factor se calcula mediante dos factores  $P_{\text{estructural}}$  y el  $P_{\text{cont}}$ . (Tian et al., 2021).

$$P = P_{\text{struc}} * P_{\text{cont}}$$

$$P_{\text{struc}} = SL_{S, SWC} / SL_{S, \text{cont}}$$

Donde:

$P_{\text{struc}}$  = es el valor de P para las mediciones de SWC

$SL_{S, SWC}$  = es la tasa estacional de pérdida del suelo con mediciones de SWC en el sitio de monitoreo

$SL_{S, \text{cont}}$  = es la tasa estacional de pérdida del suelo sin mediciones de SWC en la misma parcela

$P_{\text{cont}}$  = se determina principalmente por las fluctuaciones de las curvas de nivel

## 2.4 Materiales de campo

- Sistema de posición global (GPS) para la identificación del lugar de estudio.
- Mapa de área de estudio.

## 2.5 Fase de análisis

- Internet para la búsqueda de información sobre la investigación.
- Literaturas citadas para la ayuda de la investigación.
- Calculadora para resolver los diversos factores.
- Software QGIS versión 3.36.3.

En el punto **Flujograma de los procedimientos 2.6** se puede observar las diferentes formas en la que se obtuvieron los diversos mapas de los Factores de RUSLE mediante distintas instrucciones.

## 2.6 Flujograma de los procedimientos de los Factores de RUSLE



Figura 3. Flujograma Factor R.



Figura 4. Flujograma Factor K.

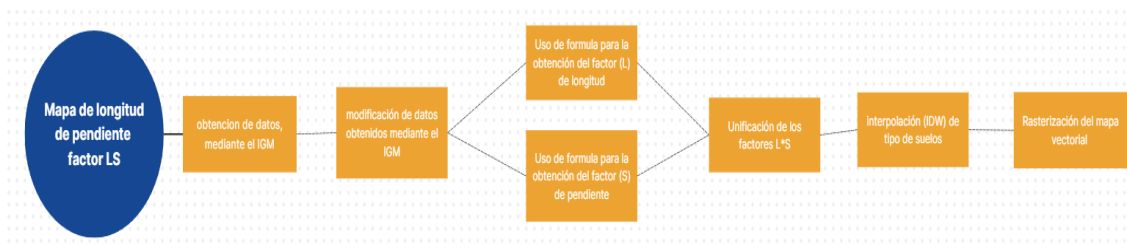
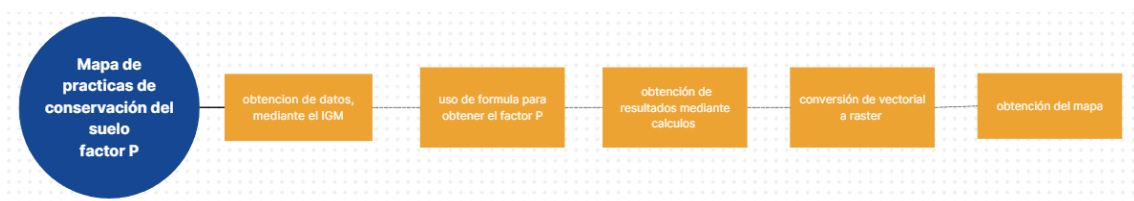


Figura 5. Flujograma Factor LS.



*Figura 6. Flujograma Factor C.*



*Figura 7. Flujograma Factor P.*

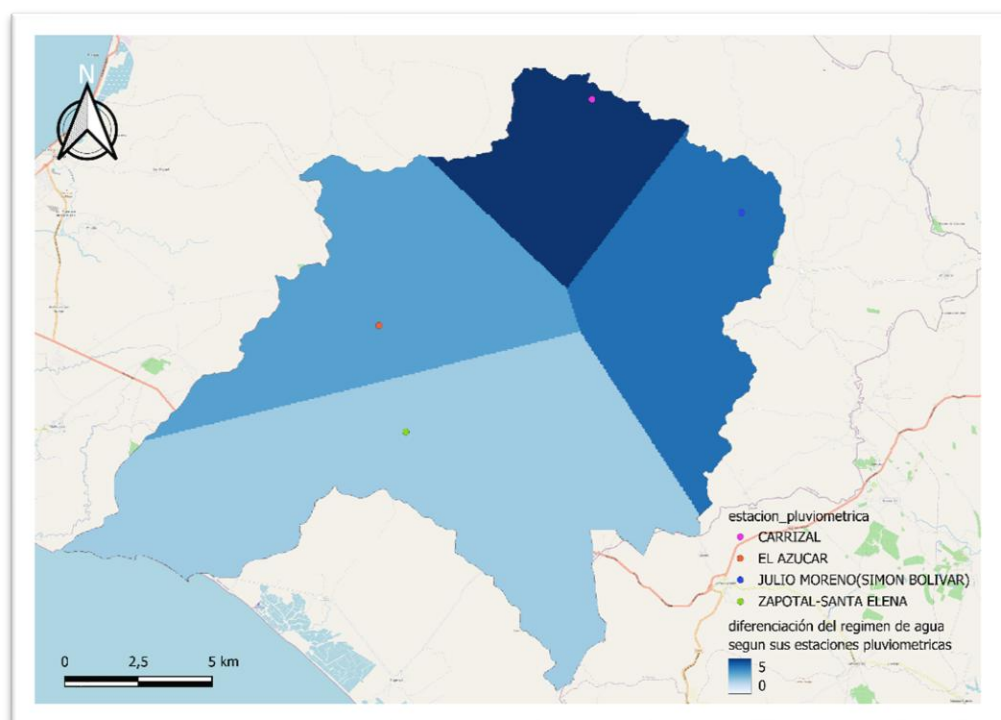
## CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Procesamiento de información de la ecuación universal revisada de pérdida del suelo

#### 3.1.1 Factor R

En el caso de la erosividad de lluvia se necesitan datos meteorológicos de precipitación, la información fue recuperada del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI (2013) con una resolución temporal mensual. En la **Figura 8** se pueden observar la identificación de las cuatro estaciones pluviométricas utilizadas, que están ubicadas en las coordenadas GPS latitud, longitud (EPSG:32717): M473 Zapotal-Santa Elena -80.44577, -2.11029; M472 Julio Moreno (Simón Bolívar) -80.35462,-2.18056; M223 El Azúcar -80.56012,-2.31572; M778 Carrizal -80.57521,-2.24956.

El R de USLE idealmente se deriva de EI30 por ello, los valores basados en IMF/P deben presentarse como estimaciones proxy con la ecuación empírica utilizada y su validez geográfica (Roberto Pizarro T *et al.*, 2003).



*Figura 8. Ubicación de las estaciones pluviométricas.*

Gracias a estas estaciones pluviométricas podemos encontrar datos anuales y mensuales, así como es indicado en la **Tabla 20**. Valores pluviométricos anuales (mm) (INAMHI, 2013).

*Tabla 20. Valores pluviométricos anuales (mm).*

<b>Meses</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
<b>Enero</b>	480.6	738.4	756.3	282.9
<b>Febrero</b>	649.4	383.5	689.5	457.8
<b>Marzo</b>	426.3	243.3	555.5	325.9
<b>Abril</b>	517.8	451.9	493.0	475.6
<b>Mayo</b>	448.1	68.8	288.6	64.8
<b>Junio</b>	142.6	67.0	17.7	1.6
<b>Julio</b>	11.8	113.9	3.1	0.0
<b>Agosto</b>	0.0	0.9	0.8	0.0
<b>Septiembre</b>	13.6	3.5	0.0	0.4
<b>Octubre</b>	8.5	4.1	2.5	7.4
<b>Noviembre</b>	54.5	3.6	7.8	0.0
<b>Diciembre</b>	472.6	198.4	26.9	61.1
<b>totales</b>	3225.8	2277.3	2841.7	1677.5

(INAMHI, 2013)

A través de esto se determinó que las precipitaciones varían significativamente, siendo el 2010 con los valores más altos registrados.

En comparación con los años 2010 al 2013 existe una alta variabilidad de humedad, siendo el 2010 con 3225.8mm el año con mayor humedad, 2011 con 2277.3mm, siendo medio bajo en humedad, 2012 con 2841.7mm el segundo más alto en humedad, mientras que el 2013 es el año más seco con 1677.5mm.

Se indica que en la Tabla 21 que las precipitaciones más abundantes se concentran en los primeros cuatro meses del año (enero hasta abril), luego existe una transición desde mayo a diciembre siendo meses que también tienen precipitaciones elevadas en comparación con julio a noviembre que son meses de baja escasez de lluvia (Oliver J. E, 1980)

*Tabla 21. índice de concentración pluviométrica.*

<b>Año</b>	<b>PCI</b>	<b>Clasificación de la Distribución</b>
2010	14.9	Moderada
2011	19.6	Irregular
2012	20.8	Muy Irregular

2013	22.4	Muy Irregular
------	------	---------------

(Oliver J, E, 1980)

En la siguiente Tabla 22 se indica que desde el periodo de diciembre hasta abril es la representación de los cinco meses de concentración de lluvia incluyendo el primer mes de temporada, demostrado la dependencia del régimen de hídrico de un ciclo efímero.

Del periodo de enero hasta abril es la representación de la estación más lluviosa, siendo el periodo de mayor disponibilidad de agua para los sistemas agrícolas.

*Tabla 22. Concentración anual.*

Periodo Clave	2010	2011	2012	2013
<b>Ene–Abr</b>	64.3%	79.8%	87.8%	<b>91.9%</b>
<b>Dic–Abr</b>	78.9%	88.5%	88.7%	<b>95.6%</b>

(Oliver J. E, 1980)

Durante el 2011 y el 2012 se lograron caracterizar eventos pluviométricos que superan los 700mm Tabla 23, siendo un volumen alto en un mes llegando a representar riesgos de inundaciones de suelos.

*Tabla 23. Máximo de precipitación*

Año	Mes Dominante	Precipitación (mm)	Contexto Climatológico
<b>2010</b>	Feb	649.4	Ligeramente inferior a la media de los picos.
<b>2011</b>	<b>Ene</b>	<b>738.4</b>	Pico muy alto, contribuyó a la alta concentración anual.
<b>2012</b>	<b>Ene</b>	<b>756.3</b>	El <b>valor más alto</b> de precipitación mensual del periodo.
<b>2013</b>	Abr	475.6	El pico más bajo del periodo, coherente con el año más seco.

(Oliver J. E, 1980)

Según Castro Quintero et al. (2017) el Índice de Fournier Modificado (IMF) Tabla 24 muestra un indicador de agresividad de las precipitaciones, considerando la contribución de todos los meses del año, siendo el mejor estimador de erosividad.

*Tabla 24. Precipitación mensual según el IMF.*

Año	IMF	Significado
-----	-----	-------------

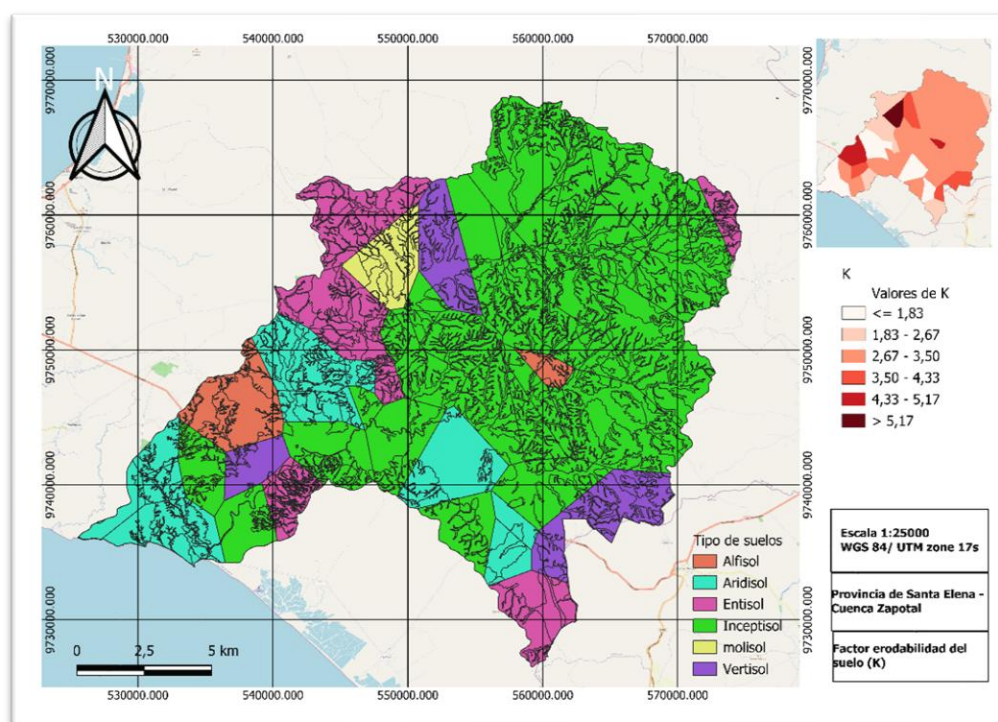
<b>2010</b>	480.6	Alto potencial erosivo.
<b>2011</b>	446.7	Alto potencial erosivo.
<b>2012</b>	<b>592.4</b>	<b>Máximo potencial erosivo del periodo.</b>
<b>2013</b>	375.6	Mínimo potencial erosivo del periodo.

(Crettaz, Gvozdenovich y Saluzzio, 2016)

En la variabilidad de agresividad interanual nos revela que existen alrededor de 200 unidades en comparación del 2012 al 2013, indicando un alto riesgo de erosión variable.

### 3.1.2 Factor K

En la **Figura 9** se permite analizar la susceptibilidad de los diversos suelos, cuyos valores cambian desde 1.83 hasta 5.17 Mg\*h/ Mj\*mm, indicando que la tasa de erodabilidad tiende a concentrarse en áreas específicas, especialmente en el noreste del área.



*Figura 9. Órdenes de suelo y nivel del Factor K.*

En la **Figura 9** se observar una distribución de seis tipos de suelos, relevantes para el entendimiento de la erodabilidad, el porcentaje es muy variado siendo el menor de 13.31% Entisoles y el más alto es de 18.24% de los Vertisoles, teniendo en cuenta las principales agrupación (los cuatro de mayor porcentaje) Vertisol 18.24%, Molisol 17.37%, Aridisol 17.31%, Alfisoles 17.20% representarían un 70.12%, indicando significativamente que el

área está cubierta por suelos edáficos con horizontes bien desarrollados.(Flores Márgez *et al.*, 2013).

*Tabla 25. Porcentaje de orden de suelo.*

<b>Orden de suelo</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Aridisoles	17,31%
Entisoles	13,31%
Inceptisoles	16,57%
Vertisoles	18,24%
Alfisoles	17,20%
Molisoles	17,37%
<b>Total</b>	<b>100%</b>

En la Tabla 26 los suelos arenosos son suelos de alto riesgo por lo que son más erosionables (1.86), debido a su baja cohesión y susceptibilidad al escurrimiento superficial, los suelos limosos están en el intermedio (1.39), estos tipos de suelos son altamente erosionables por su estructura y baja cohesión, los suelos arcillosos son suelos de bajo riesgo con menos erosiones (1.11) debido a su alta cohesión y optima resistencia a la desagregación por impacto de las gotas de lluvia (Ulloa, 2022).

*Tabla 26. Promedio textural del factor K.*

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Promedio</b>
Arena	<b>1,86</b>
Limo	<b>1,39</b>
Arcilla	<b>1,11</b>

En la **Figura 10** indica una diferenciación en la estructura del suelo mediante 55 muestras, indicando fluctuaciones en los porcentajes de tres componentes texturales, arena, limo y arcilla, el cual se observa una considerable heterogeneidad en las composiciones del suelo.

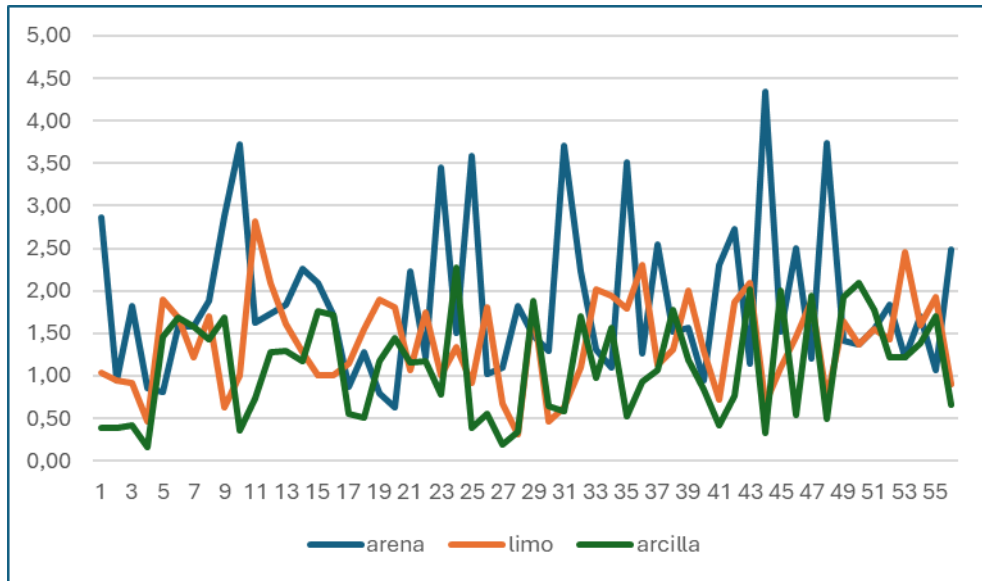


Figura 10. Variación estructural del suelo.

La erodabilidad del suelo necesita información existente del Instituto Geográfico Militar (IGM), siendo aquella entidad que proporciona cartografías y geografías.

### 3.1.3 Factor LS

La **Figura 11** calcula el método de RUSLE en la cuenca Zapotal, siendo este un Factor importante para determinar la inclinación del área, debido a su combinación con la longitud y la inclinación de la pendiente.

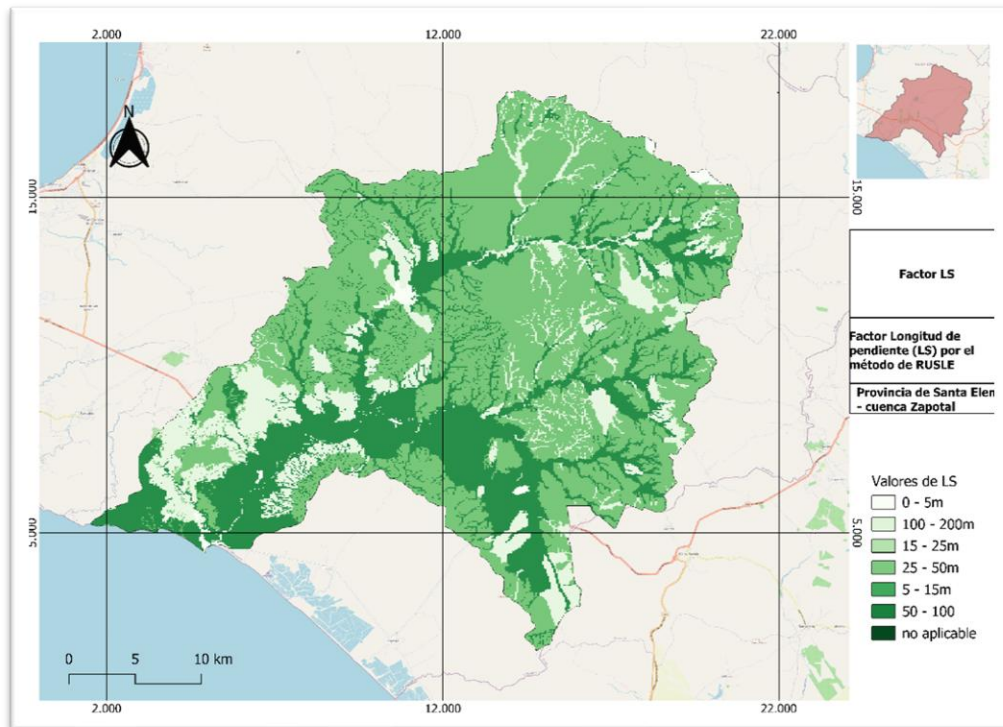


Figura 11. Distribución espacial de Longitud de pendiente LS.

En el presente modelo se logra observar el área de estudio a una escala de 1:25000 con la coordenada WSG84/ UTM zone 17s, por el cual se demostró que existen pendientes que van desde lo “no aplicable” hasta el “muy fuerte” del área de estudio de elevación del factor Longitud y pendiente (LS).

La Tabla 27 indica el rango que existe de las pendientes esta por el 5% y el 100%, indicando áreas bajas hasta áreas montañosas, las categorías (Fuerte y Muy Fuerte) van desde el 40 % hasta el 100% son áreas de alto riesgo, dichos rangos equivalen al Factor S de pendiente llevándolo a ser el principal incentivo para la pérdida del suelo, en comparación de las demás categorías la categoría (medio 25%-40%) son áreas que se deberían de aplicar las prácticas de conservación de suelos.

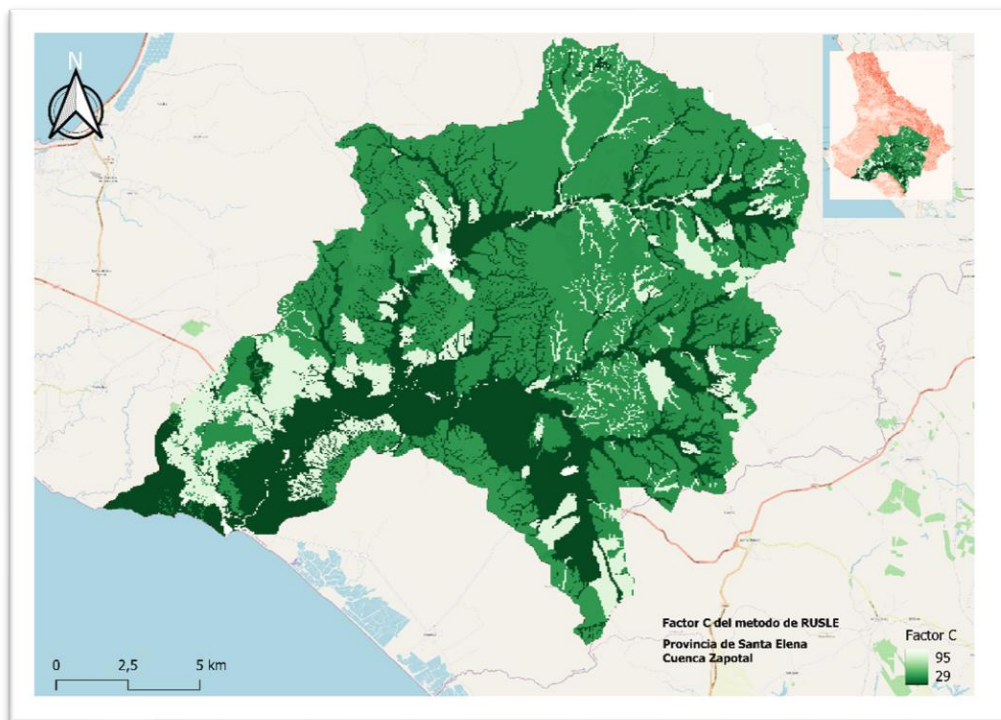
*Tabla 27. Pendiente de LS.*

<b>Pendiente</b>	<b>Densidad relativa</b>	<b>Clasificación categórica</b>
No aplicable	No aplicable	No aplicable
Suave	0 – 5 m	5 a 12 %
Medio suave	5 – 15 m	
Medio	15 – 25 m	25 a 40 %
Medio fuerte	25 – 50 m	40 a 70 %
Fuerte	50 – 100 m	
Muy fuerte	100 – 200 m	70 a 100 %

Para una fácil asignación de los valores de LS de forma continua se debe de hacer uso de un modelo digital de elevación y su fórmula para calcular los rangos definidos de longitud de pendiente, los rangos de alto valor deben ser de referencia en la ecuación final de pérdida del suelo debido a que están concretan mayormente al escurrimiento (García y Giménez-Suárez, 2025)

### **3.1.4 Factor C**

En la **Figura 12** se puede observar los valores obtenidos del Factor C de RUSLE para analizar el (índice de vegetación de diferencia normalizada NDVI), de los cuales existen valores menores a valores altos (13 a 127), haciendo evidencia que los valores de 127 son áreas de baja cobertura vegetal siendo suelos desnudos o áreas urbanas, mientras que los valores de 13 son valores altos indicando bosques y cultivos densos, a pesar de los riesgos naturales de (R, K, LS) la vegetación actúa como un buen mitigador (Ferrerías, 2021).

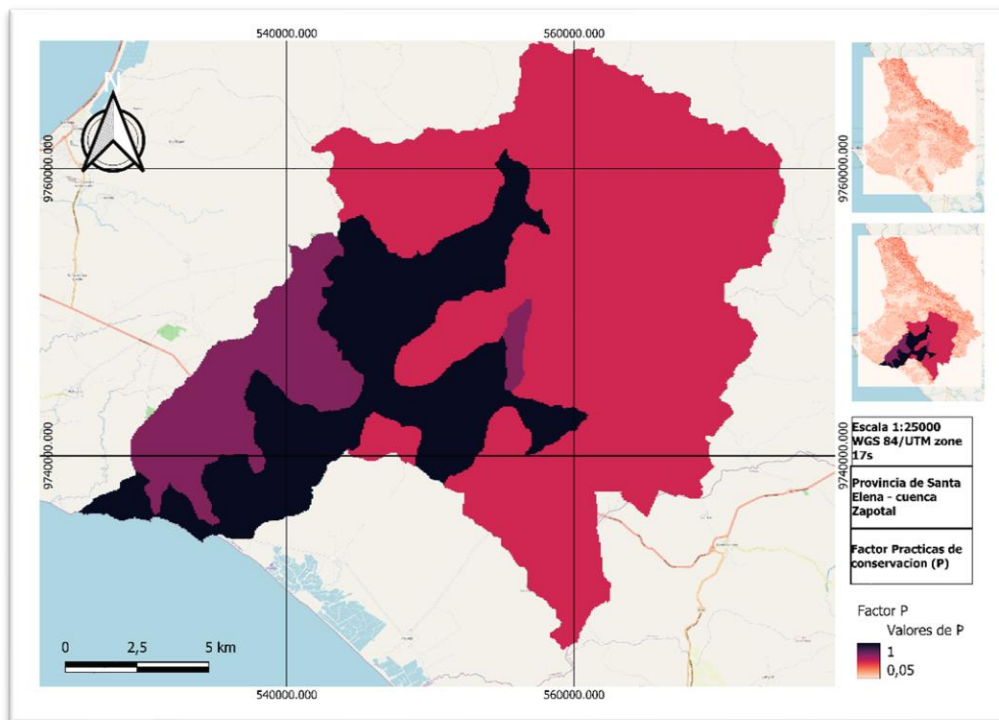


*Figura 12. distribución de la cobertura vegetal.*

Para lograr encontrar este Factor se calculó mediante la erosividad de lluvia (R) **Figura 8**, por el cual se catalogó como alta intensidad de precipitaciones en el área, también la erodabilidad (K) **Figura 9**, que en mayoría serían suelos erosionables, el Factor longitud de pendiente (LS) **Figura 11**, el cual presentó pendientes suaves a pendientes muy fuertes, indicando la susceptibilidad hacia la erosión hídrica.

### **3.1.5 Factor P**

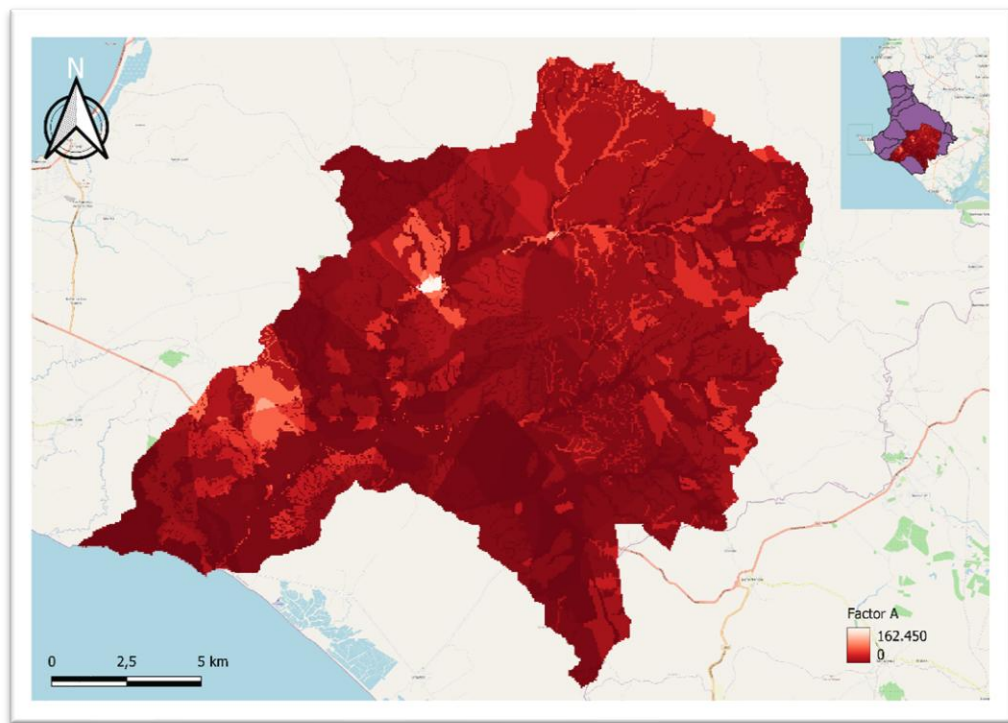
En la **Figura 13** se puede observar valores del Factor P de prácticas de conservación del suelo, evidenciando las áreas mostradas en Tabla 12 que van desde “sin labranza, minimizando el desequilibrio del suelo” hasta las “terrazas alterando la longitud y pendiente de las laderas”, siendo aquellos que presentan áreas de mitigación efectiva al riesgo por erosión, las áreas más intensas con valor de (1) son las áreas de un alto riesgo de manejo, debido a que no se implementaron ningún tipo de prácticas de conservación (Suarez, 2021).



*Figura 13. Efectividad de las prácticas de conservación.*

### 3.1.6 Erosión hídrica

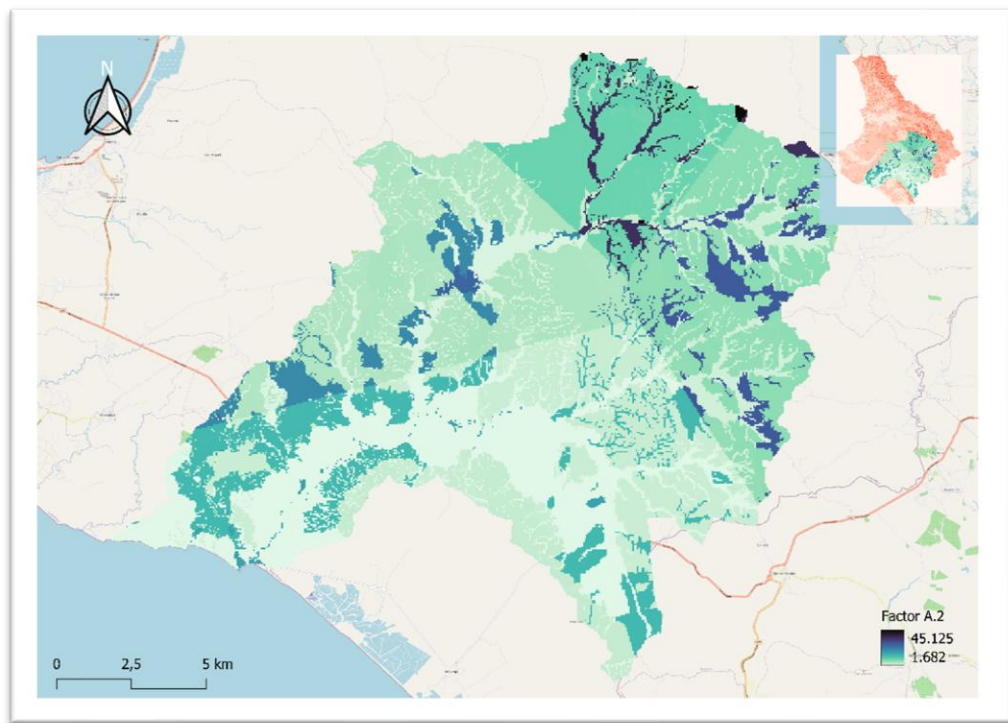
La erosión hídrica **Figura 14** constituye el resultado final de la interacción de los factores del modelo RUSLE (R, K, LS, C y P), reflejando la pérdida actual de suelo tras la implementación de prácticas de conservación, que para su estimación, se aplicaron procedimientos específicos, el **factor R** se calculó mediante datos pluviométricos interpolados en SIG, el **factor K** se determinó a partir de la textura, estructura y permeabilidad del suelo, empleando cartografía edáfica, el **factor LS** se obtuvo mediante modelos digitales de elevación, aplicando fórmulas que consideran longitud y pendiente, el **factor C** se estimó con índices de vegetación (NDVI) derivados de teledetección, y el **factor P** se asignó según la presencia de prácticas de conservación como terrazas y cultivos en contorno, validando la eficacia de las medidas implementadas y aportando criterios para la planificación territorial orientada a la mitigación del riesgo.



*Figura 14. Erosión hídrica actual.*

En el análisis de los Factores C y P se muestra que son dominantes en los valores bajos, es decir, tienen una buena cobertura vegetal y buenas prácticas de conservación efectivas, las áreas con los valores más altos son donde se esperan las condiciones de alto riesgo natural de los Factores R, K y LS (Wischmeier and Smith, 1978).

En la **Figura 15** indica una alta pérdida del suelo bajo las condiciones edafoclimáticas de parte de la cuenca, al multiplicar los factores R, K y LS cuyos rangos se derivan únicamente de la incidencia de los factores naturales, se obtienen los valores más altos en las áreas de mayor pendiente en suelos limosos y arenosos (Wischmeier and Smith, 1978).



*Figura 15. Erosión hídrica potencial.*

Las áreas que tienen menor erosividad están ubicada en mayoría hacia el sur, siendo las que están más cercas de la costa, mostrando que estas poseen características topográficas más planas y con una mejor cobertura vegetal.

### ***3.2 Medidas de conservación propuestas para la cuenca***

Para mitigar los riesgos de la erosión hídrica proponen la conservación de la susceptibilidad de los factores optimizando el manejo de C y P, es importante implementar sistemas de terrazas y laderas en áreas de pendiente muy elevada, reduciendo así la velocidad de escurrimientos superficiales y energías erosivas dadas por el agua (Wischmeier y Smith, 1978).

Se recomienda incrementar la cobertura vegetal mediante la implementación de sistemas agroforestales, incorporando cultivos de leguminosas que protejan el suelo y aumenten su contenido de materia orgánica, reduciendo así su erodabilidad. Asimismo, la introducción de especies vegetales resistentes a la sequía y con raíces profundas contribuye a mejorar la estructura del suelo, incrementar la materia orgánica y optimizar la capacidad de retención hídrica, fortaleciendo la resiliencia frente a eventos climáticos extremos (Lucio-Villacreses *et al.*, 2024)

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### *Conclusiones*

Se evaluó que el riesgo de la pérdida del suelo es mayor en la cuenca, esto indica que las condiciones son perjudiciales en el área ya que es vulnerable a la degradación, al estimar la tasa de erosión hídrica actual es muy lenta, resultando en una pérdida de menos de 1 cm/año, en caso de que las prácticas de manejo del suelo y de cobertura vegetal se mantengan su pérdida sería de solo 10 cm en una década, siendo una tasa manejable para los agricultores. En caso de que estas prácticas de conservación no se mantengan es posible que estas pérdidas lleguen a ser mucho mayor.

Las herramientas geoespaciales en cartografía son esenciales en para las cartografías de las erosiones de las cuencas, ya que permiten la medición en campo de forma espacial y cuantificando los riesgos de las extensiones de las misma, se lograron gracias al uso del Quantum GIS (QGIS) un software de código abierto que hace uso del almacenaje, captura y análisis de datos, así mismo sirve para calcular los componentes de cada de RUSLE en específico los Factores de LS y K, al momento de la unificación de los mapas se generó la pérdida de suelo, que no solo evidencia las zonas más críticas de las cuencas, sino que proporciona bases visuales para las posibles medidas de conservación de los suelos.

La implementación de las practicas agronómicas dadas en base a su baja erosión aumentan la cobertura vegetal por medio de prácticas sostenibles que ayuden a fomentar el crecimiento de estas, también en la práctica de la labranza cero en laderas donde su longitud de pendiente es moderada.

La introducción de especies vegetales resistentes a las sequias en suelos que proporcionan una óptima cobertura durante las épocas de lluvia, cubriendo la superficie del impacto directo de estas gotas llegando a mantener la estabilidad de las estructuras de los suelos y evitando los escurrimientos.

En el ámbito de producción es necesario priorizar la conservación de los suelos por medio de la adaptación de las prácticas agrícolas de conservación para así mitigar la erosión y poder así fomentar la infiltración y estabilización de laderas, para el aseguramiento de la efectividad es superficial desarrollar proyectos de saneamiento y tratamientos de aguas residuales para la protección de calidad de los recursos hídricos.

### ***Recomendaciones***

Elaborar estrategias de conservación enfocándose en la priorización de zonas de alta erosión, haciendo uso de las herramientas geoespaciales para identificar las áreas de pendiente alta y de erodabilidad del suelo que resulten más elevadas. Su intervención se debe centrar en las áreas críticas para la implementación de estructuras como muros de contención en las microcuencas, para así asegurar los recursos.

El establecimiento de programas de monitoreo sobre las pérdidas de los suelos usando las herramientas geoespaciales para las futuras evaluaciones se debe realizar de forma periódica para la actualización de los mapas de cobertura vegetal. Por medio de este análisis se permitirá evaluar la efectividad de las medidas de conservación implementadas, asegurando el manejo adecuado de las cuencas.

Otra recomendación es la zonificación de los suelos para priorizar la mitigación de las erosiones de mayor riesgo por sus altas concentraciones de elevaciones. En estas áreas de alto riesgo se deben implementar prácticas de conservación agrícolas tales como los sistemas agroforestales y cultivos de cobertura vegetal, para así reducir de forma drástica el flujo de agua.

La promulgación de ordenanzas municipales para la conservación de los suelos y aguas permitirá formalizar las medidas de mitigación y asegurar el cumplimiento a largo plazo. Dicha ordenanza debe ser obligatoria para la adaptación de las prácticas anti erosivas en lugares muy vulnerables. Esto debe incluir: controles de drenajes urbanos y rurales, mejorar el diseño de los sistemas de drenaje tanto en los nuevos desarrollos urbanos como en los caminos, siendo crucial para evitar una concentración de las escorrentías dañinas que afecten la infraestructura. Además, se deben establecer cuerpos técnicos municipales para el cumplimiento de las prácticas de conservación, definiendo sanciones para quienes realicen actividades que afecten la estabilidad de los suelos en las cuencas.

Realizar el fortalecimiento de la asistencia municipal para aquellos suelos específicos, con el fin de brindar asistencia especializada a los agricultores. Su enfoque debe priorizarse en: el mejoramiento de la conductividad hídrica, es decir, abordar técnicas para la mitigación de su baja conductividad, característica de los suelos arcillosos donde el riesgo de escorrentía es alto. También se debe fomentar el uso adecuado de maquinarias agrícolas para evitar la compactación de los suelos y disminuir la baja infiltración en los suelos arcillosos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexandra (2009) *Que Es Método Gravimétrico | PDF | Química | Ciencias físicas, Scribd*. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/407830145/Que-Es-Metodo-Gravimetrico> (Accedido: 25 de noviembre de 2025).
- Alive (2022) «Criterios técnicos para el diseño y evaluación de cárcava, revegetación para diversificación del paisaje y abrevaderos y construcciones de charcas artificiales.», *Alive*, 18 enero. Disponible en: [https://alive.csic.es/material\\_tecnico/criterios-tecnicos-para-el-diseno-y-evaluacion-de-carcava-revegetacion-para-diversificacion-del-paisaje-y-abrevaderos-y-construcciones-de-charcas-artificiales/](https://alive.csic.es/material_tecnico/criterios-tecnicos-para-el-diseno-y-evaluacion-de-carcava-revegetacion-para-diversificacion-del-paisaje-y-abrevaderos-y-construcciones-de-charcas-artificiales/) (Accedido: 31 de octubre de 2025).
- Almagro, A. *et al.* (2019) Improving cover and management factor (C-factor) estimation using remote sensing approaches for tropical regions, *International Soil and Water Conservation Research*, 7(4), pp. 325-334. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.08.005>.
- Angima, S.D. *et al.* (2003) «Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions», *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 97(1), pp. 295-308. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00011-2](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00011-2).
- Astorga-Gómez, J.M., Aróstica-Córdova, R.A. y Iriarte-Salinas, Y.A. (2016) «Estimación del factor K en transformadores de distribución usando modelos de regresión lineal», *Tecnura*, 20(48), pp. 29-40. Disponible en: <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a02>.
- Baxendale, C.A. y Buzai, G.D. (2011) «Análisis espacial con sistemas de información geográfica. aportes de la geografía para la elaboración del diagnóstico en el ordenamiento territorial». Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/193310> (Accedido: 1 de noviembre de 2025).
- Bermeo, M.J.O. (2019) «COMPARATIVAS DE SOFTWARE SIG LIBRE Y COMERCIAL PARA ESTUDIOS AMBIENTALES». Disponible en: <https://repositorio.puce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/ce242a61-d6cb-46a3-b8ae-9621dd59c52c/content>.
- Bordino, J. (2024) *Cuencas hidrográficas: qué son, tipos e importancia - ¡RESUMEN!*, *ecologiaverde.com*. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/cuencas-hidrograficas-que-son-tipos-e-importancia-3334.html> (Accedido: 24 de mayo de 2025).
- Calderón, E.M. (2017) *Apuntes y Conceptos Básicos Sobre Riego y Drenaje | PDF | Riego | Herida*. Disponible en: <https://it.scribd.com/document/361166873/Apuntes-y-Conceptos-Basicos-Sobre-Riego-y-Drenaje> (Accedido: 3 de noviembre de 2025).
- Cartón, A. (2021) *Tipos de erosión - Características y resumen*, *ecologiaverde.com*. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-erosion-2418.html> (Accedido: 31 de octubre de 2025).
- Castro Quintero, A.F., Lince Salazar, L.A. y Riaño Melo, O. (2017) «Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del Quindío, Colombia», *Revista de Investigación Agraria y Ambiental; Vol. 8, Núm. 1 (2017); 17 - 26 [Preprint]*. Disponible en: <http://repository.unad.edu.co/handle/10596/29296> (Accedido: 31 de octubre de 2025).

- de la Comarca, E. (2009) *Formulario de volumetría* / PDF. Disponible en: <https://it.scribd.com/doc/70823282/volumetria-formulario> (Accedido: 25 de noviembre de 2025).
- CONABIO (2021) «Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)». Autoridad Científica CITES de México. Disponible en: [https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/planeta/cites/files/CONABIO\\_NDF\\_coba.pdf](https://www.biodiversidad.gob.mx/media/1/planeta/cites/files/CONABIO_NDF_coba.pdf).
- Crettaz, E., Gvozdénovich, J.J. y Saluzzio, M. (2016) «CALCULO DEL FACTOR R DE LA USLE A TRAVES DEL INDICE MODIFICADO DE FOURNIER».
- Delgado, F. (2003) «Un protocolo para apoyar la selección de prácticas de conservación de suelos en tierras montañosas tropicales.», *I Seminario Internacional Agricultura de Conservación en Tierras de Laderas* [Preprint]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-28122021000200198#B11](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122021000200198#B11).
- Durigon, V.L. *et al.* (2014) «(PDF) NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed», *ResearchGate* [Preprint]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/259693361\\_NDVI\\_time\\_series\\_for\\_monitoring\\_RUSLE\\_cover\\_management\\_factor\\_in\\_a\\_tropical\\_watershed](https://www.researchgate.net/publication/259693361_NDVI_time_series_for_monitoring_RUSLE_cover_management_factor_in_a_tropical_watershed) (Accedido: 1 de noviembre de 2025).
- FAO (1938) *Clasificación de Suelos* / Portal de Suelos de la FAO / Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/es/> (Accedido: 4 de noviembre de 2025).
- FAO (2015) «El suelo es un recurso no renovable».
- Ferreras, R.M. (2021) «NDVI: índice de vegetación de diferencia normalizada», *Geoinnova*, 22 noviembre. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/ndvi-indice-vegetacion/> (Accedido: 31 de octubre de 2025).
- Flores Márgez, J.P. *et al.* (2013) «Textura del suelo y tipo de agua de riego en la disponibilidad de fósforo de estiércol bovino», *Terra Latinoamericana*, 31(3), pp. 211-220.
- García, J.L. y Giménez-Suárez, M.C. (2025) «(PDF) Determinación del factor topográfico LS en los modelos Rusle y Rusle3d mediante el sig sextante», *ResearchGate* [Preprint]. Disponible en: <https://doi.org/10.35305/curiham.v14i0.77>.
- Gómez-Delgado, M. (2000) *Sistemas de información geográfica y evaluación multicriterio en la ordenación del territorio*. Madrid, España Edición RA-MA.
- González, P. y Olmedo, A.M. (2022) *Cuencas hidrográficas: clave para preservar la vida silvestre en América Latina y el Caribe - Volvamos a la fuente*. Disponible en: <https://blogs.iadb.org/agua/es/cuencas-hidrograficas-vida-silvestre/> (Accedido: 31 de octubre de 2025).
- Guerra Martínez, F., García Romero, A. y Martínez Morales, A.M. (2021) *Evaluación de la resiliencia ecológica de los bosques tropicales secos: una aproximación multiescalar*. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1405-](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1405-)

04712020000300301&lng=es&nrm=iso&tlng=es (Accedido: 31 de octubre de 2025).

- Hidalgo-Campos, C. y Camacho-Umaña, M.E. (2024) *Potencial hídrico y contenido del agua en el suelo: métodos de análisis disponibles y sus implicaciones en el manejo de los recursos suelo y agua*. Disponible en: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0377-94242024000200169](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242024000200169) (Accedido: 25 de noviembre de 2025).
- Ibáñez, J.J. (2007) «Suelos Hídricos o Suelos de los Humedales según la Taxonomía Americana - Un Universo invisible bajo nuestros pies», 9 noviembre. Disponible en: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/11/09/78435> (Accedido: 20 de noviembre de 2025).
- INAMHI (2012) «GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1:25.000». CLIMA E HIDROLOGÍA. Disponible en: [https://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/santa\\_elena/mt\\_santa\\_elena\\_clima\\_e\\_hidrologia.pdf](https://www.geoportaligm.gob.ec/geodescargas/santa_elena/mt_santa_elena_clima_e_hidrologia.pdf).
- INAMHI (2013) *Anuarios Meteorológicos – INAMHI*. Disponible en: <https://servicios.inamhi.gob.ec/anuarios-meteorologicos/> (Accedido: 31 de octubre de 2025).
- Javier L. Q (1999) *Soil Conservation Service (SCS) | PDF | Ciencia y matemáticas, Scribd*. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/62494976/S-C-S> (Accedido: 21 de noviembre de 2025).
- Jeffery, P.J. y Dercksen, P.M. (2015) «INFORME PREPARADO PARA EL GOBIERNO DE COSTA RICA POR FAO ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACION».
- Lobo, D. (2006) *Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de américa latina y el caribe, SciSpace - Paper*. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y El Caribe. Disponible en: <https://scispace.com/papers/guia-metodologica-para-la-elaboracion-del-mapa-de-zonas-1n17bgsb7h> (Accedido: 31 de octubre de 2025).
- Lucio-Villacreses, L. *et al.* (2024) *Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas*. Disponible en: <https://doi.org/10.37117/ES.75>.
- Macedo, P.M.S. *et al.* (2020) «New approach for obtaining the C-factor of RUSLE considering the seasonal effect of rainfall on vegetation cover», *International Soil and Water Conservation Research*, 9(2), pp. 207-216. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.12.001>.
- María, E. (2022) *Métodos Gravimétricos en Química | PDF | Compuestos químicos | Precipitación (Química), Scribd*. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/597897987/CAPITULO-VI-Gravimetria> (Accedido: 25 de noviembre de 2025).
- Márquez, A. (2021) *PARTES del RÍO y sus características - ¡Resumen con esquemas!*, *ecologiaverde.com*. Disponible en: <https://www.ecologiaverde.com/partes-del-rio-y-sus-caracteristicas-3263.html> (Accedido: 10 de noviembre de 2025).

- Matellanes, R. (2019) «Composiciones RGB de imágenes satélite», *GeoInnova*, 19 agosto. Disponible en: <https://geoinnova.org/blog-territorio/composiciones-rgb-de-imagenes-satelite/> (Accedido: 1 de noviembre de 2025).
- Miranda, F. y Hernández-X, E. (1963a) «Los tipos de vegetación de México y su clasificación», *Botanical Sciences*, (28), pp. 29-179. Disponible en: <https://doi.org/10.17129/botsci.1084>.
- Miranda, F. y Hernández-X, E. (1963b) «Los tipos de vegetación de México y su clasificación», *Botanical Sciences*, (28), pp. 29-179. Disponible en: <https://doi.org/10.17129/botsci.1084>.
- Morgan, R.P.C. (2005) *Soil Erosion and Conservation (Z-Library) - 1-200 | PDF | Suelo | Tierra*. Disponible en: <https://it.scribd.com/document/651693057/Soil-Erosion-and-Conservation-R-P-C-Morgan-Z-Library-1-200-1> (Accedido: 31 de octubre de 2025).
- Mosquera, D.C. *et al.* (2021) «Evaluación de modelos para estimar la erosividad de la lluvia en el Valle del Cauca, Colombia», *Acta Agronómica*, 70(2), pp. 198-210. Disponible en: <https://doi.org/10.15446/acag.v70n2.95115>.
- Murphy, P.G. y Lugo, A.E. (2003) (PDF) Ecology of Tropical Dry Forest, *ResearchGate*, pp. 67-88. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.17.110186.000435>.
- Nutshell (2020) *La importancia de las cuencas hidrográficas: Una visión general completa*, Nutshell Summaries. Disponible en: <https://www.nutshellapp.com/publicsummaries/la-importancia-de-las-cuencas-hidrogr%C3%A1ficas%3A-una-visi%C3%B3n-general-completa> (Accedido: 31 de octubre de 2025).
- Oliver J. E (1980) *MONTHLY PRECIPITATION DISTRIBUTION: A COMPARATIVE INDEX: The Professional Geographer: Vol 32, No 3*. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1111/j.0033-0124.1980.00300.x>.
- Pacheco, H.A., Cevallos, R.X. y Vines, C.J. (2019) «Cálculo del factor C de la RUSLE, en la cuenca del río Carache, Trujillo-Venezuela usando imágenes del Satélite Miranda VRSS-1», *Revista ESPACIOS*, 40(03). Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n03/19400306.html> (Accedido: 31 de octubre de 2025).
- Pérez-Cutillas, P., Barberá, G. y García, C. (2019) «EVALUACIÓN DE LA EROSIONABILIDAD (FACTOR K) Y SU VARIABILIDAD ESPACIAL EN RELACIÓN CON LOS USOS DEL SUELO», *GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 23, pp. 71-96. Disponible en: <https://doi.org/10.21138/GF.593>.
- Petro Kogut (2023) *Degradación Del Suelo: Causas, Efectos Y Soluciones*. Disponible en: <https://eos.com/es/blog/degradacion-del-suelo/> (Accedido: 31 de octubre de 2025).
- Piscitelli, M. *et al.* (2010) «(PDF) Valores de erodabilidad (factor K-USLE) para suelos representativos de la cuenca alta del arroyo Azul (partido de Azul- Buenos Aires)», *ResearchGate* [Preprint]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/256411942\\_Valores\\_de\\_erosionabilidad\\_factor\\_K-USLE\\_para\\_suelos\\_representativos\\_de\\_la\\_cuenca\\_alta\\_del\\_arroyo\\_Azul\\_partido\\_de\\_Azul-\\_Buenos\\_Aires](https://www.researchgate.net/publication/256411942_Valores_de_erosionabilidad_factor_K-USLE_para_suelos_representativos_de_la_cuenca_alta_del_arroyo_Azul_partido_de_Azul-_Buenos_Aires) (Accedido: 11 de noviembre de 2025).

- Quintero, A.F.C., Salazar, L.A.L. y Melo, O.R. (2017) «Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del Quindío, Colombia», *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), pp. 17-26. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/21456453.1828>.
- Roberto Pizarro T *et al.* (2003) *Estimación del factor R de la U.S.L.E., en un transecto Oeste-Este de Chile Central*. Disponible en: <https://www.fao.org/4/xii/0473-b2.htm> (Accedido: 3 de noviembre de 2025).
- Rodríguez Ayala, C.M. (1964) «UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA, MINAS, PETRÓLEOS Y AMBIENTAL CARRERA DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA».
- Rodríguez, M.J. (2016) «LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA: UNA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS EN LOS ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)».
- RUVIVAL (2019) «Calculadora de Erosión del Suelo - Caja de Herramientas RUVIVAL», *RUVIVAL*, 31 octubre. Disponible en: <https://www.ruvival.de/es/calculadora-erosion-del-suelo/> (Accedido: 13 de noviembre de 2025).
- Saavedra, C.P. y Mannaerts, C. (2003) «Evaluación y monitoreo de modelos de erosión y sedimentación a escala regional usando sensores remotos y SIG. Caso de estudio en la región Andina, Cochabamba, Bolivia.»
- Sanchez-Azofeita, G.A. *et al.* (2005) «(PDF) Research Priorities for Neotropical Dry Forests1», *ResearchGate*, pp. 477-485.
- Saxton, K.E. y Rawls, W.J. (2006) «Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions», *Soil Science Society of America Journal*, 70. Disponible en: <https://doi.org/10.2136/sssaj2005.0117>.
- Sergieieva, K. (2021) *La Erosión Hídrica Y Sus Consecuencias En La Agricultura*. Disponible en: <https://eos.com/es/blog/erosion-hidrica/> (Accedido: 31 de octubre de 2025).
- Suarez, J.C. (2021) «METODOLOGÍA Y CÁLCULO DE LA PERDIDA DE SUELO POR MEDIO DE LA ECUACION UNIVERSAL USLE EN LA CUENCA RÍO SOACHA».
- Sylvia, Z., Ana *et al.* (2014) *PREVENTIVE ACTION PLAN FOR THE RIO VERDE BASIN- Web of Science Core Collection*. Disponible en: <https://0410u2qya-y-https-www-webofscience-com.dossierp.museknowledge.com/wos/woscc/full-record/WOS:000346779200026> (Accedido: 23 de octubre de 2025).
- Tarakanov, V. (2024) *¿Qué es la erosión del suelo? ¿Cómo se puede estudiar y mitigar con técnicas nucleares?* IAEA. Disponible en: <http://www.iaea.org/es/newscenter/news/que-es-la-erosion-del-suelo> (Accedido: 31 de octubre de 2025).
- Tian, P. *et al.* (2021) «Soil erosion assessment by RUSLE with improved P factor and its validation: Case study on mountainous and hilly areas of Hubei Province, China», *International Soil and Water Conservation Research*, 9(3), pp. 433-444. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.04.007>.
- Tosi, J.A. (1966) *Archivo: Holdridge 1966 life zone ecology.pdf - Neotrópicos*. Disponible en:

[https://wiki.neotropicos.org/index.php?title=Archivo:LR\\_Holdridge\\_1966\\_life\\_zone\\_ecology.pdf](https://wiki.neotropicos.org/index.php?title=Archivo:LR_Holdridge_1966_life_zone_ecology.pdf) (Accedido: 20 de noviembre de 2025).

Trujillo-Vera, C., Frisancho-de-Martínez, R.A.M. y Flores-Mayor, J.N. (2025) «Análisis geográfico de las transformaciones del uso del suelo por expansión urbana no planificada», *Revista Minerva*, 6(ESP), pp. 12-16. Disponible en: <https://doi.org/10.47460/minerva.v6isp.201>.

Ulloa, M.C. (2022) «La Fertilidad de los Suelos del Ecuador».

USDA (2016) *Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) - Welcome to RUSLE 1 and RUSLE 2: USDA ARS*. Disponible en: <https://www.ars.usda.gov/southeast-area/oxford-ms/national-sedimentation-laboratory/watershed-physical-processes-research/docs/revised-universal-soil-loss-equation-rusle-welcome-to-rusle-1-and-rusle-2/> (Accedido: 4 de noviembre de 2025).

USDA (2022a) *Rusle*. Disponible en: [https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/public/WA/Revised\\_Universal\\_Soil\\_Loss\\_Equation\\_\(RUSLE\).htm](https://efotg.sc.egov.usda.gov/references/public/WA/Revised_Universal_Soil_Loss_Equation_(RUSLE).htm) (Accedido: 21 de abril de 2025).

USDA (2022b) *Textura Y Estructura Del Suelo Docx*, *calameo.com*. Disponible en: <https://www.calameo.com/read/008037891ffb0b291fd15>.

Valdivia Martínez, O. *et al.* (2022) «Ajuste de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo en parcelas de escurrimiento ubicadas en una región del centro de México», *Terra Latinoamericana*, 40. Disponible en: <https://doi.org/10.28940/terra.v40i0.990>.

Vázquez, F. (2015) *Cuenca de Zapotal | PDF | Clima | Precipitación*, *Scribd*. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/374922047/Cuenca-de-Zapotal> (Accedido: 23 de mayo de 2025).

Veliz, J.J.J. (2015) «ESTUDIO DEL RIESGO POR EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO UTILIZANDO EL MODELO U.S.L.E, MEDIANTE HERRAMIENTAS S.I.G, APLICADO EN LA SUBCUENCA RÍO PORTOVIEJO, PROVINCIA DE MANABÍ.»

Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978a) *Predicción de pérdidas por erosión pluvial ESP | PDF | Suelo | Agricultura*. Disponible en: <https://it.scribd.com/document/654289416/Wischmeier-W-H-And-Smith-D-D-1978-ESP> (Accedido: 31 de octubre de 2025).

Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978b) *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. Department of Agriculture, Science and Education Administration.

## ANEXOS

En el siguiente **Anexo 1** las precipitaciones medias mensuales constituyen un parámetro fundamental para la caracterización climática y la evaluación de procesos erosivos en cuencas hidrográficas expresadas en milímetros permitiendo determinar la distribución temporal de la lluvia.

### *Anexo 1. Precipitaciones medias mensuales (mm) de las estaciones pluviométricas*

COD	Nombre	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOT
<b>M778</b>	Carrizal	35.56	157.84	327.36	182.54	36.94	2.65	3.69	3.35	0.61	5.58	0.98	7.65	<b>764.74</b>
	Julio													
<b>M472</b>	Moreno	89.24	156.59	218.13	81.57	28.85	10.88	0.68	0.52	1.94	4.48	0.78	14.06	<b>607.7</b>
	El													
<b>M223</b>	Azúcar	61.99	97.21	50.17	20.12	2.55	0.94	0	0.23	0	1.02	0.03	1.68	<b>235.93</b>
	Zapotal													
<b>M473</b>	- Santa Elena	94.97	120.35	207.31	199.4	9.84	15.77	5.42	2.98	6.29	8.76	2.6	10.96	<b>684.68</b>

(INAMHI, 2012)

El **Anexo 2** indica la tasa de erosión actual del suelo se define como la pérdida estimada de suelo bajo condiciones reales, considerando tanto los factores naturales como las prácticas de conservación implementadas

### *Anexo 2. Tasa de erosión actual del suelo*

Tipo de erosiones del suelo	Pérdida potencial del suelo (Mg/ha/año)
<b>Muy baja</b>	< 6.7
<b>Baja</b>	6.7- 11.2
<b>Moderado</b>	11.2- 22.4
<b>Alto</b>	22.4- 33.6
<b>Muy alto</b>	> 33.6

(RUVIVAL, 2019)

El **Anexo 3** es la tasa de erosión potencial del suelo se define como la estimación teórica de la pérdida de suelo bajo condiciones naturales, sin considerar prácticas de conservación ni cobertura vegetal.

*Anexo 3. Tasa de la erosión potencial del suelo*

<b>Área (%)</b>	<b>Pérdida del suelo (Mg/ha/año)</b>	<b>Calificación de pérdida</b>
<b>43</b>	< 10	Muy baja
<b>30</b>	10 – 25	Baja
<b>21</b>	26 – 51	Moderado
<b>4</b>	51 – 100	Alto
<b>2</b>	>100	Muy alto

(Quintero, Salazar y Melo, 2017)