



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
“DR JACOBO BUCARAM ORTIZ”
CARRERA AGRONOMÍA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO
PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

**ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA APLICANDO LA
ECUACIÓN DE RUSLE EN EL PARQUE NACIONAL EL CAJAS**

AUTOR

GALLARDO CEDILLO GABRIEL EDUARDO

TUTORA

ING. RODRÍGUEZ JARAMA FANNY DEL ROCÍO

**GUAYAQUIL, ECUADOR
2025**



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ
CARRERA AGRONOMÍA**

APROBACIÓN DEL TUTOR

El suscrito, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA APLICANDO LA ECUACIÓN DE RUSLE EN EL PARQUE NACIONAL EL CAJAS**, realizado por el estudiante **GALLARDO CEDILLO GABRIEL EDUARDO**; con cédula de identidad N°**0941359150** de la carrera AGRONOMÍA, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto, se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

Ing. Fanny Rodríguez Jarama

Guayaquil, 25 de febrero del 2025



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
DR. JACOBO BUCARAM ORTIZ
CARRERA AGRONOMÍA

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA APLICANDO LA ECUACIÓN DE RUSLE EN EL PARQUE NACIONAL EL CAJAS”**, realizado por el **estudiante GALLARDO CEDILLO GABRIEL EDUARDO**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

Ing. Veliz Piguave Freddy, M.Sc.
PRESIDENTE

Ing. Calle Romero Kleber, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Ing. Amaya Márquez Darlyn, M.SC.
EXAMINADOR PRINCIPAL

Rodríguez Jarama Fanny, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 20 de febrero del 2025

DEDICATORIA

A Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. Por su infinita sabiduría, amor y bondad, que me han sostenido en los momentos de incertidumbre y me ha dado fuerza para alcanzar este objetivo. A mi madre, Digna Cedillo, por su amor incondicional, sacrificio y perseverancia. Gracias por tus palabras de aliento, por tus oraciones silenciosas y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Tu dedicación y apoyo inquebrantable ha sido mi mayor inspiración para cumplir esta meta. Este trabajo de investigación es reflejo del amor y la fe que ambos han depositado en mí.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios, por siempre guiar mi camino, a mi mamá Digna Cedillo y a mi papá Robin Gallardo porque sin su ayuda y apoyo no hubiera culminado mi proyecto de investigación, a su vez, a mis hermanos Gilda y Jordan por siempre aconsejarme con sabiduría en el proceso de mi carrera.

Agradezco a los docentes de la Universidad Agraria, en especial a mí estimada Directora de tesis Ing. Fanny Rodríguez, quien guío y dirigió mi investigación con su vasto conocimiento, y al Ing. Diego Portalanza por su enseñanza y cooperación en el manejo de los (SIG), gracias por sus ilustres aportes me permitieron alcanzar mi meta.

Por último, agradezco a mis amigos y compañeros, quienes compartieron conmigo esta etapa y proceso de formación profesional.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **Gallardo Cedillo Gabriel Eduardo**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre “**Estimación de la erosión hídrica en el Parque Nacional El Cajas**” para optar el título de Ingeniero agrónomo, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor(a) me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, febrero 25 del 2025

GALLARDO CEDILLO GABRIEL EDUARDO

C.I. 0941359150

RESUMEN

La investigación estimó la erosión hídrica en el Parque Nacional Cajas, debido a que es un área de importancia para el cantón Cuenca por sus numerosos cuerpos de agua, sin embargo, es un sector susceptible al fenómeno de erosión hídrica por sus condiciones climáticas, edáficas y topográficas, por ello, se aplicó la Ecuación de RUSLE. Se recopilaron datos de factores como precipitación, clase textural de suelo, cobertura vegetal, topografía y prácticas de conservación. Estos fueron procesados mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) para modelar las tasas de erosión hídrica, tanto potencial como actual. Los resultados revelan que existe una pérdida promedio anual de suelo de 1.07 Tn/ha/año en el 86.59% del territorio que es una superficie de 24715.21 has. Los pastizales y matorrales, que ocupan más del 90% del área, demostró ser clave en la mitigación de la erosión, mientras que las zonas de uso antrópico y suelos desnudos enfrentan tasas críticas. El análisis permitió identificar que la erosividad de la lluvia (R) y el factor topográfico (LS) son los principales factores que agravan la pérdida de suelo en esta región montañosa. Se propuso medidas de manejo sostenible, incluyendo la reforestación estratégica y la implementación de prácticas conservacionistas en áreas vulnerables.

Palabras clave: *Cobertura vegetal, erosión hídrica, Parque Nacional Cajas, RUSLE, Sistema de información geográfica.*

ABSTRACT

The research estimated water erosion in Cajas National Park, as it is an important area for the Cuenca canton due to its numerous water bodies. However, it is also a region susceptible to water erosion due to its climatic, soil, and topographic conditions. Therefore, the RUSLE equation was applied. Data on factors such as precipitation, soil texture class, vegetation cover, topography, and conservation practices were collected. These were processed using Geographic Information Systems (GIS) to model both potential and actual water erosion rates. The results revealed an average annual soil loss of 1.07 tn/ha/year in 86.59% of the territory, covering an area of 24715.21 hectares. Grasslands and shrubs, which occupy more than 90% of the area, proved to be key in mitigating erosion, while areas with anthropogenic use and bare soils face critical erosion rates. The analysis identified that rainfall erosivity (R) and the topographic factor (LS) are the main contributors to soil loss in this mountainous region. Sustainable management measures were proposed, including strategic reforestation and the implementation of conservation practices in vulnerable areas.

Keywords: *Cajas National Park, Geographic Information System, RUSLE, vegetation cover, water erosion.*

ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR	ii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
Autorización de Autoría Intelectual	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes del problema.....	1
1.2 Planteamiento y formulación del problema	2
1.2.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2.2 Formulación del problema.....	2
1.3 Justificación de la investigación	3
1.4 Delimitación de la investigación	3
1.5 Objetivo general	3
1.6 Objetivos específicos.....	3
1.7 Hipótesis o idea a defender.....	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1 Estado del arte.....	5
2.2 Bases teóricas	7
2.2.1 Parque Nacional El Cajas	7
2.2.1.1. Piscicultura	7
2.2.1.2. Área protegida	7
2.2.2 Efecto de la erosión hídrica.....	7
2.2.3 Factores que inciden en la erosión hídrica.....	8
2.2.4 Precipitación.....	8
2.2.5 Suelo.....	9
2.2.6 Cobertura vegetal.....	9
2.2.7 Topografía.....	9

2.2.8 Prácticas de conservación	10
2.2.9 Ecuación universal de pérdida de suelos revisada.....	10
2.2.10 Sistema de información geográfica (SIG)	11
2.2.5.2. Modelo ráster	12
2.2.11 Aplicaciones el SIG	12
2.3 Marco legal.....	13
2.3.1 Código Orgánico del Ambiente	13
2.3.2 Reglamento al Código Orgánico del Ambiente	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
3.1 Enfoque de la investigación	15
3.1.1 Tipo y alcance de la investigación.....	15
3.1.1.1. Investigación documental.....	15
3.1.1.2. Investigación descriptiva	15
3.1.2 Diseño de la investigación	15
3.2 Metodología	15
3.2.1 Variables	15
3.2.1.1. Variables independientes	15
3.2.1.2. Variable dependiente.....	16
3.2.1.3. Matriz de operacionalización de variables	16
3.2.2 Recolección de datos.....	17
3.2.2.1. Recursos	17
3.2.2.2. Recursos económicos	17
3.2.2.2. Métodos y técnicas.....	17
3.2.3 Análisis estadístico	26
4. RESULTADOS.....	27
4.1 Procesamiento de la información para la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo en el Parque Nacional El Cajas mediante datos de fuentes libres.....	27
4.1.1 Datos meteorológicos de precipitaciones para estimar la erosividad por lluvia.....	27
4.1.2 Datos de suelo para estimar la erodabilidad del suelo	28
4.1.2.1 Materia orgánica en suelos.....	28
4.1.3 Modelo digital de elevación (DEM) en metros	29
4.1.4 Obtención de datos de cobertura y uso de suelo (LULC).....	31

4.1.5 Prácticas de conservación en el Parque Nacional El Cajas.....	33
4.2 Aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo RUSLE para la determinación del nivel de erosión hídrica.....	33
4.2.1 Determinación del factor de erosividad por lluvias.....	33
4.2.2 Determinación del factor de erodabilidad del suelo.....	35
4.2.3 Determinación del factor topográfico.....	36
4.2.4 Determinación del factor de cobertura (C) y prácticas de conservación (P).....	38
4.2.5 Determinación de la erosión hídrica potencial del Parque Nacional El Cajas.....	40
4.2.6 Determinación de la pérdida anual de suelo por erosión hídrica en el Parque Nacional El Cajas	42
4.3 Plan de manejo del suelo para la reducción del impacto de la erosión hídrica.....	44
4.3.1 Diagnóstico.....	44
4.3.2 Análisis de la situación del área.....	46
4.3.3 Problemas del área de estudio.....	46
4.3.4 Planificación	47
5. DISCUSIÓN	49
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
6.1 Conclusiones.....	51
6.2 Recomendaciones.....	53
BIBLIOGRAFÍA	54
ANEXOS	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de operacionalización de las variables independientes	16
Tabla 2. Matriz de operacionalización de la variable dependiente	16
Tabla 3. Rango del cálculo IMF.....	19
Tabla 4. Clase de permeabilidad según la textura del suelo.....	20
Tabla 5. Valores de Factor de erodabilidad del suelo (K).....	21
Tabla 6. Clasificación de los grados de erodabilidad.	22
Tabla 7. Clases, Rangos y descripción de pendientes.....	23
Tabla 8. Valores de uso y cobertura vegetal.....	23
Tabla 9. Otros valores de uso y cobertura vegetal.....	24
Tabla 10. Rango de erosión potencial del suelo.....	25
Tabla 11. Rango de erosión Anual del suelo.....	25
Tabla 12. Promedios mensuales de precipitaciones en mm de estaciones meteorológicas.....	27
Tabla 13. Clasificación y distribución del suelo.....	28
Tabla 14. Rango en metros del modelo digital de elevación (DEM).....	30
Tabla 15. Tipos de coberturas en el Parque Nacional El Cajas.....	32
Tabla 16. Rango de erosividad por lluvias o Factor (R).	34
Tabla 17. Clasificación y distribución del mapa de erodabilidad del suelo.....	35
Tabla 18. Clasificación y distribución del mapa de Longitud y Pendiente.....	37
Tabla 19. Factor de coberturas y uso del suelo (C).....	39
Tabla 20. Clasificación y distribución del mapa de erosión hídrica potencial.	41
Tabla 21. Clasificación y distribución del mapa de erosión hídrica actual.....	43
Tabla 22. Aspectos biofísicos del Parque Nacional El Cajas.....	45
Tabla 23. Aspectos socioeconómicos del Parque Nacional El Cajas.....	45
Tabla 24. Programa de manejo de coberturas de suelo.....	47
Tabla 25. Valores de factor de erosionabilidad del suelo (K).	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Órdenes de suelos en el Parque Nacional El Cajas.....	29
Figura 2. Modelo digital de elevación (DEM) m.s.n.m.	31
Figura 3. Cobertura y uso del suelo del Parque Nacional El Cajas.....	33
Figura 4. Mapa de erosividad por precipitaciones.....	34
Figura 5. Mapa de erodabilidad del suelo.	36
Figura 6. Mapa del factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS).	38
Figura 7. Mapa del factor de cobertura y uso del suelo (C).....	40
Figura 8. Mapa de erosión hídrica potencial.....	42
Figura 9. Mapa de erosión hídrica actual	44
Figura 10. Análisis de problemática en el Parque Nacional el Cajas.	46
Figura 11. Registro de precipitaciones de la estación meteorológica M0417 – Piscícola Chirimichay (1996 - 2015).....	59
Figura 12. Registro de precipitaciones de la estación meteorológica M0426 - Ricaurte (1999 - 2018).	59
Figura 13. Registro de precipitaciones de la estación meteorológica M0427 - Sayausi (1999 - 2018).....	60
Figura 14. Registro de precipitaciones de la estación meteorológica M0429 - Surucucho (1999 - 2018).....	60
Figura 15. Registro de precipitaciones de la estación meteorológica M0430 - Quinoas (1975 - 1987).	61
Figura 16. Registro de precipitaciones de la estación meteorológica M0539 – Buenos aires (1975 - 1992).....	61
Figura 17. Registro de precipitaciones de la estación meteorológica M0665 – Chaucha (1978 - 1992).	62
Figura 18 Índice Modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Piscícola Chirimichay (1996 - 2015).	62
Figura 19 Índice Modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Ricaurte (1999 – 2018)..	63
Figura 20. Índice Modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Sayausi (1999 – 2018).....	63
Figura 21. Índice Modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Surucucho (1999 – 2018)	64

Figura 22. Índice Modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Quinoas (1975 - 1987).....	64
Figura 23. Índice Modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Buenos aires (1975 – 1992).....	65
Figura 24. Índice Modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Chaucha (1975 – 1992)	65
Figura 25 . Delimitación del parque Nacional El cajas.	67
Figura 26. Órdenes de suelos en el Parque Nacional El Cajas.....	68
Figura 27. Modelo digital de elevación (DEM) m.s.n.m.	69
Figura 28. Cobertura y uso del suelo del Parque Nacional El Cajas.....	70
Figura 29. Mapa de erosividad por precipitaciones	71
Figura 30. Mapa de erodabilidad del suelo.	72
Figura 31. Mapa del factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS).	73
Figura 32. Mapa de erosión hídrica potencial.....	74
Figura 33. Mapa de erosión hídrica actual	75
Figura 34. Visita al Parque Nacional El Cajas	76
Figura 35. Pastizales del Parque Nacional El Cajas.....	76
Figura 36. Visita a microcuenca – Laguna La Toreadora.....	77
Figura 37. Humedal herbáceo	77
Figura 38. Cuerpo de agua del Parque Nacional El Cajas	78
Figura 39. Visualización de pendientes muy inclinadas	78
Figura 40. Afloramiento rocoso	79
Figura 41. Presencia de gran cantidad de nubes	79
Figura 42. Efecto de la erosión hídrica.....	80
Figura 43. Maquinaria utilizada para retirar deslizamientos de tierra	80
Figura 44. Actividades permitidas y prohibidas	81
Figura 45. Senderos del Parque Nacional El Cajas	81
Figura 46. Área de recuperación de cobertura vegetal	82
Figura 47. Letrero para conciencia ambiental	82
Figura 48. Estanque de truchas para pesca deportiva	83
Figura 49. Visita con la tutora de tesis al Parque Nacional El Cajas	83

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del problema

El parque Nacional El Cajas, se localiza en los sectores de Chaucha, Sayausí, San Joaquín y Molleturo, del cantón Cuenca de la provincia del Azuay, posee una aproximación de 28500 hectáreas en su mayor parte altiplanicies, se encuentran a desde los 3152 msnm hasta los 4445 msnm provoca que su clima sea templado, dado a sus numerosos cuerpos de agua se convierte en un humedal de importancia para el país (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Cuenca, 2022). Debido a que son utilizadas para el consumo humano y el sector agrícola de la Ciudad de Cuenca, alimentan los ríos Tomebamba, Mazán y el Yanuncay, por ende es vital la conservación del recursos hídrico para establecer estrategias para su uso adecuado (Navarrete et al., 2022).

La erosión hídrica es un proceso que se da de forma natural intervienen factores como las precipitaciones, la cobertura vegetal, topografía del terreno, entre otros, y conforme a las actividades ejercidas en un sector puede aumentar de forma gradual, lo que ocasiona la pérdida de suelos, que afecta a ecosistemas, y genera desequilibrio en los recursos naturales disponibles (Alvarado, 2021). Para la estimación de la erosión existen tres tipos principales de modelos, los cuales son: conceptuales, físicos y empíricos. Los modelos empíricos tienen la particularidad de no solicitar tantos requisitos computacionales, El modelo empírico más utilizado en el mundo es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo cuyo nombre es Modelo USLE por sus siglas en inglés, y a su vez su versión Revisada que recibe el nombre de Modelo RUSLE propuesto por (Renard et al., 1997), que es utilizada para estimación de la erosión hídrica en el parque Nacional El cajas (Arias et al., 2023).

Los sistemas de información geográfica promueven el fácil uso de metodologías de carácter satelital, como es el caso de la ecuación de pérdida de suelo USLE/RUSLE, permite la modelación de la erosión hídrica de diferentes sectores sin necesidad de viajar de forma constante al sitio, lo que produce un avance en la tecnología de digitalización de problemas ambientales, permite la detección de áreas con mayor sensibilidad a fenómenos que se dan de forma natural (Muñoz et al., 2022).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

A nivel mundial, la erosión hídrica se considera un fenómeno natural relacionado a los factores geológicos de un sector, se observa que en base a las condiciones se puede diferenciar en erosión natural, ligado a los factores naturales y erosión antrópica, que se da por el uso intensivo del suelo y manejos inadecuados, produce que se acelere e intensifique la degradación del suelo, teniendo un grave impacto ecológico y socioeconómico (Sequeira y Vazquez, 2021).

Se considera que los efectos de la erosión hídrica comprenden la limitación de áreas de producción agrícola dado a que se altera la productividad del suelo e infraestructuras, modificación de aspectos geográficos, contaminación de la calidad del agua, entre otros. Siendo perjudicial para la calidad de vida de la población, amenaza la seguridad alimentaria, actúa como un factor negativo para el desarrollo sustentable (Sequeira y Vazquez, 2021).

Debido que el Parque Nacional El Cajas posee una formación geomorfológica en forma de Cajas gracias a esto recibe su característico nombre, esto le permite captar agua y acumularla, por ende la erosión hídrica es un detonante para la alteración de este ecosistema andino. La existencia de este fenómeno natural puede ocasionar la deformación de elevaciones y pendientes, sumado a la contaminación de las fuentes de agua que alimentan los ríos de este sector.

Por ello, no se cuenta con una evaluación detallada y precisa del nivel de erosión hídrica en el Parque Nacional El Cajas. La aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) ofrece una metodología científica para estimar la erosión del suelo, pero requiere un levantamiento de datos confiables y su procesamiento mediante herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

1.2.2 Formulación del problema

¿Cuál es el nivel de erosión hídrica actual en el Parque Nacional El Cajas y cómo reducir su impacto?

1.3 Justificación de la investigación

Por medio de la presente investigación se estima la erosión hídrica en el parque Nacional El Cajas, mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG), se modeló los distintos factores propuestos en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), de esta forma se obtuvo un análisis integral de los datos y permitió visualizar geográficamente el nivel de erosión hídrica existente.

En la investigación se contribuyó con información para que se tomen medidas de conservación del suelo como buenas prácticas, y conciencia ambiental, para que esta reserva conserve sano sus suelos, de esta forma se evita el problema de la erosión hídrica, y se preserva el ecosistema andino que provee de recurso hídrico a los ríos de Tomebamba, Mazán y el Yanuncay.

Por lo tanto, El proyecto estuvo orientado en la utilización de tecnologías de información geográficas para la estimación de erosión hídrica mediante la Ecuación (RUSLE) cumpliendo con los parámetros requeridos, con lo cual se obtuvieron datos que determinaron las áreas más afectadas y se puedan tomar acciones de conservación para el parque Nacional El Cajas.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** La investigación se realizó en el cantón de Cuenca provincia del Azuay, en el Parque Nacional El Cajas con una superficie de 28544 hectáreas.
- **Tiempo:** El trabajo investigativo tuvo una duración de seis meses.
- **Población:** La investigación estuvo dirigida a la población del cantón Cuenca y especialista en la conservación del suelo y agua.

1.5 Objetivo general

Estimar la erosión hídrica en el Parque Nacional El Cajas aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) para la determinación del nivel de erosividad del área de estudio.

1.6 Objetivos específicos

- Realizar el levantamiento de información requerida aplicando la ecuación universal de pérdida de suelo en el parque nacional El Cajas.
- Procesar la información obtenida mediante un (SIG) para determinar el nivel de erosión hídrica en el parque Nacional El Cajas.

- Recomendar un plan de manejo del suelo para la reducción del impacto de la erosión hídrica.

1.7 Hipótesis o idea a defender

En el parque nacional El Cajas existe una pérdida de suelo moderada por erosión hídrica con un promedio 50 t/ha/año según la escala propuesta por RUSLE, en relación a que es una reserva natural y no se efectúan trabajos con maquinaria agrícola que intensifiquen el proceso de erosión.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

El modelo RUSLE se enfoca en la determinación de pérdida anual del suelo por flujos hídricos, sin embargo, no estima la deposición de sedimentos. La utilización del modelo RUSLE ha ido en aumento por la combinación de aplicabilidad y precisión en su estimación, además, de que su fácil combinación con sistemas de información geográfica (SIG) contribuye a la planificación de la conservación del suelo a diversas partes del mundo como Brasil, Sudamérica, India, Jordania, Etiopía, Italia, entre otros. Esta metodología considera parámetros como precipitación, tipo de suelo, cobertura vegetal, topografía y prácticas de conservación, para el modelado de la erosión hídrica a través de tecnologías geoespaciales con la finalidad de estimar la erosión hídrica (Phinzi y Ngetar, 2019).

Echavarría et al. (2020) indican que el impacto de la erosión hídrica es mayor en suelos con capa superficial de poca profundidad como es el caso de los pastizales, el estudio realizado en Zacatecas - México, demuestra que en pastizales existe una pérdida de suelo de 16.3 t/ha, sin embargo, en otros tipos de vegetación y usos de suelo estos valores incrementan como es el caso de los matorrales en 50.74 t/ha/año, bosque con 65.99 t/ha/año y el sector agrícola de 161.39 t/ha/año, destacó que la erosión hídrica está relacionada a las precipitaciones, se pronostica mediante el modelo ensamble en las RCP 4.5 y RCP 8.5, en el futuro la temperatura se elevará y una evidente reducción de la lluvia, produce una disminución del 2.3% de la erosión hídrica en pastizales para el 2030 y un 5.88% en el 2070.

El análisis efectuado en la cuenca del Cañón Sumidero en Chiapas, indica que la deforestación y eliminación de la cobertura vegetal existente juega un papel clave en el proceso de degradación de suelo, dado a la agresividad del impacto de las precipitaciones con el suelo desprende partículas, y considera que la cobertura vegetal como un amortiguador del impacto, implica que la reducción de la masa vegetal acelera la erosión hídrica (Torres et al., 2020).

Se destaca que en las zonas con mayor elevación como es la Región Sierra, al poseer en mayoría montañas, los eventos climáticos como lluvias intensas o terrenos escarpados son motivos del deslizamiento del suelo, son considerados como procesos importantes en la erosión de zonas montañosas y principal causa de sedimentación de sistemas fluviales (Vanacker et al., 2020).

La investigación en la cuenca del río Tumbes, que abarca 1663.28 km² con altitudes entre 0 y 1589 m.s.n.m., estimó la tasa de erosión hídrica utilizó la metodología RUSLE combinada con técnicas de teledetección y SIG. Se analizó cinco factores: erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), pendiente y longitud del terreno (LS), cobertura vegetal (C) y manejo del suelo, integrando datos climáticos, texturales, topográficos y satelitales. Los resultados mostraron que, en condiciones potenciales (sin vegetación ni prácticas de conservación), el 31.92% de la cuenca sufre pérdidas críticas de suelo (>200 Tn/ha/año), mientras que el 8.11% presenta pérdidas bajas (<5 Tn/ha/año). En comparación, bajo condiciones actuales, el 58.16% tiene pérdidas menores a 5 Tn/ha/año, y solo el 0.25% enfrenta tasas críticas, lo que refleja el impacto positivo de la cobertura vegetal y medidas de conservación. La tasa de erosión potencial promedio fue de 167.18 Tn/ha/año, redujo de forma significativa a 5.06 Tn/ha/año en condiciones actuales (Gamboa, 2023).

Somoza y Vazquez (2023) concluyen que la acción de cuantificar y zonificar la pérdida de suelo por erosión hídrica, permite la implementación de estrategias de conservación del suelo, además, enfocar el conocimiento permite examinar adecuado los procesos del suelo y lo vital que es para la sociedad, con el análisis de un sistema de información (SIG) se logra zonificar las áreas con más afectación y metodologías como USLE/RUSLE permite obtener la tasa de erosión actual (A).

El estudio realizado en seis cuencas hidrográficas de la provincia de Manabí en Ecuador, se diferencia que en la región costa predominan elevaciones de 20 m, en contraste a la región Sierra que el promedio es 2000 m, se reveló que los valores de pérdida de suelo anual oscilaban entre 0.10 ton/ha/año y 3252.22 ton/ha/año, se indicó que el principal factor que repercutió en el análisis fue longitud y pendiente (LS). En la cuenca de Coaque se obtuvo los mayores valores de erosión con un valor promedio de 170.55 ton/ha/año, mientras que en la cuenca de Caña los valores registrados fueron los bajos en el territorio de Manabí con 27.19 ton/ha/año, este análisis se rigió a la metodología de RUSLE y a la integración del mismo a un software GIS (Casanova et al., 2024).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Parque Nacional el Cajas

El Parque Nacional Cajas (PNC) es una zona protegida que resguarda valiosos recursos tanto naturales como culturales. Se distingue por sus múltiples atributos, entre ellos la protección del entorno, el valor científico, su belleza escénica, el potencial educativo, la importancia paisajística y su función recreativa. Sus ecosistemas de montaña andina permiten la conservación del equilibrio ambiental del páramo andino (Ministerio del Ambiente, 2018).

2.2.1.1. Piscicultura.

Indica Arízaga (2018) que en el Parque Nacional El Cajas, una de las actividades primordiales que ostentan la actividad socio – económica es la piscicultura la cual se enfoca en el criadero de truchas, que contribuye en las actividades recreativas como la pesca deportiva, sin embargo, es causante de degradación ambiental en el área, dado a los contaminantes por la gran cantidad de desechos que se producen y a su vez afecta la calidad del agua en sectores montañosos.

2.2.1.2. Área protegida.

Las áreas o espacios naturales protegidos se refieren a territorios que han sido seleccionados de forma cuidadosa debido a sus características especiales, ya sean ecológicas o paisajísticas. En estos sitios, se implementan estrategias de gestión y conservación con el objetivo de proteger tanto los ecosistemas como las especies que los habitan. Además, estas zonas buscan preservar el equilibrio ambiental, garantizar la biodiversidad y ofrecer un refugio para especies en peligro. A menudo, estas áreas también cumplen una función educativa y recreativa, fomenta la sensibilización ambiental y la investigación científica (Vallejo y Rodríguez, 2022).

2.2.2 Efecto de la erosión hídrica

Se define que la erosión es uno de los problemas ambientales más relevantes, debido a que es la pérdida, disolución y remoción del material de la superficie del suelo ocasionada por diversas interacciones de factores naturales como el clima, vegetación, topografía y suelo, y antropogénicos como sobrepastoreo, sistemas de labranza, medidas de conservación de suelos, y deforestación. Como consecuencia se originan problemas como azolvamiento de

los cuerpos de agua, reducción de la recarga de acuíferos, aumento de la escorrentía superficial, pérdida de fertilidad de los suelos, contribuye a la desertificación y la degradación de los suelos (Blanco, 2019).

La erosión originada por escurrimiento hídrico se basa en el efecto del agua sobre la superficie del suelo sin vegetación, es el proceso degradativo del suelo más importante, dado que es irreversible y de gran magnitud. Los factores que influyen e incrementan son: las precipitaciones, el tipo de suelo, la pendiente, la vegetación presente, y las medidas de conservación aplicadas, además las acciones del hombre que influyen de forma negativa son la alteración de condiciones ecológicas dadas por necesidad, o aplicación indebida de técnicas para el uso de recursos renovables (Alvarez, 2020).

Los principales efectos negativos de la erosión hídrica son: la afectación de la calidad del agua superficial causa turbidez, y a su vez afecta al suelo debido a que arrastra grandes cantidades de nutrientes. En regiones montañosas como los Andes, América Central y el Caribe, el efecto se intensifica por el deslizamiento de suelo en laderas deforestadas, o montañas donde se realiza pastoreo, lo que produce la eliminación de suelo fértil y producción de sedimentos que alteran la infraestructura de cuerpos de agua, que da paso a inundaciones en zonas planas (Mantilla y Alva, 2021).

Realizar estimaciones de erosión hídrica en áreas locales es importante porque de esta manera se generan estrategias de conservación de suelos óptimas, esto es abordado en diversos países, lo cual demuestra la severidad de este problema y su amplia distribución en un sinnúmero de ambientes. Lo susceptible que es el suelo a erosión puede estimarse mediante modelos que calculan la pérdida de suelos (Aramayo et al., 2024).

2.2.3 Factores que inciden en la erosión hídrica

En el proceso de erosión hídrica se encuentran diversos factores que determinan y causan varianza en la estimación del nivel de afectación, los cuales son:

2.2.4 Precipitación

Las precipitaciones se definen como cualquier agua de procedencia meteorológica, se conoce como lluvia, sin embargo, también se presenta como nieve, granizo e incluso como rocío o escarcha, y se almacenan en la superficie

terrestre, lo cual genera un impacto y desgaste sobre la capa edáfica (Sánchez, 2022).

2.2.5 Suelo

El suelo es el resultado de la descomposición y desintegración de diversos elementos minerales yacientes en rocas, restos vegetales y restos animales. El suelo es una capa delgada que se extiende por casi toda la corteza terrestre, sirve para que se desarrolle la fauna y flora de todos los ecosistemas, tiene interacción con procesos naturales relacionados con el agua, nutrientes y microorganismos (Bendaña, 2022).

Las características de las estructuras de los suelos se definen por las clases texturales, y se relaciona a la cantidad de partículas de arena, limo y arcilla, que se distribuyen en la capa edáfica (Universidad Internacional de Riego, 2019).

Estas partículas se clasifican según su tamaño:

- **Partículas de arena:** Su diámetro varía entre 0.05 y 2.0 mm siendo las partículas más grandes.
- **Partículas de limo:** Su tamaño va desde los 0.002 hasta 0.05 mm.
- **Partículas de arcilla:** Son las partículas más pequeñas con un diámetro de 0.002 mm o menores a este valor.

2.2.6 Cobertura vegetal

La cobertura vegetal es la vegetación existente en un área, su importancia radica en que su presencia causa la disminución del impacto de las gotas de lluvia, además, reduce la temperatura del suelo ya que brinda sombra, y mantiene la humedad del suelo, además, según el uso de suelo de un sector se genera una varianza en el efecto que tiene en la preservación del suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2024).

2.2.7 Topografía

La vulnerabilidad de los suelos a la erosión está vinculada con la longitud y la inclinación de la pendiente. A medida que ambos factores aumentan, también lo hace el transporte y la acumulación de sedimentos en las zonas más bajas, producto del flujo de agua superficial que arrastra material desde las áreas más elevadas (Alvarado, 2021).

2.2.8 Prácticas de conservación

Las prácticas de conservación son las actividades de conservación ejecutadas en un sector específico, en relación a la erosión hídrica se deduce que las áreas sin ninguna clase de tratamiento se considera con valor de uno, siendo más propensas a este fenómeno natural (Carrión et al., 2023).

2.2.9 Ecuación universal de pérdida de suelos revisada (RUSLE)

La Ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE) es un modelo empírico para la estimación de la erosión hídrica y considera cinco factores para el desarrollo de la fórmula siendo: factor de erosividad de la lluvia (R), factor de erosionabilidad del suelo (K), factor de longitud y pendiente de la pendiente (LS), factor de manejo de la cobertura (C), y factor de práctica de conservación (P), con los cuales se determina la pérdida promedio anual del suelo (A), Se expresa de la siguiente forma $A = R * K * LS * C * P$ (Ghosal y Das Bhattacharya, 2020).

A: Representa la pérdida de suelo calculada a partir de la fórmula, y se expresa en función de la unidad de medida para K y del tiempo asignado para R, en toneladas (t), por hectárea (ha) y por año (año).

R: Estima el impacto de la lluvia en términos de energía cinética, además de prever la cantidad y tasa de escorrentía generada por dicho evento de precipitación, que está relacionada con la intensidad y duración de la lluvia.

K: Indica la capacidad del suelo para resistir la erosión ocasionada por el impacto de las gotas de lluvia y la escorrentía resultante, bajo condiciones estándar de suelo y cobertura.

LS: Refleja el efecto de la topografía sobre la erosión del suelo, considera la longitud (L) y la inclinación (S) de las pendientes. A medida que la pendiente se alarga, aumentan tanto la tasa como la cantidad de escorrentía acumulada.

C: Se refiere a la influencia de la vegetación o cobertura vegetal sobre la erosión del suelo, teniendo en cuenta factores como el tipo de vegetación, su etapa de crecimiento y el porcentaje de cobertura que ofrece.

P: Factor que evalúa el impacto de prácticas de manejo y conservación que buscan reducir la cantidad y velocidad de la escorrentía, disminuyendo así el riesgo de erosión del suelo (Sakhraoui y Hasbaia, 2023).

La metodología RUSLE se pensó y desarrolló con la finalidad de superar diversas limitaciones del anterior modelo conocido como USLE (Renard et al., 1997), sus principales avances son los siguientes:

- Se incorporan algoritmos computacionales con el objetivo de simplificar los cálculos utilizados en los análisis.
- Se desarrolló un índice que mide la susceptibilidad del suelo a la erosión según las condiciones climáticas del año. Para el factor (K), se propusieron métodos alternativos que pueden emplearse cuando no sea posible aplicar el nomograma.
- Se implementaron nuevos enfoques para calcular el factor relacionado con las prácticas de manejo, integrando aspectos como la vegetación, la rugosidad del suelo, el uso previo y la cobertura de cultivos.
- Se introdujeron formas mejoradas para evaluar los elementos de longitud e inclinación (LS), considera los porcentajes de erosión tanto en surcos como en áreas entre ellos.
- El cálculo del factor LS ahora puede realizarse para cualquier valor de pendiente, permite un análisis más flexible.
- Se añadieron nuevos valores para el factor de prácticas de conservación (P), facilitando una mejor adaptación a distintas condiciones (Cordero, 2022).

2.2.10 Sistema de información geográfica (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, de sus siglas en inglés Geographical Information System) es una herramienta indispensable para el tratamiento de datos espaciales, permite analizarlos y representarlos de múltiples maneras (García, 2021).

Un sistema de información geográfica es un mapa que es la representación visual de datos cuantificables. En comparación con los tradicionales, es dinámico e interactivo. Puede transformar datos geoespaciales en patrones o formas en un plano digital, y con un análisis geoespacial se representa la distancia entre puntos y su relación para comprender de mejor manera las proporciones de diversos sectores del mundo en un software (Sergieieva, 2022).

Los Sistemas de Información Geográfica hacen referencia al software o aplicación del ordenador que permite manejar mapas, realizar operaciones de análisis como las superposiciones vectoriales o álgebra de mapas. La página web

que establece el acceso a la información geográfica se llama geoportal (Robles, 2019).

2.2.5.1. Modelo vectorial.

El enfoque principal de los Sistemas de Información Geográfica está en los elementos geográficos y su ubicación espacial. Para modelar las formas del mundo real, se emplean tres tipos de entidades espaciales: puntos, líneas y polígonos. Los puntos, que son objetos de dimensión cero (0D), tienen posición pero no longitud ni ancho, representan elementos como estaciones meteorológicas. Las líneas, de una dimensión (1D), solo poseen longitud y son usadas para representar elementos como ríos o carreteras. Los polígonos, con dos dimensiones (2D), combinan longitud y ancho, forman áreas cerradas, como lagos o parcelas de terreno (Vélez, 2020).

2.2.5.2. Modelo ráster.

El modelo se basa en la división sistemática del espacio, el cual queda cubierto y es caracterizado como un conjunto de unidades elementales, con un valor relacionado entre sí, da una forma de malla o celdas (cuadradas y rectangulares), esto permite que se puede conocer la orientación y dimensión de cada celda en el mapa cuando se georreferencia la información y a su vez también las coordenadas de cualquier punto de la malla gracias a que posee una estructura regular, brinda información de cada espacio perteneciente al raster y sus propiedades, se considera al tamaño de la celda como un parámetro que está ligado a la escala de trabajo de la capa, con esto se define la resolución y la precisión con la que se ha tomado los datos (Olaya, 2020).

2.2.11 Aplicaciones el SIG

Los softwares GIS están diseñados para poder hacer la captura, almacenamiento, análisis, manejo y la presentación información de datos geográficos, con relación a datos de ubicación, y las características de las ubicaciones como la vegetación, topografía y la demografía, permite visualizar y analizar de forma clara, es utilizado en un sinnúmero de escenarios como la gestión de recursos naturales, la gestión de desastres, planificación urbana y la toma de decisiones en tiempo real (Ochoa, 2023).

2.3 Marco legal

2.3.1 Código Orgánico del Ambiente

Art. 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental (p.8).

Art. 404.- El patrimonio natural del Ecuador único e invaluable comprende, entre otras, las formaciones físicas, biológicas y geológicas cuyo valor desde el punto de vista ambiental, científico, cultural o paisajístico exige su protección, conservación, recuperación y promoción. Su gestión se sujetará a los principios y garantías consagrados en la Constitución y se llevará a cabo de acuerdo al ordenamiento territorial y una zonificación ecológica, de acuerdo con la ley (p.9) (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017, Art. 397 y 404)

2.3.2 Reglamento al Código Orgánico del Ambiente

Art. 4.- Criterios ambientales territoriales.- Para la planificación del desarrollo y el ordenamiento territorial, todos los niveles de gobierno deberán tomar en cuenta los siguientes criterios ambientales generales:

- a) Considerar al ambiente y sus dinámicas como elementos estratégicos y de soporte para el bienestar humano y el desarrollo de la sociedad;
- b) Considerar la función ambiental y social de la propiedad;
- c) Armonizar la conservación, protección y restauración del patrimonio natural con su uso y aprovechamiento sostenible;
- d) Mantener un enfoque integral que permita la consideración de las múltiples interacciones entre los sistemas territoriales desde una visión espacial, funcional y multidimensional;
- e) Articular y coordinar la planificación y gestión del territorio entre los Gobiernos Autónomos Descentralizados circunvecinos;
- f) Considerar los elementos del patrimonio natural en la planificación y gestión de los asentamientos humanos, con especial atención en la presión que ejercen las áreas de expansión urbana;
- g) Orientar las intervenciones en el territorio y el aprovechamiento sostenible de los recursos a través de normas de uso, ocupación y gestión del suelo que definan espacios con diferentes funciones de conservación, restauración y uso sostenible;
- h) Incorporar medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en los modelos de gestión del territorio;
- i) Considerar la gestión integral de riesgos en el territorio, con especial atención a aquellos derivados de los efectos del cambio climático;
- j) Incorporar las funciones y servicios ambientales que presta el patrimonio natural, valorándose sus aportes a la economía local;
- k) Garantizar la provisión de bienes y servicios ambientales generados por los ecosistemas dentro de cada jurisdicción, considerando la planificación territorial nacional, sectorial y descentralizada; y,
- l) Incorporar el enfoque ecosistémico y de paisajes, por sobre los límites jurisdiccionales, en la planificación y gestión del territorio, dentro del cual, se promoverán alianzas interinstitucionales que aseguren la conservación, protección,

restauración, uso y aprovechamiento sostenible del patrimonio natural (p.3)
(Ministerio del Ambiente, 2019, Art.4)

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Enfoque de la investigación

La investigación fue de carácter cualitativo y cuantitativo, y se dedicó a la recopilación de datos computarizados del Parque Nacional El Cajas en el cantón Cuenca de la provincia de Azuay, con la finalidad del análisis y síntesis de la información requerida para la estimación la erosión hídrica.

3.1.1 *Tipo y alcance de la investigación*

3.1.1.1. Investigación documental.

El proyecto fue documental debido a que hizo uso de fuentes bibliográficas de la Universidad Agraria del Ecuador, y a su vez de revistas, artículos científicos y libros de bases indexadas (Scopus, Web of science, Latindex catálogo), para la fundamentación de los conocimientos detallados en las bases teóricas y problemática referente a la erosión hídrica.

3.1.1.2. Investigación descriptiva.

En base a que se detalló la información recopilada para el desarrollo de los factores de la ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE) y de esta forma se obtuvo los resultados que fueron descritos, da a conocer las áreas más afectadas por este fenómeno que se da de forma natural.

3.1.2 *Diseño de la investigación*

La investigación cuenta con un diseño no experimental, porque se basó en la investigación descriptiva para la recopilación de datos de diferentes institutos dedicados a la investigación del clima y suelo, son fuentes confiables para la obtención de datos.

3.2 Metodología

3.2.1 *Variables*

3.2.1.1. Variables independientes.

Para la estimación de la erosión hídrica mediante la ecuación se RUSLE se tiene las siguientes variables independientes:

- Factor de erosividad de la lluvia (R)
- Factor de erosionabilidad del suelo (K)
- Factor de longitud y pendiente (LS)
- Factor de manejo de la cobertura (C)
- Factor de práctica de conservación (P)

3.2.1.2. Variable dependiente.

La variable dependiente en la ecuación de RUSLE corresponde al factor (A) considerado como la pérdida de suelo en Tn/ha/año por erosión hídrica.

3.2.1.3. Matriz de operacionalización de variables.

Tabla 1.

Matriz de operacionalización de las variables independientes

Variables independientes			
Variable	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Factor de erosividad de la lluvia (R)	Cuantitativa	Continua	Se mide en (MJ/ha * mm/h)
Factor de erosionabilidad del suelo (K)	Cuantitativa	Continua	Se mide en (T * ha * h / Mj*ha *mm ⁻¹)
Factor de longitud y pendiente (LS)	Cuantitativa	Continua	Se mide en metros
Factor de manejo de la cobertura (C)	Cuantitativa	Continua	Se mide en valores de 0 a 1
Factor de práctica de conservación (P)	Cuantitativa	Continua	se mide en valores de 0 a 1

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 2.

Matriz de operacionalización de la variable dependiente

Variable dependiente			
Variables	Tipo	Nivel de medida	Descripción
Pérdida de suelo anual (A)	Cuantitativa	Continua	Se mide en t/ha/año

Elaborado por: El Autor, 2025

3.2.2 Recolección de datos

3.2.2.1. Recursos.

El material que se requirió fue información en formatos digitales del área de estudio como: geodata base (gdb), shapefile (Shp), e información de distintos geoportales de instituciones nacionales como Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Ministerio del Ambiente, Agua, y transición ecológica (MAATE), Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Google Earth Engine (GEE), Sigtierras, también, fuentes bibliográficas confiables de páginas web, libros, artículos científicos, revistas, entre otros, para fundamentar las bases teóricas establecidas.

3.2.2.2. Recursos económicos.

El recurso económico lo proporcionó el encargado del proyecto, el cual fue responsable de solventar los gastos necesarios para cumplir con las actividades propuestas y se ejecuten de forma óptima.

3.2.2.2. Métodos y técnicas.

Para alcanzar los resultados del primer objetivo

El primer objetivo fue realizar el levantamiento de información requerida para la ecuación universal de pérdida de suelo en el Parque Nacional El Cajas, el cual se llevó a cabo por medio de la obtención de datos de diversas instituciones y satélites que contengan datos necesarios para cada factor requerido por la formula **RUSLE**.

- **Obtención de datos del factor R:** los datos climatológicos de eventos de precipitaciones anuales y mensuales, en un rango de 20 años, fueron recopilados de siete diversas estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).
- **Obtención de datos para el factor K:** Se obtuvo datos del Ministerio de agricultura y ganadería (MAG), donde se obtuvo datos de diferentes órdenes de suelo del sector.
- **Obtención de datos para el factor LS:** Se obtuvo del geoportal Sigtierras, a partir del modelo de elevación digital (DEM) del Parque Nacional El Cajas.

- **Obtención de datos para el factor C:** Por medio de Google Earth Engine, descargó un shapefile de cobertura y uso de suelo (LULC) a través del satélite de Sentinel.
- **Obtención de información para el factor P:** El factor P se asignó en el mapa cobertura y uso del suelo en función a las prácticas de conservación del Parque Nacional el Cajas.

Para alcanzar los resultados del segundo objetivo

El segundo objetivo trató sobre el cálculo de los parámetros de la ecuación de RUSLE y procesamiento de la información en un (SIG) para la determinación del nivel de erosión en el Parque Nacional El Cajas, por ello, se empleó las siguientes formulas:

Ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE)

La ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE) propuesta por (Renard et al., 1997) se expresa de la siguiente forma:

$$A = R * K * LS * C * P \quad (1)$$

Donde:

- **A:** Es la pérdida media anual de suelo ($Tn \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$).
- **R:** Factor erosividad de las lluvias en ($MJ/ha * mm/h$).
- **K:** Es el factor de erosionabilidad del suelo ($T * ha * h / Mj * ha * mm^{-1}$).
- **LS:** Factor topográfico. L es la longitud de la pendiente y el factor S de inclinación de la pendiente.
- **C:** Factor de cobertura y uso del suelo (adimensional)
- **P:** Es el factor de prácticas de conservación (adimensional)

(Robles, 2019).

Determinación del factor R

La determinación de este factor se basó en los datos históricos de las precipitaciones a través de estaciones meteorológicas, para realizar la interpolación (IDW).

En teoría, el factor R se describe como el resultado de multiplicar la energía cinética (E) generada por una tormenta con la intensidad máxima de lluvia (I) registrada en un intervalo de 30 minutos. Este factor se calcula con el promedio de los valores anuales de $E*I$ a lo largo de un período de al menos 20 años. (Cordero, 2022).

$$R = \frac{1}{na} \sum_{k=1}^{na} (\sum_{i=3}^{ne} (E * I30) i) \quad (2)$$

Dónde:

- **E:** se considera como la energía cinética de un evento de lluvia.
- **I30:** se define como la máxima intensidad en 30 minutos durante un evento *i* de lluvia.
- **ne:** número de eventos de lluvia ocurridos en el año.
- **na:** número de años.

Índice de Fournier modificado

El Índice de Fournier Modificado (IMF) se utiliza para evaluar la agresividad de la lluvia a partir de datos de precipitaciones anuales y mensuales. Este índice ofrece una manera ágil de estimar el impacto erosivo de las lluvias, vinculando la cantidad de precipitación mensual con el total anual (Gvozdenovich et al., 2016).

Se considera el índice modificado de Fournier (IMF) como una opción viable en la determinación del factor R, y los requerimientos de la fórmula son más accesibles para la ejecución del proyecto, se expresa de la siguiente forma:

$$IFM = \sum \frac{p^2}{P} \quad (3)$$

Donde:

- **IMF:** Índice modificado de Fournier.
- **p:** la precipitación acumulada mensual (mm).
- **P:** la precipitación acumulada anual (mm).

Esta fórmula fue utilizada en el cálculo del IMF₁, el cual consiste en calcular los valores de la precipitación mensual en su propio periodo y el cálculo del IMF₂ que se basa en calcular este índice para cada uno de los años, y se realizó un promedio de estos valores.

La clasificación de los valores que se obtuvo en el IMF estuvo basada en la siguiente tabla de rango del cálculo del índice modificado de Fournier:

Tabla 3.

Rango del cálculo IMF.

(IMF) Rango	Descripción
<60	Muy bajo
60-90	Bajo
90-120	Moderado

(IMF) Rango	Descripción
<60	Muy bajo
120-160	Alto
>160	Muy alto

Fuente: Fournier (1960). **Elaborado por:** El Autor, 2025

Determinación del factor K

Por medio de la fórmula establecida que considera el tipo y estructura del suelo, porcentaje de partículas como limo, arena y arcilla, fueron procesadas en un Excel, posterior se consideró la tabla de erodabilidad del suelo de Kirkby y Morgan (1980) para la determinación del factor K en el Parque Nacional El Cajas.

La ecuación propuesta por (Wischmeier y Smith, 1978) fue aplicada para la determinación del factor de erodabilidad del suelo (K), que comprende características y propiedades del suelo, siendo la siguiente:

$$K = \frac{1.292 * (2.1 M^{1.14} * 10^{-4} * (12 - MO) + 3.25 * (E - 2) + 2.5 * (P - 30))}{100} \quad (4)$$

Donde:

- **M:** (% limo + arena muy fina) * (100 - % arcilla)
- **MO:** porcentaje de materia orgánica
- **E:** código de estructura de suelo
- **P:** clase de permeabilidad

Tabla 4.

Clase de permeabilidad según la textura del suelo.

Clase de permeabilidad	Textura	Velocidad
1 Rápida y muy rápida	Arenosa	>15 cm/h
2 Moderada a rápida	Arenosa franca, franco arenosa	15-4 cm/h
3 Moderada	Franca, franco limosa, limosa	4-2 cm/h
4 Lenta a moderada	Franco arcillo-arenoso, franco arcillosa	2-0.5 cm/h

Clase de permeabilidad	Textura	Velocidad
5 Lenta	Franco arcillo limosa, arcillo arenosa	0.5-1.5 cm/h
6 Muy lenta	Arcillosa, arcillo limosa	<0.15 cm/h

Fuente: Robles (2019). **Elaborado por:** El Autor, 2025

Tabla 5.

Valores de Factor de erodabilidad del suelo (K).

Textura	% de materia orgánica		
	0.0 – 0.5	0.5 – 2.0	> 2.0
Arena	0.007	0.004	0.003
Arena fina	0.021	0.018	0.013
Arena muy fina	0.055	0.047	0.037
Arena franca	0.016	0.013	0.011
Arena fina franca	0.032	0.026	0.021
Arena muy fina franca	0.058	0.050	0.040
Franco arenosa	0.036	0.032	0.025
Franco arenosa fina	0.046	0.040	0.032
Franco	0.050	0.045	0.038
Franco limosa	0.063	0.055	0.043
Limo	0.079	0.068	0.055
Franco arcillo arenosa	0.036	0.033	0.028
Franco arcillosa	0.037	0.033	0.028
Franco arcillo limosa	0.049	0.042	0.034
Arcillo arenosa	0.018	0.017	0.016
Arcillo limosa	0.033	0.030	0.025
Arcilla	0.017	0.038	

Fuente: Kirkby y Morgan (1980). **Elaborado por:** El Autor, 2025

Tabla 6.

Clasificación de los grados de erodabilidad.

Valor de K (T ha h/MJ mm ha)	Clasificación
0.007902	Muy poco erodable
0.0079 – 0.0171	Débilmente erodable
0.0171 – 0.0329	Medianamente erodable
0.0329 – 0.0684	Fuertemente erodable
0.0684 – 0.1027	Extremadamente erodable

Fuente: Robles (2019). **Elaborado por:** El Autor, 2025

Determinación del factor LS

Se realizó la modelación digital de elevación (DEM) para producir una imagen ráster en similitud, y por medio del programa Python se calculó la ecuación del factor (LS).

Se empleó la fórmula propuesta por (Wischmeier y Smith, 1978), que se expresa de la siguiente forma:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m (0.065 + 4.45 \operatorname{sen} \alpha + 65.41 \operatorname{sen}^2 \alpha) \quad (5)$$

Donde:

λ = longitud de la pendiente en metros

α = ángulo de la pendiente

“LS representa la proporción de pérdida de suelo en comparación con un sitio de referencia "estándar" con 9% de pendiente y 22.13 metros de longitud de desnivel. S es la pendiente en grados” (Barral, 2017, p. 10).

El exponente (m) toma los siguientes valores:

- m = 0.5 si la pendiente es superior al 5%
- m = 0.4 para pendientes entre 3.5% y 4.5%
- m = 0.3 para pendientes entre 1% y 3%
- m = 0.2 para pendientes inferiores al 1%.

Tabla 7.

Clases, Rangos y descripción de pendientes.

Clase	Rango%	Descripción
1	0-5	Pendiente débil
2	5-12	Pendiente suave
3	12-25	Pendiente moderada
4	25-40	Pendiente moderada
5	40-70	Pendiente fuerte
6	>70	Pendiente abrupta

Fuente: Szabó (2015). **Elaborado por:** El Autor, 2025

Determinación del factor C

Se obtuvo a través de Google Earth Engine (GEE) que proporciona información confiable y no manipulable de la cobertura vegetal existente en el Parque Nacional El Cajas, se destacó que depende de la cobertura vegetal el impacto de la lluvia en el suelo tendrá variación, a partir de imágenes satelitales que permitieron conocer el tipo de vegetación existente en el área de estudio.

Tabla 8.

Valores de uso y cobertura vegetal.

Uso	Cobertura	Factor C
Antrópico	Área en proceso de urbanización, camaronera, Centro poblado, Complejo industrial, Vertedero de basura	1
Bosques Y Áreas naturales	Bosque húmedo y seco poco y medianamente alterado	0.003
	Bosque húmedo poco alterado, bosque seco medianamente alterado	0.001 – 0.007
	Pasto cultivado	0.040
Vegetación, pastos y matorrales	Vegetación herbácea húmeda y seca muy alterada	0.100
	Matorral seco medianamente alterado	0.030
	Matorral seco muy alterado	0.100
	Matorral seco poco alterado	0.003
	maracuyá, pimiento, melón, maíz, papaya	0.003
Cultivos de ciclo corto	Plátano	0.519
	Sandia	0.300
	Barbecho	0.580
	Berenjena	0.009
Cultivos anuales	Paja toquilla	0.003

Uso	Cobertura	Factor C
	Yuca, zapallo	0.079
	Misceláneo indiferenciado, pasto cultivados con la presencia de árboles, tierras sin cultivo	0.008 – 0.009
	Caña gradúa	0.263
	Caoba	0.050
	Teca	0.100
	Afloramiento rocoso	0.04
Tierras Improductivas	Banco de arena	1.00
	Playa	0.00
	Suelo descubierto	1.00
Agua	Embalse, río dobles	0.00

Fuente: Robles (2019). **Elaborado por:** El Autor, 2025

Tabla 9.

Otros valores de uso y cobertura vegetal.

Cobertura	Factor C
Cultivos	0.4
Pastizales y praderas	0.02
Silvicultura	0.006
Humedales	0.01
Tierras bajas inundables	0.01

Fuente: Barral (2017). **Elaborado por:** El Autor, 2025

Determinación del factor P

Este factor depende de la existencia de prácticas de conservación en la zona de estudio, el cual recibió un valor adimensional (0 - 1).

Determinación de la ecuación (factor A)

Una vez calculados todos los parámetros antes mencionados, se estimó la erosión hídrica potencial en el Parque Nacional El Cajas, empleando la opción de algebra de mapas de QGis y multiplicación de los factores (R, K, LS) con la siguiente formula:

$$A_{max} = R * K * LS \quad (6)$$

Donde:

- A_{max} : Erosión hídrica potencial
- **R**: Factor de erosividad por lluvias
- **K**: Factor de erodabilidad del suelo
- **LS**: Factor de longitud y pendiente

Con dichos valores se modeló la pérdida de suelo potencial del área de estudio, clasificó según la siguiente tabla:

Tabla 10.

Rango de erosión potencial del suelo.

Nivel de erosión	t. ha⁻¹.año⁻¹
Muy baja	<10
Baja	10 – 25
Moderada	25 – 50
Alta	50 – 100
Muy Alta	100 – 200
Extremadamente alta	> 200

Fuente: FAO, PNUMA y UNESCO (1980). **Elaborado por:** El Autor, 2025

Mientras que para el cálculo de la erosión hídrica actual se consideró la influencia de la vegetación y prácticas de conservación (Factor C y P) siendo multiplicada para la erosión potencial.

Tabla 11.

Rango de erosión Anual del suelo.

Nivel de erosión	t. ha⁻¹.año⁻¹
Muy baja	0 – 5
Baja	5 – 15
Moderada	15 – 30
Alta	30 – 50
Muy Alta	50 – 100
Extremadamente alta	> 100

Fuente: FAO, PNUMA y UNESCO (1980). **Elaborado por:** El Autor, 2025

Sistema de información (SIG)

El sistema de información que se empleó para el procesamiento de los datos fue QGIS, el cual cuenta con varias herramientas que permiten analizar y procesar la información, en específico la opción de algebra de mapas, que genera la combinación de los factores para hallar la erosión hídrica del Parque Nacional El Cajas.

Para alcanzar los resultados del tercer objetivo

El tercer objetivo comprende la recomendación un plan de manejo del suelo para la reducción del impacto de la erosión hídrica, el cual fue recopilación de técnicas que permiten la perduración del suelo ante la amenaza de la erosión hídrica que altera al ecosistema andino en cuestión.

3.2.3 *Análisis estadístico*

En esta investigación se empleó estadística descriptiva en las distintas variables, las cuales son el factor R, factor K, factor LS, factor C, factor P, además de aspectos relacionados a los factores como porcentaje de limo, arena, arcilla y materia orgánica del suelo, también en las precipitaciones en (mm), y en toda variable necesaria para la obtención de la ecuación de RUSLE para estimar la erosión hídrica.

4. RESULTADOS

4.1 Procesamiento de la información para la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo en el Parque Nacional El Cajas mediante datos de fuentes libres.

4.1.1 Datos de precipitaciones para estimar la erosividad por lluvia

El factor de erosividad por lluvia requirió de datos meteorológicos de precipitaciones de al menos 20 años, la información se obtuvo de siete estaciones meteorológicas, estas unidades meteorológica pertenecen al (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI], 2019) presentó los siguientes eventos climáticos en promedio mensual en milímetros de todos los años:

Tabla 12.

Promedios mensuales de precipitaciones en mm de estaciones meteorológicas.

Meses	Surucucho	Piscícola	Sayausi	Quínoas	Ricaurte	Chaucha	Buenos aires
Enero	123.96	103.69	97.52	79.38	63.79	141.97	60.69
Febrero	149.51	132.41	107.52	131.19	89.92	166.06	77.91
Marzo	177.33	161.33	124.82	101.51	134.66	194.73	119.84
Abril	196.07	182.45	164.20	106.34	135.21	147.33	129.72
Mayo	160.64	149.81	130.09	75.50	93.28	69.83	79.36
Junio	114.41	115.31	75.76	66.75	52.79	12.01	40.72
Julio	86.85	120.70	41.28	71.79	26.81	8.72	40.04
Agosto	55.53	71.48	29.48	45.33	23.73	6.01	32.85
Septiembre	68.07	74.38	55.91	63.33	43.94	13.22	51.08
Octubre	115.73	125.08	104.16	74.03	83.21	28.69	94.55
Noviembre	98.47	118.96	95.15	60.17	95.20	45.81	74.79
Diciembre	119.33	102.81	101.80	100.14	114.86	98.26	79.92
Acumulada anual	1465.88	1458.38	1127.68	975.45	957.38	932.62	881.47

Fuente: INAMHI, (2019). **Elaborado por:** El Autor, 2025

A través de las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) se determinó que las precipitaciones van en aumento desde el mes de octubre, siendo en el mes de abril donde se registra los mayores eventos, mientras que a partir del mes de mayo estos valores disminuyen, y en el mes de agosto fue el pico más bajo de precipitaciones observadas, los

valores de precipitaciones en la zona van desde 881.47 mm hasta 1465.88 mm, lo cual indicó que es un sector con gran afluencia de lluvias.

4.1.2 Datos de suelo para estimar la erodabilidad del suelo

El factor de erodabilidad del suelo requirió información del tipo de suelo existente en el Parque Nacional El Cajas, para ello se descargó el mapa de taxonomía de suelo proveniente del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) del año 2020 en el cual se clasificó las siguientes clases texturales las cuales se determinaron por medio del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA):

Tabla 13.

Clasificación y distribución del suelo en el Parque Nacional El Cajas.

Orden del suelo	Clases texturales de suelo	Hectáreas	Porcentaje (%)
Inceptisol	Franco arcillosa	23437.48	82.11
Entisol	Franco arenoso	3753.54	13.15
Alfisol	Franco	1224.54	4.29
Histosol	Limoso	77.07	0.27
Eriales	Rocoso	51.38	0.18
Total		28544	100

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG] (2020). **Elaborador por:** El Autor, 2025

4.1.2.1. Materia orgánica en suelos del Parque Nacional El Cajas.

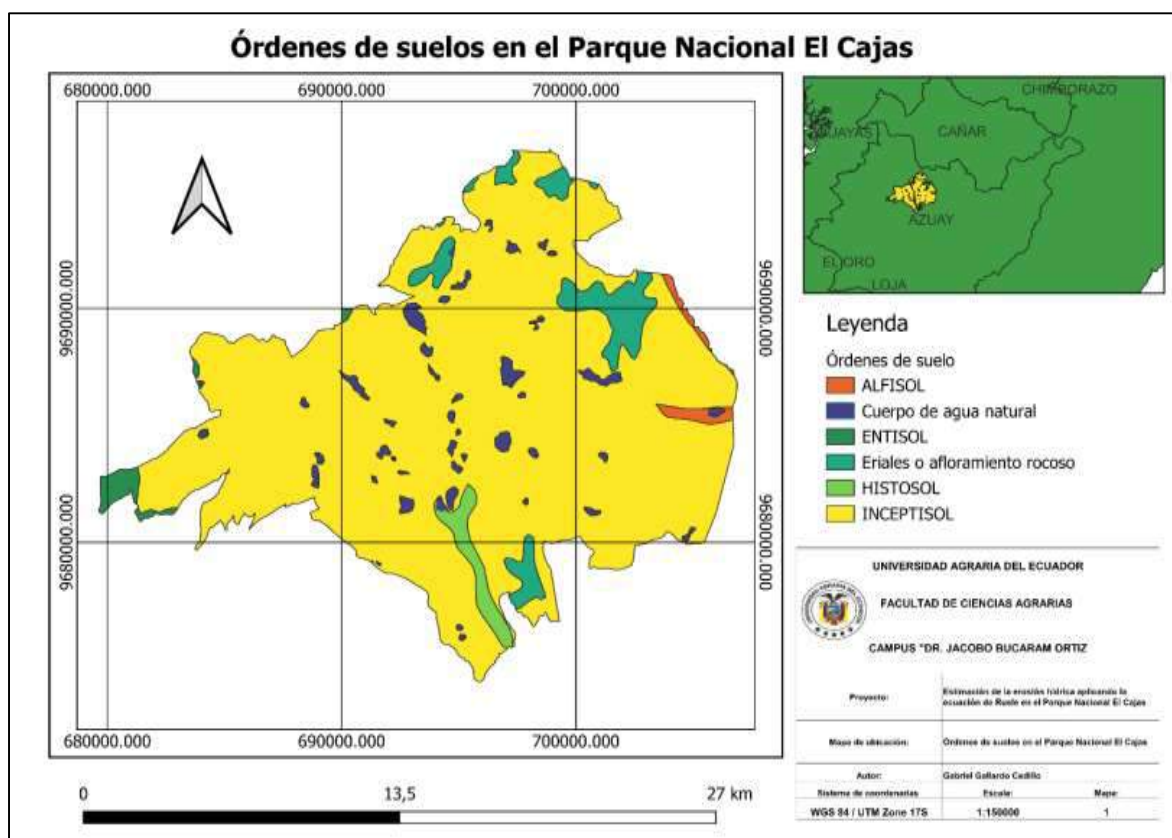
En el Parque Nacional El Cajas, los histosoles tienen una textura limosa, compuesta por partículas finas debido a la alta acumulación de materia orgánica en áreas saturadas de agua, donde esta supera los 20 - 30% (Mejía, 2018). Los inceptisoles presentan una textura francos arcillosos, con mayor proporción de arcilla que retiene agua y nutrientes, y su contenido de materia orgánica varía entre 2 - 5% (Organización de los Estados Americanos [OEA], 2017). Los alfisoles, de textura franco, equilibran arena, limo y arcilla, permite una buena retención de humedad y materia orgánica que suele estar entre 2 - 5%. Los entisoles, con textura franco arenosa, tienen mayor proporción de arena, lo que facilita el drenaje, y contienen entre 1 - 4% de materia orgánica. También, los erales o afloramientos rocosos son áreas con predominancia de roca expuesta, sin acumulación

significativa de suelo o materia orgánica (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA], 2014).

El Parque Nacional El Cajas se caracteriza por su terreno montañoso y sus condiciones de alta humedad, lo que favorece la presencia de suelos jóvenes como los inceptisol y entisoles y áreas de alta acumulación de materia orgánica histosoles. Los suelos más desarrollados, como los alfisoles, tienden a encontrarse en áreas menos empinadas y donde el drenaje no es tan rápido.

Figura 1.

Órdenes de suelos en el Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

4.1.3 Modelo digital de elevación (DEM) en metros.

El modelo digital de elevación (DEM) se adquirió de la plataforma "Sigtierras" y Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) proyectado al sistema de coordenadas WGS84 zona 17 Sur con una escala de 1: 1:150000, el cual mostró la elevación del terreno del área de estudio y sirvió para el cálculo del Factor de longitud y pendiente (LS).

En el Parque Nacional El Cajas existe una elevación media de 3906.24 metros que se considera alta siendo típica en zonas montañosas, la desviación estándar demostró la variabilidad de la elevación en esta zona fue de 204.26 metros, esta medida indica que las elevaciones tienden a variar en torno a la media. La elevación mínima registrada es de 3138.81 metros, mientras que la máxima es de 4455.63 metros con un rango de 1316.82 metros, lo cual reafirma que el terreno tiene una considerable diversidad en altitud, y la varianza fue de 41723.40 metros dada a la naturaleza montañosa del área de estudio, se detalló la información a través de la siguiente tabla:

Tabla 14.

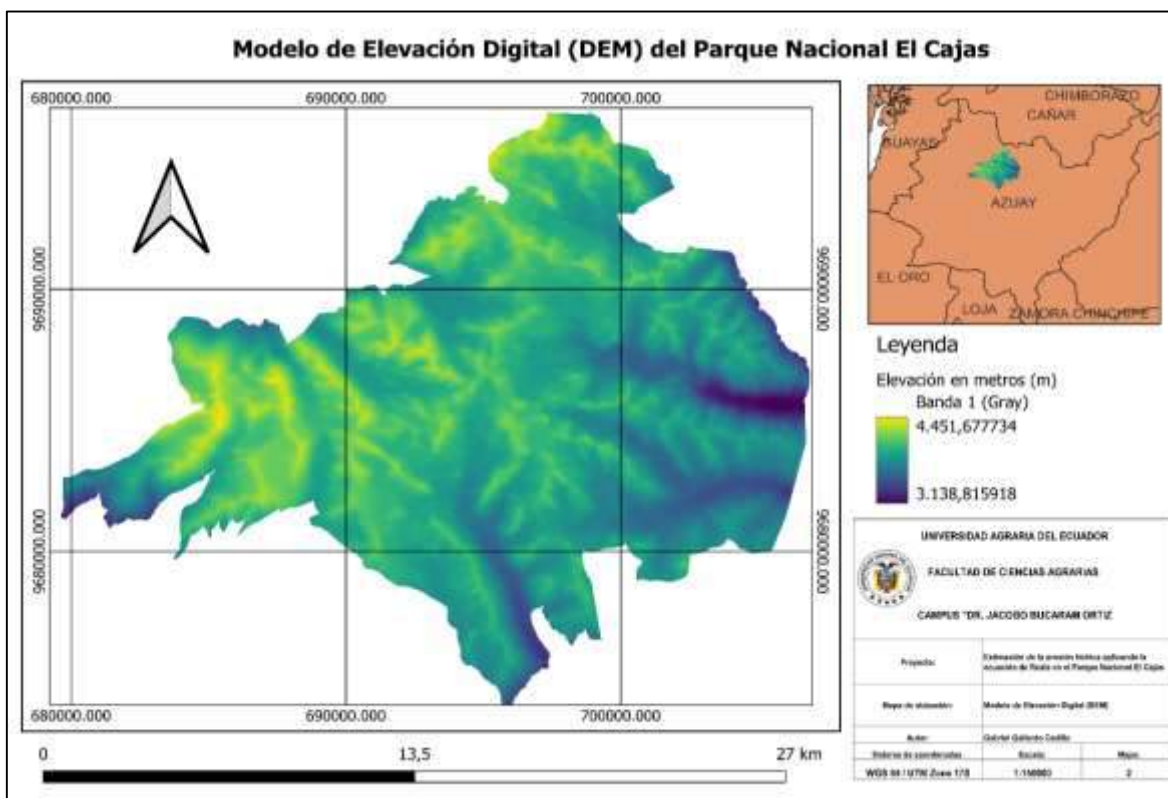
Rango en metros del modelo digital de elevación (DEM).

Clasificación estadística	Valores
Mínimo	3138.81
Máximo	4455.63
Promedio	3906.24
Rango	1316.82
Desviación estándar	204.26

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 2.

Modelo digital de elevación (DEM) m.s.n.m.



Elaborado por: El Autor, 2025

4.1.4 Obtención de datos de cobertura y uso de suelo (LULC)

Se descargó de la plataforma Google Earth Engine (GEE) un shapefile de la colección "ESA worldCover 10m v100m" imagen captada por el satélite Sentinel1, dicha imagen pertenece al periodo de enero 2020 hasta enero 2021.

El Parque Nacional El Cajas, situado en la región andina de Ecuador presentó una variedad de coberturas de suelo que reflejan su diversidad de ecosistemas. Los pastizales son la cobertura dominante, ocupó el 84.08% del área total del parque, seguido de matorrales con un 8.36%, que contribuye a la riqueza vegetal y a la protección del suelo frente a la erosión. Los cuerpos de agua ocupan el 3.25%, los cuales abastecen a ríos como Tomebamba, Yanuncay y Mazán. La cobertura arbórea representó el 2.24%, y, aunque limitada en extensión, es importante en la captura de carbono. Otros tipos de coberturas, como la vegetación escasa (1.61%) y los humedales herbáceos (0.32%), contribuyen a la variedad de hábitats, mientras que áreas como las urbanizadas y las tierras con cultivo ocupan un porcentaje mínimo.

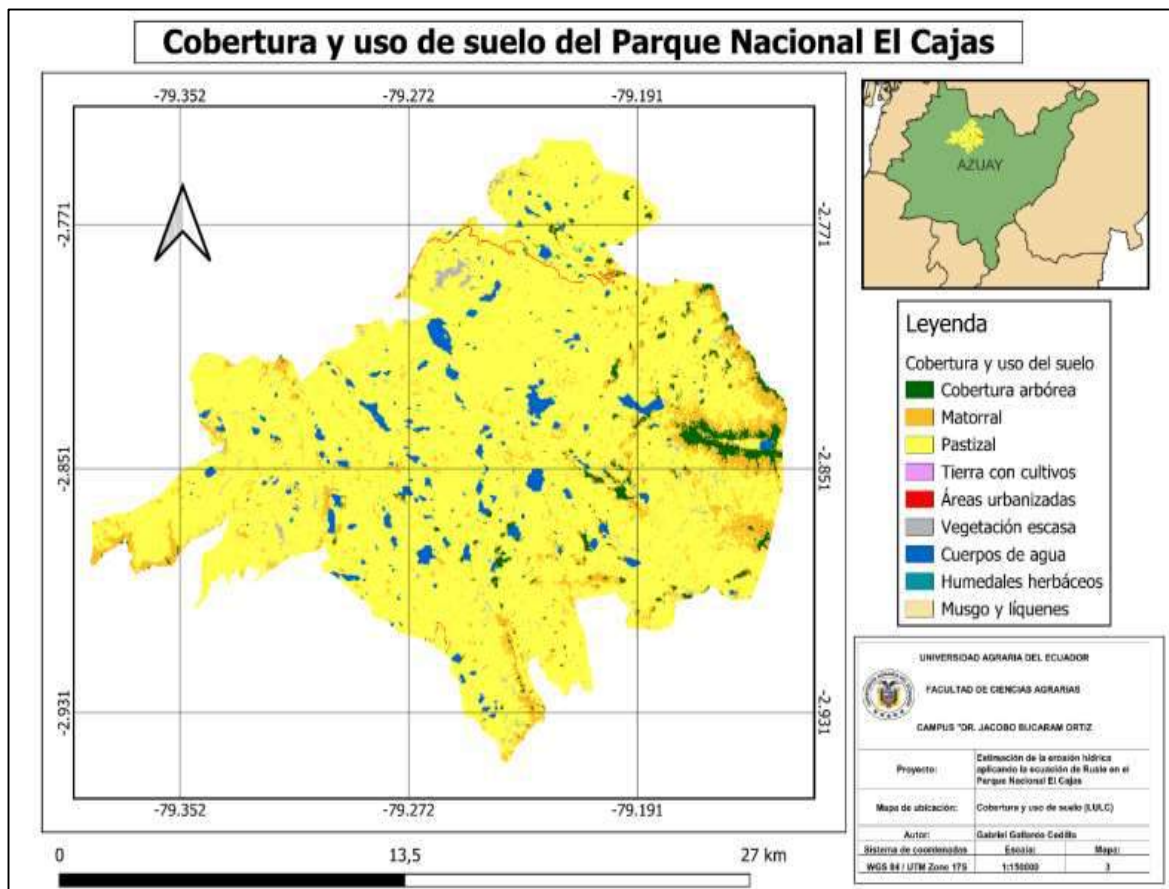
Entre los principales pastos existentes Parque Nacional El Cajas se encuentran *Calamagrostis intermedia*, conocido como pajonal andino, es una gramínea de crecimiento denso que forma extensas coberturas vegetales, favorece la protección del suelo contra la erosión ya que facilita la infiltración de agua en los suelos de páramo, también, *Festuca dolichophylla*, también llamada paja de páramo, se caracteriza por su alta resistencia a las condiciones climáticas adversas. Sus raíces profundas contribuyen a la estabilización del suelo y su follaje denso reduce la evaporación del agua retenida en los ecosistemas altoandinos y *Stipa ichu*, conocida como paja brava, es una gramínea distribuida en los Andes, su estructura fibrosa y su capacidad para crecer en suelos de baja fertilidad la convierten en una especie clave para la conservación del ecosistema, estas especies de pastos conforman la mayoría de los pastizales y reducen de forma significativa el proceso de erosión hídrica.

Tabla 15.
Tipos de coberturas en el Parque Nacional El Cajas.

Cobertura	Perímetro (m)	Área (m ²)	Hectáreas	Porcentaje (%)
Pastizales	2267479	239997952	23999.80	84.08
Matorral	1667689	23862784	2386.28	8.36
Cuerpos de agua	235155	9276800	927.68	3.25
Cobertura arbórea	296169	6393856	639.39	2.24
Vegetación escasa	650991	4595584	459.56	1.61
Humedales herbáceos	171680	913408	91.34	0.32
Áreas urbanizadas	51271	399616	39.96	0.14
Tierras con cultivo	638	2854	0.29	0.001
Musgo y líquenes	299	2854	0.29	0.001
Total			28544	100

Fuente: Google Earth Engine, (2021). **Elaborado por:** El Autor, 2025

Figura 3.

Cobertura y uso del suelo del Parque Nacional El Cajas.

Elaborado por: El Autor, 2025

4.1.5 Prácticas de conservación en el Parque Nacional El Cajas

Se determinó por medio del Ministerio del Ambiente que el Parque Nacional El Cajas es un área protegida donde no se aplica agricultura convencional, por ende, no existen prácticas artificiales como: terrazas, labranza de conservación, canales de drenaje, barreras físicas, entre otras. Por esto el valor acorde que se asignó en la ecuación RUSLE fue 1, debido a nula influencia de prácticas de conservación artificial en esta área natural.

4.2 Aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo RUSLE para la determinación del nivel de erosión hídrica en el parque Nacional El Cajas**4.2.1 Determinación del factor de erosividad por lluvias (R)**

El Parque Nacional El Cajas situado en la región Sierra, es propenso a tener eventos climáticos prolongados que agravan la erosión hídrica, El índice modificado de Fournier (IMF) evaluó la erosividad de lluvias en el Parque Nacional El Cajas, los resultados muestran un valor mínimo de 101.09 y un máximo de 162.81, con un

promedio de 130.71, reflejó un nivel alto de erosividad en la región según la clasificación del índice modificado de Fournier. El rango de 61.72 indica una variabilidad espacial notable, mientras que la desviación estándar fue de 6.87 y la varianza de 93.86.

Tabla 16.

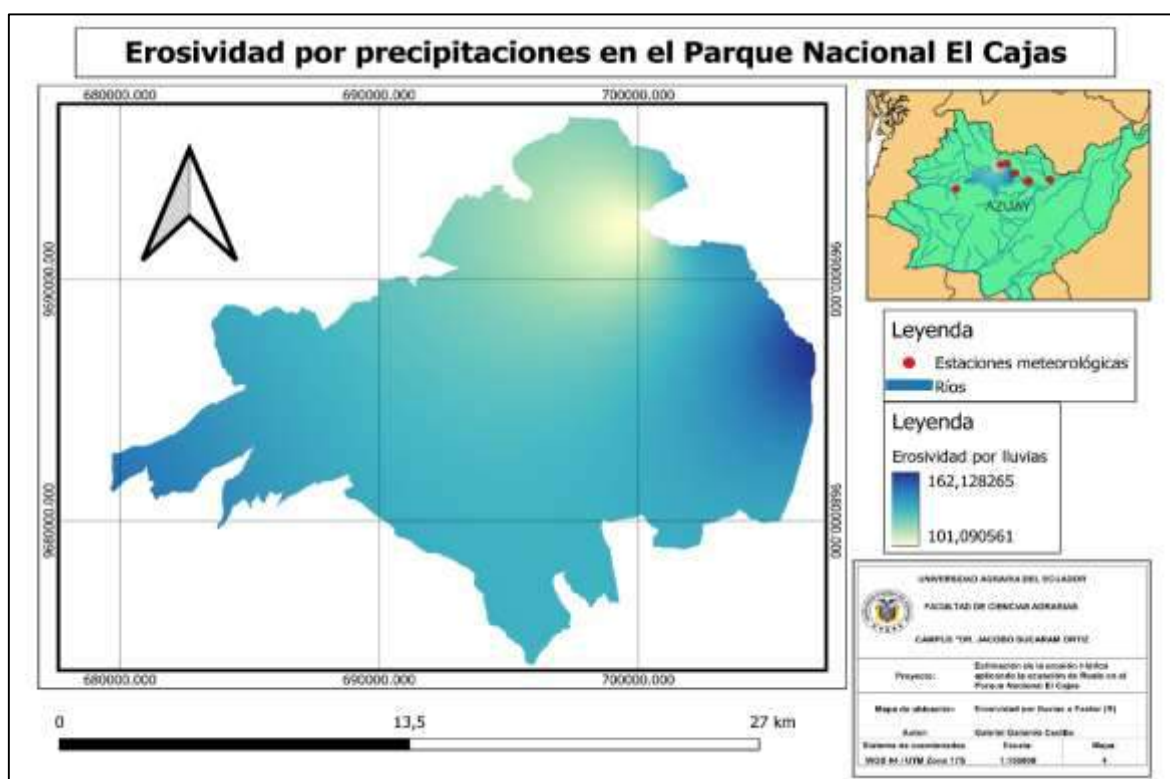
Rango de erosividad por lluvias o Factor (R) en el Parque Nacional El Cajas.

Clasificación estadística	Valores
Mínimo	101.09
Máximo	162.81
Promedio	130.71
Rango	61.72
Desviación estándar	6.87
Varianza	93.86

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 4.

Mapa de erosividad por precipitaciones en el Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

4.2.2 Determinación del factor de erodabilidad del suelo (K)

La erodabilidad del suelo fue determinada mediante la asignación de valores de la tabla propuesta por Kirkby y Morgan (1980), se consideró la clases texturales de los órdenes de suelo de la capa de taxonomía de suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), y el porcentaje de materia orgánica.

La erodabilidad del suelo (Factor K) en el Parque Nacional El Cajas, clasifica el área en cuatro niveles: nula, débil, media y fuerte, la categoría predominante es la erodabilidad media, que cubre el 90.09% del área total (25712.5 hectáreas), con valores que varían ligeramente entre 0.02830 y 0.02862, tuvo una baja dispersión, mientras que las categorías nula (2.63%) representó a cuerpos de agua, débil (4.90%) y fuerte (2.43%) representan áreas menores del territorio, los resultados indican que la mayoría de los suelos tienen un riesgo de erosión moderado, mientras que las áreas con erodabilidad fuerte, aunque limitadas, requieren atención prioritaria para evitar la degradación del suelo y conservar los ecosistemas del parque, se determinó que entre mayor porcentaje de materia orgánica y buena infiltración posea un suelo los valores de erosionabilidad del suelo se reducirán de forma considerable.

Tabla 17.

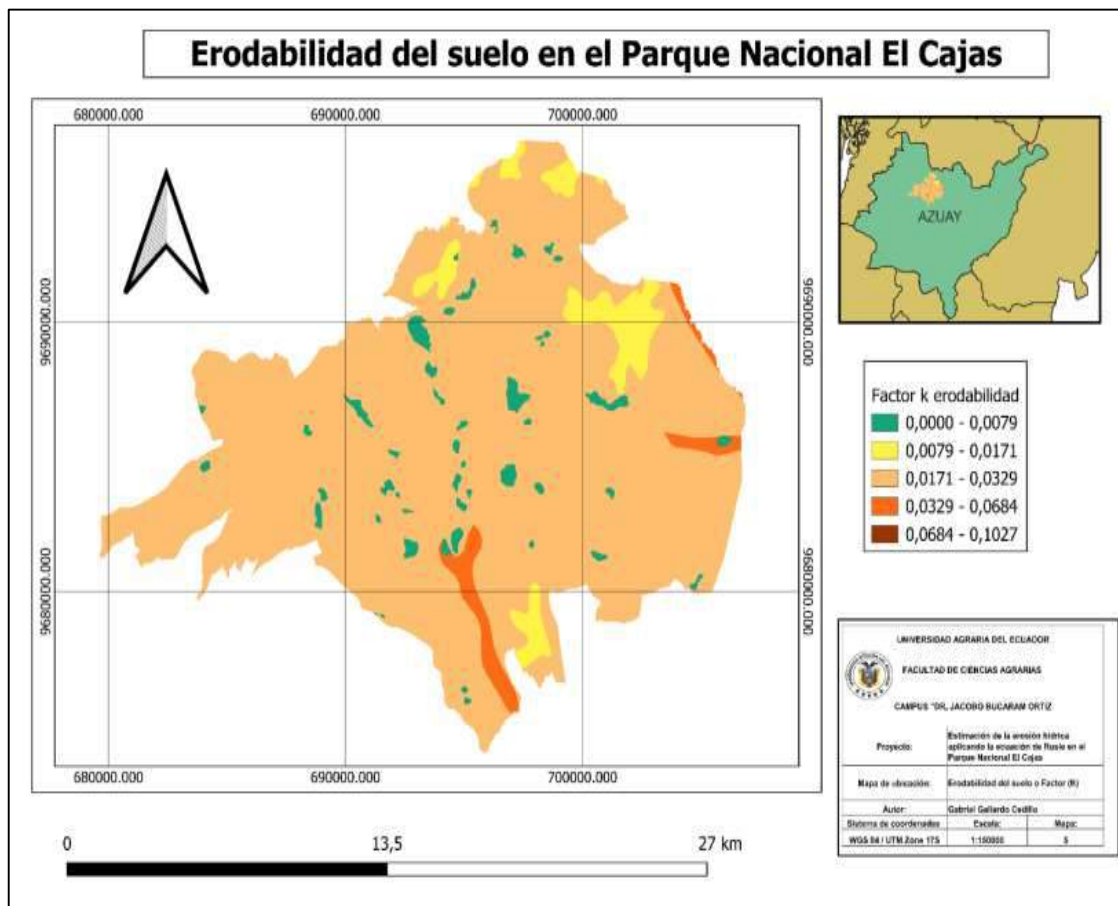
Clasificación y distribución del mapa de erodabilidad del suelo o Factor (K).

Clasificación	Mín	Max	Prom	Rango	Stdev	Varianza	Área (Has)	Porcentaje (%)
Nulo	0	0	0	0	0	0	750.70	2.63
Débil	0.0099	0.0099	0.0099	0	0	0	1398.66	4.90
Medio	0.02830	0.02862	0.02843	0.00031	0.00014	1.7408	25,712.5	90.09
Fuerte	0.03779	0.07100	0.04944	0.07100	0.0377	0.03779	692.07	2.43

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 5.

Mapa de erodabilidad del suelo en el Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

4.2.3 Determinación del factor topográfico (LS)

El factor topográfico o de longitud y gradiente de la pendiente se determinó por medio del Modelo de Elevación Digital (DEM) descargado de la plataforma "Sigtierras", posterior se procesó con el Software de geoprocresamiento "QGIS" se utilizó el algoritmo de Python para la determinación de los valores, dio como resultado valores de 0 hasta 115.85 lo que indicó que la topografía del Parque Nacional El Cajas influye de forma significativa en el proceso de erosión dado a que es un área montañosa.

El Factor LS (Longitud y Pendiente) permitió analizar la susceptibilidad a la erosión hídrica en el Parque Nacional El Cajas, ya que combinó la influencia de la longitud de las laderas y la inclinación de las pendientes, se clasificó el territorio del parque en seis categorías: desde áreas con pendientes nulas, que carecen de inclinación significativa como cuerpos de agua, hasta pendientes escarpadas, caracterizadas por su alta inclinación y mayor potencial erosivo. La categoría más

predominante es fuerte, que abarca el 42.30% del área total con 12453.54 has con valores de 10 a 25 en unidades adimensionales, seguida de las pendientes muy fuertes con el 20.83% y las pendientes medias con 12.91%, las áreas con pendientes planas y suaves representan una menor proporción, se denotó la marcada heterogeneidad topográfica del parque.

Tabla 18.

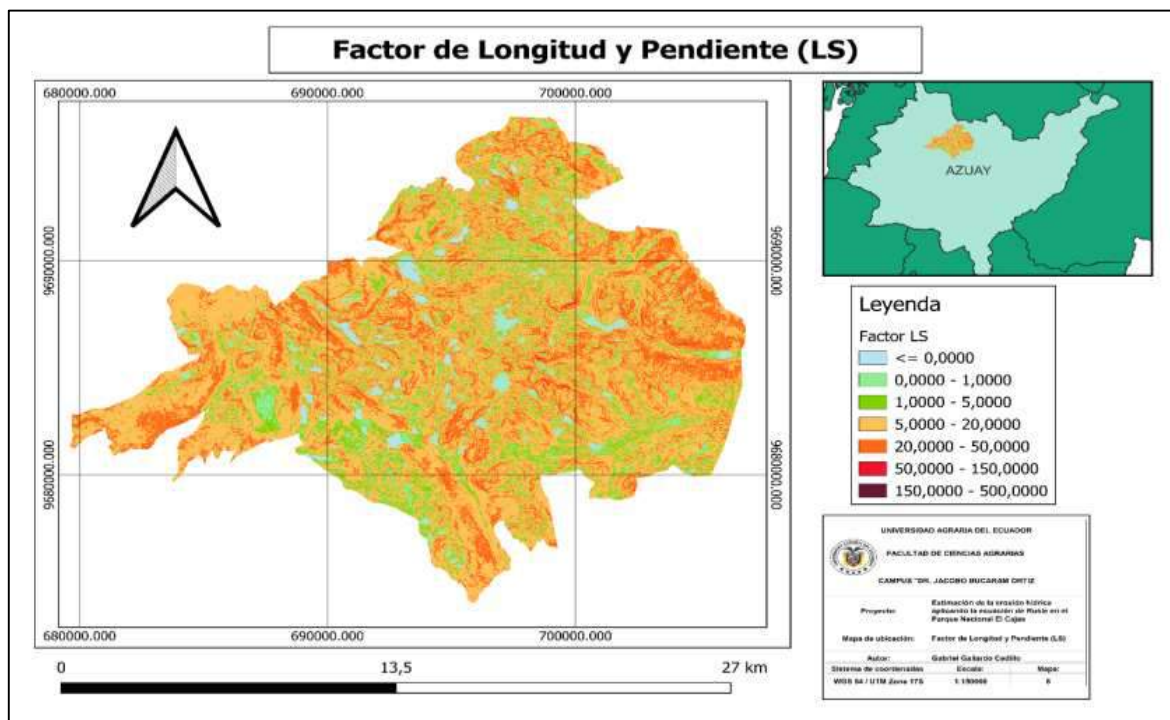
Clasificación y distribución del mapa de Longitud y Pendiente o Factor (LS).

Clasificación	Min	Max	Prom	Rango	Stdev	Área (Has)	Porcentaje (%)
Nulo	0	0	0	0	0	687.59	2.41%
Plana	0.000225	0.999998	0.40	0.9997	0.31	1380.46	4.84%
Suave	1.000001	4.99	2.90	3.99	1.15	3504.57	12.29%
Media	5	10	7.39	5	1.44	3681.62	12.91%
Fuerte	10	25	16.28	15	6.28	12453.54	42.30%
Muy fuerte	25	50	35.28	25	5.91	6128.25	20.83%
Escarpado	50.00002	115.85	60.028	65.84	10.20	1296.96	4.40%

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 6.

Mapa del factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS) en el Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

4.2.4 Determinación del factor de cobertura (C) y prácticas de conservación (P)

Se determinó los valores del factor de cobertura y uso de suelo por medio de las tablas 8 y 9, las cuales asignan valores a las distintas coberturas obtenidas de Google Earth Engine (GEE) del Parque Nacional El Cajas.

El factor C actuó como una cobertura que protege el suelo ante la amenaza de la erosión hídrica y reduce de forma considerable este proceso, la cobertura que más influye es pastizales con un 84.08% y se le asignó un valor de 0.02, y la cobertura que más reduce el proceso de erosión hídrica fue humedales herbáceos, musgos y líquenes con un valor de 0.001, sin embargo, su área es muy limitada, se destacó que las áreas con vegetación escasa no protegen al suelo de la degradación por erosión hídrica.

El Factor de Prácticas de conservación (P) fue añadido a esta capa dado a que su valor fue 1 ya que al ser un área protegida las prácticas de conservación artificiales no se pueden ejecutar, y las prácticas naturales no influyen de forma significativa.

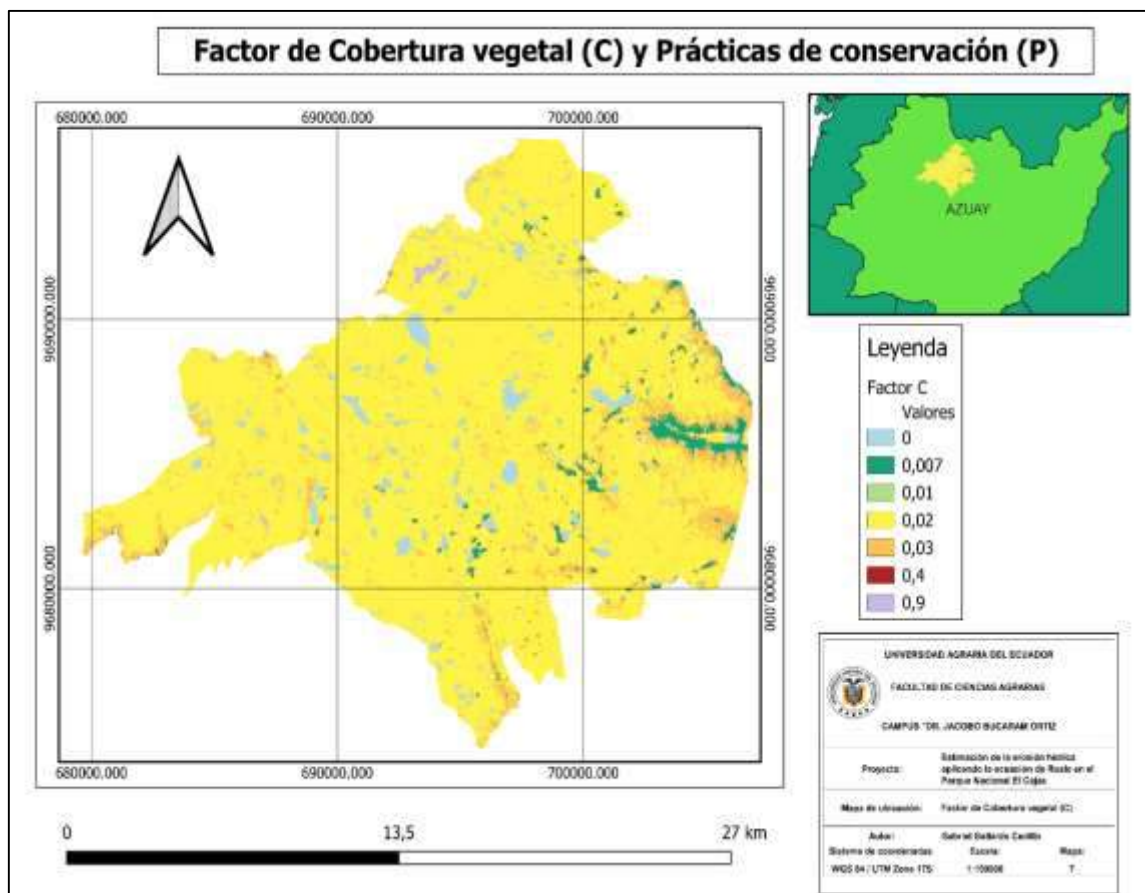
Tabla 19.
Factor de coberturas y uso del suelo (C) del Parque Nacional El Cajas.

Cobertura	Hectáreas	Porcentaje (%)	Factor C
Pastizales	23999.80	84.08	0.02
Matorral	2386.28	8.36	0.03
Cuerpos de agua	927.68	3.25	0.00
Cobertura arbórea	639.39	2.24	0.007
Vegetación escasa	459.56	1.61	0.9
Humedales herbáceos	91.34	0.32	0.001
Áreas urbanizadas	39.96	0.14	0.00
Tierras con cultivo	0.29	0.001	0.4
Musgo y líquenes	0.29	0.001	0.001
Total	28544	100	

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 7.

Mapa del factor de cobertura y uso del suelo (C) en el Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

4.2.5 Determinación de la erosión hídrica potencial del Parque Nacional El Cajas

La erosión hídrica potencial (A_{max}) es el índice potencial que puede tener la erosión hídrica en una zona y se expresa en Tn/ha/año, se calculó por medio de los factores: erosividad por lluvias (R) que se catalogó como alta dado a intensidad de las precipitaciones de la zona, factor de erodabilidad del suelo (K) que en su mayoría son suelo erosionables de forma moderada, y factor de longitud y pendiente (LS) que presentó pendientes fuertes y muy fuertes llegando hasta pendientes escarpadas, estos factores presentaron valores altos que indicó que el área de estudio es muy susceptible a erosión hídrica, en este factor no intervino la cobertura vegetal.

El mapa de erosión hídrica potencial en el Parque Nacional El Cajas, clasificada en siete categorías. La categoría "Nula" que en su mayoría son cuerpos de agua, los valores de erosión son inexistentes. La clase "Muy baja" tuvo valores mínimos de 0.00003 y un máximo de 9.99, representando el 13.09% del área total con 3736.75 hectáreas, seguido de la clase "Baja" presenta un rango de erosión entre 10 y 14.99, cubrió el 14.04% del área siendo 4006.73 hectáreas, y la categoría "Moderada" registró valores de 25 a 24.99 y abarcó el 22.74% del territorio con 6491.95 hectáreas. En la clase "Alta", los valores oscilan entre 50 y 99.99, ocupó la mayor proporción del área con el 39.29% con un total de 11216.10 hectáreas. Por otro lado, la categoría "Muy alta" muestra un rango de 100 a 199.99 y representa el 7.88% del área con 2249.22 hectáreas. Finalmente, la clase "Extrema" tuvo los valores más altos, entre 200 y 598.17, pero ocupó solo el 0.36% del área con 103.62 hectáreas, estos valores están expresados en toneladas/hectareas/Año.

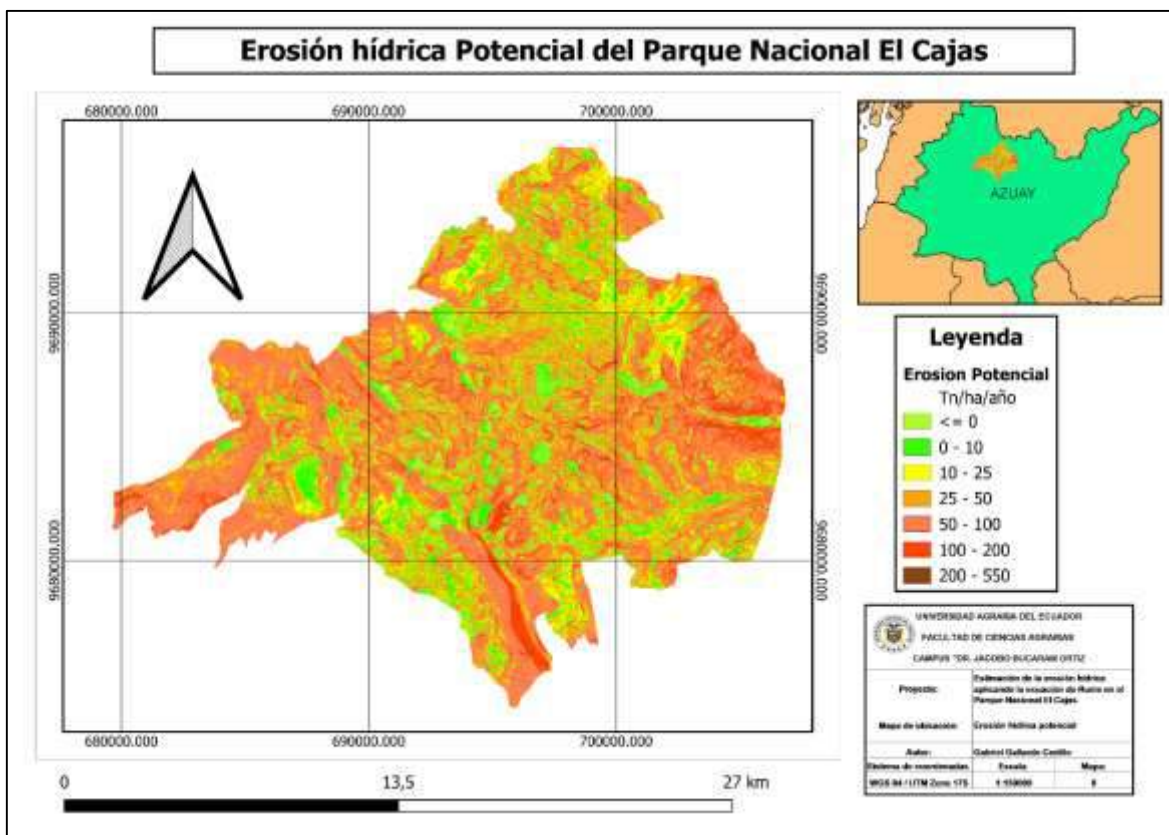
Tabla 20.

Clasificación y distribución del mapa de erosión hídrica potencial.

Clasificación	Min	Max	Prom (Tn/ha/año)	Rango	Stdev	Área (Has)	Porcentaje (%)
Nula	0	0	0	0	0	739.62	2.59
Muy baja	0.00003	9.9999	4.08	9.99	3.02	3,736.7	13.09
Baja	10.0000	14.9999	17.40	4.99	4.27	4,006.7	14.04
Moderada	25	24.9999	19.09	24.99	7.45	6,491.9	22.74
Alta	50	99.9999	69.68	49.99	13.05	11,216.	39.29
Muy alta	100	199.9997	126.38	99.99	22.81	2,249.22	7.88
Extrema	200.000	531.2629	242.58	331.26	48.06	103.62	0.36

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 8.

Mapa de erosión hídrica potencial en el Parque Nacional El Cajas.

Elaborado por: El Autor, 2025

4.2.6 Determinación de la pérdida anual de suelo por erosión hídrica en el Parque Nacional El Cajas

La erosión hídrica anual o actual se expresó en toneladas/hectáreas/Año, fue el resultado de la ecuación RUSLE en el Parque Nacional El Cajas, se procesó con la herramienta "Calculadora ráster" de software QGIS.

El mapa de erosión hídrica actual en el Parque Nacional El Cajas, evidenció una variación de los valores de erosión medidos en toneladas por hectárea por año (Tn/ha/año). Los resultados muestran que la erosión hídrica clasificada como "Muy baja" ocupa la mayor extensión del área, representó un 86.59% que fue de 24715.21 ha del total. En esta categoría, los valores de erosión varían entre un mínimo de 0 Tn/ha/año y un máximo de 4.99 Tn/ha/año, con un promedio de 1.07 Tn/ha/año y una desviación estándar de 0.77 Tn/ha/año. Esto indica que estas áreas poseen una buena cobertura vegetal, principalmente compuesta por pastizales, que contribuyen a la protección del suelo frente a procesos erosivos.

La clase "Nula" abarca un 3.48% (993.58 ha) del área en su mayoría son cuerpos de agua, caracterizada por valores constantes de 0 Tn/ha/año, lo que sugiere zonas sin erosión aparente. Le sigue la categoría "Baja", con un 3.81% del área (1087.29 ha), donde los valores de erosión oscilan entre 5.00 Tn/ha/año y 14.99 Tn/ha/año, con un promedio de 7.93 Tn/ha/año.

En las categorías superiores, como "Moderada" ocupó el 0.21% con 59.51 ha y "Alta" con el 0.22% y una extensión de 62.68 ha, los valores de erosión aumentan, alcanzó rangos de 14.99 Tn/ha/año y 19.99 Tn/ha/año. Estas áreas presentan una mayor pendiente y erosividad por lluvia altos, lo que incrementa su susceptibilidad a la erosión.

Por último, las categorías "Muy alta" y "Extrema" ocupan proporciones mucho menores, con un 5.62% fue de 1604.05 ha y un 0.08% representó 21.68 ha. En la clase "Extrema", los valores máximos de erosión alcanzan 284.855 Tn/ha/año, con un rango de 184.855 Tn/ha/año y una desviación estándar de 25.04 Tn/ha/año, indicó áreas con vegetación escasa o suelos expuestos, con erodabilidad alta, pendiente muy inclinadas y lluvias muy fuertes propias del sector.

Tabla 21.

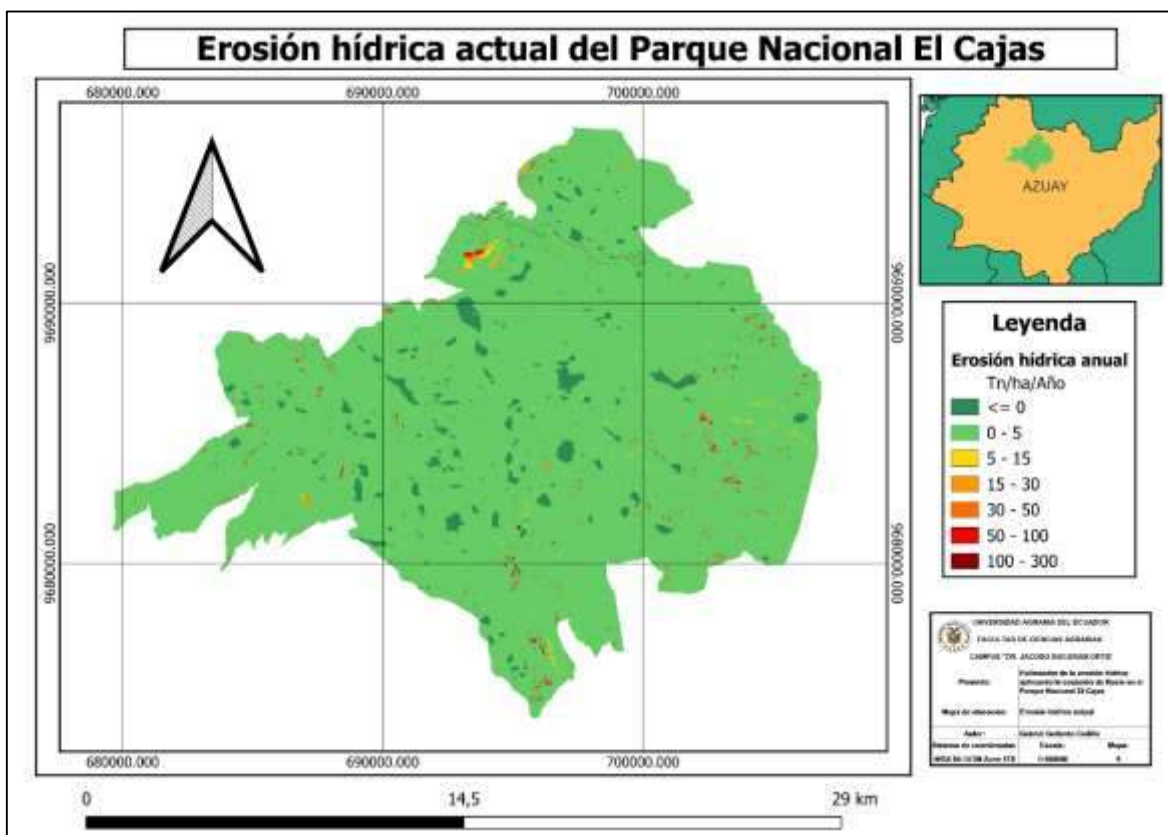
Clasificación y distribución del mapa de erosión hídrica actual.

Clasificación	Min	Max	Prom (Tn/ha/año)	Rango	Stdev	Área (Has)	Porcentaje (%)
Nula	0	0	0	0	0	993.58	3.48
Muy baja	0	4.999984	1.07	4.99	0.77	24715.21	86.59
Baja	5.000015	14.99998	7.93	9.99	3.09	1087.29	3.81
Moderada	15.00002	29.99995	21.11	14.99	3.19	59.51	0.21
Alta	30.00014	49.99987	41.71	19.99	5.43	62.68	0.22
Muy alta	50.00013	99.99993	67.24	49.99	11.58	1604.05	5.62
Extrema	100.0014	284.855	127.47	184.85	25.04	21.68	0.08

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 9.

Mapa de erosión hídrica actual o anual en el Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

4.3 Plan de manejo del suelo para la reducción del impacto de la erosión hídrica.

4.3.1 Diagnóstico

En el Parque Nacional El Cajas se encuentran las cuencas hidrográficas de los ríos Tomebamba, Yanuncay, Paute y Cañar, a su vez, las microcuencas de las lagunas de Toreadora, Llaviuco, Luspa y Taitachungo, por ello es considerado como un gran reservorio natural de agua, lo que ha generado que se convierta en un espacio protegido para que se mantenga el ecosistema andino, sin embargo, las condiciones naturales que existe producen que sea susceptible al proceso de erosión hídrica, debido a las fuertes y prolongadas precipitaciones que se producen en las épocas lluviosas, con una marcada heterogeneidad topográfica dado se sitúa en una zona montañosa, y suelos que son medianos en erosionabilidad.

Tabla 22.

Aspectos biofísicos del Parque Nacional El Cajas.

Aspectos	Biofísico
Hydrografía	Dentro del Parque Nacional El Cajas destacan las cuencas de los ríos Tomebamba, Yanuncay, Paute y Cañar, y microcuencas como de las lagunas de Toreadora, Llaviuco, Luspa y Taitachungo, se considera como un gran reservorio por la capacidad de captar agua y proveer a dichos ríos y lagunas.
Clima	El clima del sector es templado, en general tiene precipitaciones anuales que van desde 881.47 mm hasta 1465.88 mm, característico de la región Andina.
Uso y cobertura del suelo	Entre las coberturas que más se destacan son los pastizales y matorrales que ocupan más del 90% del área.
Ecosistemas estratégicos	Dado a las condiciones del área se forman con facilidad humedales y numerosos cuerpos de agua los cuales favorecen a la flora y fauna del parque, también, a aves migratorias por lo cual se considera como santuario RAMSAR.

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 23.

Aspectos socioeconómicos del Parque Nacional El Cajas.

Aspectos	Socioeconómicos
Paisajismo	El Parque Nacional El Cajas posee inigualables paisajes gracias a sus cuerpos de aguas, exuberante vegetación y es un espacio natural muy apreciado que atrae a turista, lo cual genera una fuente de ingreso a los ciudadanos locales del sector.
Criadero de truchas	Las truchas forman parte importante de la gastronomía del sector, pero, es contraproducente dado que contamina las fuentes de aguas naturales.
Pesca deportiva	Actividad muy practicada pero sin el debido cuidado puede generar un impacto natural a los cuerpos de aguas del sector.

Elaborado por: El Autor, 2025

4.3.2 Análisis de la situación del área

Por medio de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE) se estimó que el 86.59% que representa una superficie de 24715.21 has, tiene un promedio de pérdida de suelo anual de 1.07 Tn/ha/año, debido a que posee una buena cobertura vegetal que consiste en pastizales, matorrales, coberturas arbóreas, humedales herbáceos, musgos y líquenes, que reducen de forma considerable el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo, en sitios más donde la tasa de pérdida de suelo es extrema con un promedio de 127.47 Tn/ha/año, se debe a la vegetación escasa, pendientes muy inclinadas y fuertes lluvias.

4.3.3 Problemas del área de estudio

A base del análisis realizado se define que lo que causa una gran variabilidad del efecto erosión hídrica en el área de estudio es la cobertura vegetal, dado a que su economía está influenciada por las actividades turísticas originan problemas como la contaminación de espacios con vegetación seca que causan incendios forestales o reducción de la cobertura vegetal y a su vez, pérdida de la capacidad de la regeneración de flora nativa, también, actividades relacionadas a la acuicultura y pesca deportiva, que sin la debida regulación y en exceso producen contaminación de los cuerpos de agua de importancia.

Figura 10.

Análisis de problemática en el Parque Nacional el Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

4.3.4 Planificación

Por medio del sistema de información geográfica se logró la zonificación de las áreas más susceptibles al proceso de erosión hídrica, permitió generar estrategias para las zonas con mayor pérdida de suelo, de esta manera distribuir de forma eficiente las actividades acordes a la necesidad para mitigar efectos negativos teniendo en cuenta que un área protegida y no se puede realizar prácticas de conservación artificiales, por medio del siguiente programa de manejo de cobertura vegetal:

Tabla 24.

Programa de manejo de coberturas de suelo.

Actividades	Alcance y/o propósito
Capacitaciones	Las capacitaciones tienen el fin de despertar la conciencia ambiental de las personas, esta actividad se debe efectuar para áreas que tengan una pérdida de suelo de 0 - 15 Tn/ha/año, dado a que su finalidad es dar a conocer ideas para el mantenimiento de las coberturas vegetales existentes en El Parque Nacional El Cajas.
Reforestación nativa	En áreas donde la erosión hídrica es de 15 – 30 Tn/ha/año, se debe de recuperar con la reforestación nativas para la conservación del ecosistema andino, el alcance de esta actividad es la rehabilitación de zonas degradadas, complementado con monitoreas constantes.
Protección de zonas estratégicas	Cuando existe una erosión hídrica alta de 30 – 100 Tn/ha/año, es utilizar los humedales naturales como barreras para controlar el escurrimiento superficial y mitigar la erosión en las zonas susceptibles, por ultimo restringir el acceso humano y ganadero para reducir el impacto sobre los suelos vulnerables.
Regulación de Actividades	Para minimizar el impacto humano, se establece normativas para diversas actividades. La investigación científica requiere aprobación previa y entrega de resultados a la administración. Los turistas deben registrarse y pagar tarifas por servicios como ingreso y filmaciones comerciales. El uso de recursos naturales

Actividades	Alcance y/o propósito
	está regulado para la conservación, prohibiéndose la ganadería, cuyos animales decomisados se donan a instituciones de beneficencia.

Elaborado por: El Autor, 2025

5. DISCUSIÓN

Se confirma que en Ecuador en específico el Parque Nacional El Cajas, se puede aplicar esta metodología debido a que existen instituciones como INAMHI, MAG, Sigtierras que disponen de datos sobre precipitaciones, clases texturales de suelos, topográficos y cobertura vegetal necesarios para la estimación de la erosión hídrica, sin embargo, la precisión de la estimación puede ser afectada por datos incompletos o muy antiguos, De acuerdo con Phinzi y Ngetar (2019), menciona que la metodología RUSLE se utiliza en diversos países como Brasil, India, Jordania, Etiopía, Italia, entre otros.

La información obtenida acerca de las características del Parque Nacional El Cajas determina que es un área montañosa con elevaciones de 3139.81 hasta 4451.67 msnm, y principalmente pendientes fuertes, muy fuertes e incluso terrenos escapados, sumado a las fuertes precipitaciones anuales, indica que tiene una erosión hídrica muy alta de 100 hasta 284.85 Tn/ha/año pero en áreas minúsculas que ocupan el 0.08% del área total, de acuerdo a Vanacker et al. (2020), dichas áreas son propensas a deslizamientos de suelo ante la presencia de lluvias intensas.

La estimación realizada en el Parque Nacional El Cajas la erosión actual tiene un promedio de 1.07 Tn/ha/año debido a las excelente cobertura vegetal dado a que es un área protegida solo el 0.08% del área presenta tasas críticas, en comparación a la investigación realizada por Gamboa (2023) demuestra que los factores de erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), pendiente y longitud del terreno (LS) determinan la erosión hídrica potencial de la cuenca del río Tumbes que es de >200 Tn/ha/año, sin embargo estos valores se reducen gracias a la cobertura vegetal y se originó una pérdida de suelo de <5 Tn/ha/año y solo 0.25% enfrenta tasas críticas.

En la estimación realizada en el Parque Nacional El Cajas se concluye que las coberturas vegetales como pastizales, matorrales y bosques reducen de forma notable el proceso de erosión y existe una pérdida de suelo de 0 a 5 Tn/ha/año. Se está de acuerdo que, si en el futuro la temperatura se eleva y existen menor precipitación, el índice Modificado de Fournier que estima la erosividad por lluvias también disminuirá, en comparación con Echavarría et al. (2020), determina que los suelos con capa superficial poco profunda como pastizales existe una pérdida

de suelo de 16.3 t/ha, mientras que en matorrales y bosque van desde 50.74 hasta 65.99 Tn/ha/año.

La investigación evidencia que las áreas con mayor pérdida de suelo por erosión hídrica ocurre donde la vegetación es escasa en el Parque Nacional El Cajas, de acuerdo al análisis efectuado por Torres et al. (2020) en la cuenca del Cañón Sumidero en Chiapas, indica que factores como la deforestación y eliminación de cobertura vegetal permite que la agresividad del impacto de las precipitaciones con el suelo desprende partículas, y acelera el proceso de la erosión hídrica.

Los valores del Parque Nacional El Cajas fluctúa entre 0 a 284.85 Tn/ha/año debido a que no es un área utilizada para la explotación agrícola siendo de carácter conservacionista y protector del ecosistema andino, a diferencia, del estudio de Casanova et al. (2024), realizado en seis cuencas hidrográficas de la provincia de Manabí, las pérdidas de suelo anuales oscilaban entre 0.10 Tn/ha/año y 3252.22 Tn/ha/año dado que estas áreas tienen condiciones ambientales menos favorables para el proceso de erosión hídrica, pero se diversifica su uso de suelo para el sector agrícola lo cual agrava este fenómeno natural.

La utilización de los sistemas de información geográfica (SIG) y la metodología RUSLE fueron útiles para el mapeo y modelación de la erosión hídrica dado que permite zonificar las áreas con mayor tasa de erosión de esta forma se generó un plan de manejo y acciones que permita mitigar el proceso degradativo del suelo, de acuerdo a Somoza y Vazquez (2023), la zonificación permite la implementación de estrategias de conservación del suelo, además, enfocar el conocimiento permite examinar de forma adecuada los procesos del suelo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

En conclusión, El Parque Nacional El Cajas tiene un promedio de pérdida de suelo del 1.07 Tn/ha/año en el 86.59% de su territorio con 24715.21 has, lo que significa que el principal factor que interviene es la cobertura vegetal las cuales reducen de forma significativa el impacto de las precipitaciones y evita el desprendimiento de las partículas de suelo.

Por medio de la caracterización de las precipitaciones que van de 881.47 mm hasta 1465.88 mm, elevaciones de hasta 4451.67 msnm y suelos moderadamente erosionables, lo cual indica que es un área susceptible al proceso de erosión hídrica, sin embargo, posee coberturas vegetales que amortiguan el impacto de las lluvias y protege el suelo, entre estas coberturas las que destaca es pastizales ya que ocupa el 88% del área de estudio, a su vez, coberturas arbóreas, humedales herbáceos, musgos y líquenes tienen una gran capacidad de protección del suelo pero poseen áreas limitadas.

Las áreas con erosión "Muy baja" predominan debido a la presencia de pastizales que estabilizan el suelo tales como *Calamagrostis intermedia*, *Festuca dolichophylla* y *Stipa ichu* reducen de forma considerable el efecto de erosión hídrica, mientras que las zonas con erosión "Extrema" coinciden con áreas donde la vegetación es insuficiente, deja el suelo vulnerable a los agentes erosivos, La determinación de la erosión hídrica actual permite resaltar la importancia de una buena cobertura vegetal que proteja el suelo y reduzca el impacto de las precipitaciones, se compara que las áreas con cobertura de pastizales la erosión hídrica tenga valores de 0 a 5 Tn/ha/año, mientras que con vegetación escasa con 1.61% del territorio presenta tasas severas de pérdida de suelo con valores de 15 hasta 99.99 Tn/ha/año.

Se destaca que los planes de mitigación se enfocan en la conservación y mantenimiento de la cobertura vegetal, para la concientización ambiental tanto de personas residentes del lugar y a su vez, turista que pueden contaminar el área con materiales que dan lugar a incendios forestales en temporada seca o de sequía, dado que esto limita las áreas con buena vegetación y agrava el proceso de erosión hídrica

De acuerdo a los resultados se rechaza la hipótesis de investigación dado a que la estimación de pérdida de suelo por RUSLE es de 0 a 5 Tn/ha/año en el

86.56% del territorio del Parque Nacional El Cajas, gracias a la cobertura vegetal existente que es pastizales protege de forma considerable los suelos, sin embargo, es un área que tiene las condiciones climáticas, topográficas y edáficas que agravan el proceso de erosión hídrica.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda la utilización de los datos lo más actuales posible de instituciones certificadas para la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE) para que la estimación de la erosión hídrica tenga una mayor precisión, y sea acorde a la situación actual de lugar evaluado, y de esta forma obtener resultados más concisos y certeros.

Se debe realizar la zonificación de la erosión hídrica por medio de sistema de información geográfica (SIG) para generar estrategias eficaces en áreas que presentan una mayor tasa de susceptibilidad y pérdida de suelo, de esta manera se gestionan las acciones a realizar dependiendo del área a tratar.

Como recomendación, se plantea que es importante proteger las áreas con vegetación nativa ya que estas permiten el equilibrio del ecosistema, de esta forma se previene la contaminación de los cuerpos de agua de importancia, y se evita que se presenten factores negativos como la contaminación por sedimentación y afectación de estructuras naturales.

Considerar las políticas locales del Parque Nacional El Cajas que solicitan permisos previos para investigaciones, prohíben actividades de construcción para evitar la degradación del ecosistema y proteger las fuentes hídricas que abastecen a la ciudad de Cuenca, y toda actividad ganadera que afecta la cobertura vegetal existente.

Para la reforestación en áreas con vegetación escasa, se debe utilizar especies nativas como *Calamagrostis intermedia*, *Festuca dolichophylla* y *Stipa ichu*, entre otras, dado que está prohibida la introducción de especies no endémicas del sector, ya que genera una alteración del ecosistema del Parque Nacional El Cajas.

Complementar el plan de manejo de cobertura con un monitoreo anual de la zona con imágenes satelitales, con la finalidad de corroborar que la vegetación esté en excelente estado, de esta forma se asegura que la tasa de erosión hídrica se reduzca de forma considerable.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, V. (2021). Factores que inciden en la erosión hídrica. *Ciencia y Práctica*, 1(2). <https://doi.org/10.52109/cyp2021217>
- Alvarez, A. (2020). Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013 y 2017. *Tayacaja*, 3(2). <https://doi.org/10.46908/riect.v3i2.97>
- Aramayo, V., Nosetto, M., y Cremona, M. V. (2024). Análisis de la susceptibilidad a la erosión hídrica en una cuenca de la Patagonia árida bajo distintos escenarios. *Investigaciones Geográficas*, 81, 181–199. <https://doi.org/10.14198/ingeo.25246>
- Arias, P., Saz, M. A., y Escolano, S. (2023). Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 79, 207. <https://doi.org/10.14198/ingeo.22390>
- Arízaga, V. C. (2018). Evaluación de los impactos de la industria de trucha arcoíris en la calidad del agua del río Quinuas, Parque Nacional El Cajas (Bachelor's thesis). *Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents*, 69. <http://dspace.ucuenca.edu.ec>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017, 12 de abril). *Código Orgánico del Ambiente*. Registro Oficial. N° T.4700-SGJ-17-0182 <https://www.lexis.com.ec/>
- Barral, M. (2017). *Tutorial for mapping ecosystem functions and ecosystem services*. 1(October), 1–42. <https://www.researchgate.net/>
- Bendaña, G. (2022). *Los suelos de Nicaragua* (1era Edici). <https://www.calameo.com/>
- Blanco, M. E. (2019). Erosión hídrica en la microcuenca del cauce 31 de diciembre, Nicaragua. *Nexo Revista Científica*, 32(02), 94–105. <https://doi.org/10.5377/nexo.v32i02.9261>
- Carrión, J. L., Zapata Abad, A. E., Rojas, J. M. L., y Odar, F. U. (2023). Aplicación del modelo RUSLE para calcular la erosión hídrica del suelo en la cuenca baja del río virú, región la libertad. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology*, 21. <https://doi.org/10.18687/laccei2023.1.1.1120>
- Casanova, G., Delgado, D., y Panchana, R. (2024). Estimación de volúmenes de sedimentos por erosión hídrica empleando el modelo RUSLE en cuencas de la provincia de Manabí, Ecuador. *Revista de Teledetección*, 63, 1–21.

- <https://doi.org/10.4995/raet.2024.20147>
- Cordero, H. (2022). *Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el Cálculo del Índice de Erosión Usando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE) en la Cuenca del Río de Oro del Municipio de Girón, Santander* [Tesis de Pregrado Universidad de Santander]. Repositorio institucional. <https://repositorio.udes.edu.co/>
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos [USDA]. (2014). *Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys* (U. S. G. P. Office (ed.); 2ª ed.). <https://www.nrcs.usda.gov/>
- Echavarría Cháirez, F., Medina García, G., y Ruiz Corral, J. A. (2020). Efecto en la erosión hídrica del suelo en pastizales y otros tipos de vegetación por cambios en el patrón de lluvias por el calentamiento global en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11, 63–74. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4694>
- Fournier, F. (1960). Climat et Erosion. In *Presses universitaires de France* (Vol. 92, Issue 2). <https://doi.org/10.1097/00010694-196108000-00029>
- Gamboa, A. O. (2023). *Estimación de la erosión hídrica aplicando la metodología RUSLE con técnicas de teledetección en la cuenca del río Tumbes 2000-2022* [Tesis de Pregrado Universidad Nacional de Tumbes]. Repositorio institucional. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/>
- García, P. (2021). *Sistema de Información Geográfica*. Geoinnova. <https://geoinnova.org/>
- Ghosal, K., y Das Bhattacharya, S. (2020). A Review of RUSLE Model. In *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* (Vol. 48, Issue 4, pp. 689–707). Springer. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-01097-0>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca. (2022). *Visita Técnica - Parque Nacional El Cajas*. <https://www.cuenca.gob.ec/>
- Google Earth Engine. (2021). *Tipo de Cobertura y uso de suelo, colección ESA worldCover 10m v100m*. <https://earthengine.google.com/>
- Gvozdenovich, J., Crettaza, E., y Saluzzio, M. (2016). *Calculo del factor R de la USLE a traves del indice modificado de Fournier*. June 2016, 9. <https://www.researchgate.net/>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2019). *Datos conmutados de estaciones meteorológicas del Ecuador*.

- <https://www.inamhi.gob.ec/>
- Kirkby, M. J., y Morgan, R. P. C. (1980). Soil erosion. In E. Limusa (Ed.), *Soil erosion*. Wiley; Landscape Systems Series for the British Geomorphological Research Group. <https://doi.org/10.1097/00010694-199210000-00010>
- Mantilla, T. S., y Alva, C. A. (2021). Impactos negativos de la erosión hídrica mediante el aporte de sedimentos en la cuenca alta del río moche, la libertad, 2020. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6), 12506–12531. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1267
- Mejía, K. (2018). Tipos de suelo en el Ecuador. *Scribd*, 1, 22–25. <https://doi.org/378885564>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2020). *Tipo de suelos del Ecuador*. <https://www.agricultura.gob.ec/>
- Ministerio del Ambiente. (2018). *Actualización del plan de manejo del Parque Nacional Cajas*. <https://www.ambiente.gob.ec/>
- Ministerio del Ambiente. (2019, 12 de junio). *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente*. Registro oficial. N°. 752 <https://site.inpc.gob.ec/>
- Muñoz, F. A., Rengifo Rengifo, I. Y., y Toro Trochez, O. A. (2022). Modelo USLE para estimar la erosión hídrica en siete municipios de la zona andina colombiana. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(2), 1–13. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n2.2022.1738>
- Navarrete, E., Morante Carballo, F., Dueñas Tovar, J., Carrión Mero, P., Jaya Montalvo, M., y Berrezueta, E. (2022). Assessment of Geosites within a Natural Protected Area: A Case Study of Cajas National Park. *Sustainability (Switzerland)*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/su14053120>
- Ochoa, F. (2023). *Campos de aplicación de los Sistemas de Información Geográfica*. <https://acolita.com/>
- Olaya, V. (2020). *El dato geográfico y su almacenamiento*. <https://volaya.github.io/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la C. y la C. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2024). *Agricultura de conservación - Cobertura vegetal del suelo*. <https://www.fao.org/>
- Organización de los Estados Americanos [OEA]. (2017). *Guía de suelos de América*

- Latina*. <https://www.oas.org/>
- Phinzi, K., y Ngetar, N. S. (2019). The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review. In *International Soil and Water Conservation Research* (Vol. 7, Issue 1, pp. 27–46). International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation and China Water and Power Press. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.12.002>
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., y Yoder, D. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). In *Agricultural Handbook No. 703*.
- Robles, M. E. (2019). *Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica mediante el modelo RUSLE del Río Valdivia, provincia de Santa Elena* [Tesis de Pregrado Universidad Agraria Del Ecuador]. Repositorio institucional. <https://cia.uagraria.edu.ec/>
- Sakhraoui, F., y Hasbaia, M. (2023). Evaluation of the sensitivity of the RUSLE erosion model to rainfall erosivity: a case study of the Ksob watershed in central Algeria. *Water Supply*, 23(8), 3262–3284. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.182>
- Sanchez, J. (2022). Precipitaciones Concepto. Tipos. *Hidrología Superficial Y Subterránea*, 440. <http://hidrologia.usal.es.xn--pg-mia.1>
- Sequeira, N. D., y Vazquez, P. (2021). Impacto de la erosión hídrica sobre la rentabilidad de los productores agrícolas en el partido de Tres Arroyos, Región Pampeana Austral, Argentina. *Revista Geográfica de América Central*, 1(68). <https://doi.org/10.15359/rgac.68-1.14>
- Sergieieva, K. (2022). *Mapa SIG: Tipos De Mapas Interactivos Y Aplicaciones*. EOS Data Analytics. <https://eos.com/>
- Somoza, A., y Vazquez, P. S. (2023). Erosión hídrica e intensificación agrícola considerando unidades ambientales. El caso de Tandil, Región Pampeana Argentina. *Cuadernos Geográficos*, 62(1). <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v62i1.24561>
- Szabó, G., Singh, S. K., y Szabó, S. (2015). Slope angle and aspect as influencing factors on the accuracy of the SRTM and the ASTER GDEM databases. *Physics and Chemistry of the Earth*, 83–84. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.06.003>
- Torres, E., Cortes Becerra, J., Uresti Gil, J., Torres Cedillo, L., y Rivera Torres, P. S. (2020). Predicción de la erosión hídrica en la cuenca del Cañón del

- Sumidero, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1903–1915. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2747>
- Universidad Internacional de Riego. (2019). *La textura en los suelos agrícolas*. <https://www.universidadderiego.com/>
- Vallejo, J., y Rodríguez, J. C. (2022). Áreas naturales protegidas y cogestión: aspectos críticos en el Parque Nacional Cofre de Perote (Veracruz, México). *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 31, 25–41. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.31.2022.5059>
- Vanacker, V., Guns, M., Clapuyt, F., Balthazar, V., Tenorio, G., y Molina, A. (2020). Distribución espacio-temporal de los deslizamientos y erosión hídrica en una cuenca Andina tropical. *Pirineos*, 175, 051. <https://doi.org/10.3989/pirineos.2020.175001>
- Vélez, R. A. (2020). *Aplicación de la ecuación universal (RUSLE) a un sistema de información geográfica que permita diagnosticar la pérdida de suelos* [Tesis de Pregrado Universidad Agraria Del Ecuador]. Repositorio institucional. <https://cia.uagraria.edu.ec/>
- Wischmeier, W., y Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. In *U.S. Department of Agriculture Handbook No. 537*. US Department of Agriculture. <https://doi.org/10.1029/TR039i002p00285>

ANEXOS

Figura 11.

Registro de precipitaciones de la estación meteorológica M0417 – Piscícola Chirimichay (1996 - 2015).

Registro de precipitaciones de la estación meteorológica Piscícola Chirimichay M0417 1996 - 2015													
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulada
1996	95,00	179,80	305,90	134,80	212,00	147,90	145,30	103,30	97,60	153,50	57,90	1,50	1434,80
1997	123,20	131,80	383,20	215,80	235,20	83,00	375,90	93,70	105,90	118,80	427,80	113,40	2183,20
1998	99,50	146,90	197,70	159,90	300,20	216,50	338,80	129,70	21,40	352,90	115,70	81,80	2160,00
1999	269,90	301,00	423,60	496,30	262,20	146,50	130,70	71,48	192,70	141,20	40,50	169,90	2661,98
2000	105,36	118,65	361,33	182,45	149,81	115,31	120,70	71,48	74,38	125,08	116,60	54,90	1446,09
2001	105,36	118,65	361,33	182,45	149,81	115,31	120,70	71,48	129,80	44,30	124,90	145,60	1478,78
2002	81,00	71,50	117,20	107,40	118,10	82,70	72,50	47,30	22,30	128,40	97,40	52,80	996,40
2003	33,90	68,30	91,80	183,10	156,60	99,70	81,40	71,48	59,80	63,50	151,10	77,30	1109,18
2004	39,20	83,40	98,70	114,70	145,20	112,90	70,90	45,90	115,70	74,00	100,40	121,60	1129,10
2005	72,70	100,50	211,00	118,30	99,50	106,10	48,10	40,80	29,50	107,40	60,60	196,50	1160,00
2006	102,50	129,60	176,40	171,20	76,90	94,00	41,90	62,60	53,50	55,60	178,80	135,20	1278,20
2007	85,10	42,10	351,50	111,80	110,10	210,30	18,10	97,40	51,90	119,50	140,40	78,50	1355,70
2008	38,10	216,20	396,46	167,90	190,40	94,70	85,60	100,40	87,30	187,80	92,20	40,60	1996,60
2009	187,70	88,20	303,80	138,20	96,00	83,70	190,60	44,40	31,80	98,70	115,90	114,20	1121,80
2010	105,36	118,65	361,33	182,45	149,81	115,31	120,70	71,48	74,38	125,08	49,90	106,00	1390,45
2011	62,30	145,90	34,00	105,20	87,80	115,31	120,70	71,48	74,38	125,08	95,70	187,40	1315,20
2012	118,40	103,40	127,70	182,45	148,81	115,31	120,70	48,80	47,30	125,90	107,10	50,30	1423,20
2013	123,10	138,40	195,46	69,70	154,20	92,70	112,80	60,10	43,80	109,60	45,20	51,20	1236,20
2014	87,40	68,80	290,90	139,40	182,40	99,50	75,50	86,60	99,90	180,10	88,30	88,30	1322,70
2015	137,10	57,30	361,33	182,45	149,81	115,31	120,70	71,48	74,38	125,08	118,95	102,81	1418,69
Promedio mensual	108,69	132,41	301,33	182,45	149,81	115,31	120,70	71,48	74,38	125,08	118,99	102,81	1458,38

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 12.

Registro de precipitaciones de la estación meteorológica M0426 - Ricaurte (1999 - 2018).

Registro de precipitaciones de la estación meteorológica Ricaurte - Cuenca M0426 1999 - 2018													
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulada
1999	121,20	157,40	167,40	167,80	184,50	68,80	25,10	23,80	82,20	51,60	67,90	129,40	1248,10
2000	35,40	159,20	187,30	183,30	196,90	86,30	10,80	25,50	174,40	19,60	28,30	131,30	1167,30
2001	74,20	54,50	138,00	78,56	57,20	31,30	14,60	15,80	27,50	24,20	59,60	79,20	658,70
2002	28,50	25,70	69,10	111,80	96,20	28,40	25,30	23,75	13,30	180,60	119,70	80,40	802,53
2003	45,30	58,10	86,30	115,80	53,40	36,70	25,10	36,70	48,60	81,30	153,50	198,90	848,70
2004	37,90	118,30	67,80	129,10	73,30	21,20	21,50	5,70	105,90	45,80	363,30	135,70	943,30
2005	82,10	65,90	231,90	120,70	81,70	99,00	11,70	6,50	1,30	105,80	41,40	234,30	1096,20
2006	34,20	79,50	179,50	134,00	41,20	39,00	7,00	24,80	20,70	51,00	83,50	151,30	882,50
2007	41,30	82,80	139,30	188,20	43,00	89,00	8,20	38,20	20,80	56,80	207,10	76,60	843,10
2008	89,30	177,20	95,50	188,70	134,30	42,30	81,30	50,80	48,10	110,30	132,20	63,90	1170,00
2009	85,40	40,50	115,60	162,80	63,40	53,70	13,40	8,30	24,70	41,00	72,30	62,80	744,10
2010	29,30	112,60	69,40	112,10	84,20	107,10	99,70	20,60	40,70	16,20	138,30	161,20	987,40
2011	47,70	219,10	122,60	113,60	61,90	61,20	75,70	22,20	53,40	69,60	153,50	146,90	1345,40
2012	63,75	157,00	115,70	118,70	41,10	60,30	31,00	12,90	22,10	110,20	75,70	50,20	859,49
2013	68,10	80,30	98,60	34,40	161,30	34,90	41,20	74,60	16,00	177,60	45,30	44,90	878,90
2014	69,70	41,30	132,50	135,21	150,30	37,30	90,00	14,00	25,90	137,60	85,50	131,00	989,51
2015	89,30	7,00	170,10	92,60	28,70	39,40	25,40	7,70	4,00	82,80	61,30	20,90	625,30
2016	126,80	27,90	187,00	172,90	109,80	99,70	13,00	18,50	85,00	105,80	52,80	158,50	1111,70
2017	80,10	89,80	348,10	137,00	117,90	90,50	15,90	27,10	24,60	68,50	52,00	179,70	1231,00
2018	83,90	54,90	34,40	108,40	88,30	31,80	8,30	12,80	25,60	61,40	205,60	54,00	805,20
Promedio mensual	81,75	85,92	134,66	135,21	93,28	52,75	26,81	23,78	43,94	81,21	95,20	114,86	957,38

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 13.

Registro de precipitaciones de la estación meteorológica M0427 - Sayausi (1999 - 2018).

Registro de precipitaciones de la estación meteorológica Sayausi (Matadero D1) M0427 1999 - 2018													
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulada
1999	31,20	180,00	142,70	215,00	294,20	129,10	37,00	45,30	223,30	74,00	33,70	183,70	1457,30
2000	43,00	107,00	138,90	125,00	223,40	75,20	30,40	36,10	55,91	31,80	18,00	75,80	1056,91
2001	124,40	64,90	71,00	96,60	76,60	60,10	29,00	16,30	76,70	8,00	76,50	95,80	799,60
2002	45,40	45,70	121,50	158,90	189,10	50,40	77,70	14,10	14,70	140,20	126,20	94,70	998,60
2003	22,70	42,20	108,70	226,30	190,90	58,20	30,20	14,00	78,30	83,00	170,30	54,10	1020,80
2004	18,20	40,90	122,30	143,80	128,60	51,10	57,30	13,00	99,70	118,20	140,30	94,10	1021,00
2005	68,90	85,90	290,50	158,90	74,50	85,90	6,30	16,90	6,80	212,60	56,20	114,40	1246,80
2006	50,30	89,20	110,50	158,20	70,90	31,60	56,90	16,40	25,80	55,10	184,30	116,40	879,60
2007	59,80	42,10	136,90	234,40	98,20	148,80	20,80	51,90	38,50	178,40	125,60	101,80	1233,20
2008	98,70	131,30	181,40	205,80	184,20	33,00	35,80	74,00	67,30	147,00	99,60	54,20	1411,30
2009	150,80	74,70	107,80	142,00	117,60	97,20	25,70	9,50	11,20	36,10	81,00	95,50	998,30
2010	72,70	130,60	55,30	150,80	94,70	122,30	53,40	13,50	55,91	27,10	85,00	146,70	1132,21
2011	56,20	145,30	66,30	269,00	87,40	56,50	71,20	11,50	96,20	66,20	148,90	155,60	1254,10
2012	257,10	114,20	132,00	140,40	66,40	58,00	43,60	11,20	74,00	135,80	91,40	96,40	1221,50
2013	270,40	84,90	111,30	67,30	171,30	93,00	37,50	41,40	23,20	184,40	39,70	36,90	1236,70
2014	81,20	49,60	121,20	383,60	143,80	52,70	44,70	14,40	68,70	227,20	130,60	45,30	1233,10
2015	106,90	33,70	134,70	364,20	133,09	75,76	43,28	14,30	56,91	184,16	95,15	101,80	1461,14
2016	78,90	54,70	167,70	364,20	130,09	75,76	43,28	15,48	56,91	184,16	95,15	101,80	1099,13
2017	97,52	107,52	124,82	149,10	149,80	83,20	32,20	14,40	40,20	64,10	24,20	53,10	952,70
2018	97,52	107,52	124,82	135,90	141,20	75,76	43,28	15,48	56,91	184,16	95,15	101,80	1230,79
Promedio mensual	97,52	107,52	124,82	164,20	130,09	75,76	43,28	15,48	56,91	184,16	95,15	101,80	1227,08

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 14.

Registro de precipitaciones de la estación meteorológica M0429 - Surucucho (1999 - 2018).

Registro de precipitaciones de la estación meteorológica Surucucho M0429 (1999 - 2018)													
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulada
1999	114,50	198,40	243,30	312,20	160,64	52,80	86,85	55,58	168,20	198,30	19,80	408,10	1083,62
2000	122,30	338,80	277,60	280,30	254,70	208,70	68,80	78,50	116,90	14,00	40,60	46,10	1897,00
2001	74,50	34,90	84,80	112,30	45,40	86,60	47,70	11,70	60,10	115,70	91,50	119,38	846,15
2002	82,60	46,80	43,00	63,10	44,10	40,70	41,20	40,20	12,80	120,20	17,70	97,90	650,10
2003	12,00	85,10	46,30	122,10	125,00	87,80	84,40	0,00	83,60	11,00	39,00	35,50	740,00
2004	42,50	66,70	382,90	168,30	168,00	178,00	129,40	49,50	145,90	119,30	69,50	101,40	1414,10
2005	81,90	117,90	271,80	70,50	53,80	105,80	47,00	31,00	23,50	113,70	98,47	119,20	1144,52
2006	123,98	149,51	177,11	225,00	199,60	164,10	46,90	81,20	50,60	54,10	204,30	130,90	1483,80
2007	80,20	50,10	233,50	186,30	125,00	160,98	16,40	88,50	46,50	117,90	181,80	127,60	1535,60
2008	155,90	182,00	289,40	176,80	212,60	91,80	116,20	106,40	113,90	317,40	194,50	61,30	2088,20
2009	880,70	158,40	108,10	106,50	166,80	188,10	180,20	36,70	20,70	115,70	113,40	80,20	1799,50
2010	91,50	113,50	215,60	284,60	154,30	130,30	96,90	135,50	22,90	14,00	300,40	154,30	1526,80
2011	203,00	380,40	89,30	306,20	147,30	138,50	179,70	52,30	140,10	84,80	291,30	315,20	2228,10
2012	242,90	149,50	272,00	78,60	97,10	146,10	75,80	49,10	74,60	117,80	177,10	72,80	1845,50
2013	175,60	161,40	305,50	307,00	214,00	110,10	126,30	88,80	57,60	160,70	90,50	59,10	1684,00
2014	90,80	74,40	143,00	166,30	257,90	64,50	70,60	70,90	107,80	133,80	77,80	69,30	1361,80
2015	115,60	18,90	134,00	121,90	141,20	129,90	131,40	23,40	13,90	181,90	88,60	21,10	1129,60
2016	106,90	79,50	198,70	116,20	160,64	114,41	86,85	55,58	68,07	115,70	98,47	119,38	1433,02
2017	123,98	149,51	177,11	212,20	53,30	62,30	14,20	55,58	51,10	91,80	30,30	131,30	1181,30
2018	97,20	67,50	92,10	181,30	421,90	74,90	86,85	35,58	68,07	113,70	98,47	119,20	1497,67
Promedio mensual	128,96	140,51	177,11	196,07	160,64	114,41	86,85	55,58	68,07	115,70	98,47	119,38	1465,88

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 15.

Registro de precipitaciones de la estación meteorológica M0430 - Quinoas (1975 - 1987).

Registro de precipitaciones de la estación meteorológica Quinoas M0430 1975 - 1987													
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulada
1975	79,38	419,70	101,51	106,34	75,50	66,75	71,79	45,33	63,33	74,03	60,17	100,14	1263,96
1976	79,38	131,19	101,51	106,34	75,50	66,75	142,70	60,40	52,70	32,90	88,70	86,10	1024,17
1977	117,90	42,90	75,30	109,60	36,40	97,50	19,00	40,80	46,20	38,90	9,50	46,00	680,00
1978	41,40	131,19	113,90	109,10	83,60	93,20	83,30	58,40	126,80	43,20	60,17	60,80	1005,06
1979	79,38	62,80	109,10	127,40	96,60	57,60	36,80	45,33	68,40	74,03	53,40	100,14	910,97
1980	87,30	132,10	64,90	106,34	75,50	83,80	71,79	45,33	75,60	74,03	60,17	140,20	1017,05
1981	75,80	113,50	189,30	17,60	54,20	78,40	72,30	30,90	17,60	62,80	42,80	101,20	856,40
1982	115,30	47,70	38,70	99,30	103,70	18,40	82,60	30,00	59,60	136,10	86,30	156,30	974,00
1983	124,80	69,80	151,20	142,30	79,30	32,50	36,10	48,40	59,70	93,60	60,17	100,14	998,01
1984	40,00	216,70	132,40	158,50	74,70	72,60	101,50	48,40	63,33	93,20	80,30	110,40	1192,03
1985	68,00	131,19	48,00	78,20	75,50	66,75	71,79	45,33	63,33	74,03	60,17	100,14	882,41
1986	79,38	131,19	101,51	106,34	75,50	66,75	71,79	45,33	63,33	91,50	60,17	100,14	992,92
1987	43,90	75,50	92,30	115,10	75,50	66,75	71,79	45,33	63,33	74,03	60,17	100,14	883,83
Promedio mensual	79,38	131,19	101,51	106,34	75,50	66,75	71,79	45,33	63,33	74,03	60,17	100,14	975,45

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 16.

Registro de precipitaciones de la estación meteorológica M0539 – Buenos aires (1975 - 1992).

Registro de precipitaciones de la estación meteorológica Buenos aires M0539 1975 - 1992													
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulada
1975	29,30	158,20	177,90	125,40	79,36	32,80	62,90	43,80	9,80	94,55	69,70	22,20	905,21
1976	28,50	20,20	51,80	72,20	34,80	17,20	17,90	16,30	18,80	8,90	33,20	171,70	437,10
1977	42,80	25,50	414,00	38,30	11,90	40,72	62,90	47,80	79,60	147,90	57,40	105,70	1073,72
1978	32,60	75,20	148,50	190,20	93,70	52,30	66,70	21,60	154,80	25,40	58,60	75,20	996,80
1979	52,70	40,30	186,40	164,80	77,70	45,20	30,90	55,40	56,70	38,30	36,60	17,40	782,40
1980	73,20	61,90	17,00	146,20	32,10	29,80	107,30	43,20	74,60	159,90	162,10	65,50	1004,60
1981	47,60	114,90	138,20	171,30	40,20	47,90	44,20	46,90	6,00	156,20	20,20	121,40	959,00
1982	76,00	44,90	35,70	154,90	189,60	15,70	28,30	16,20	49,10	94,50	78,20	136,00	920,25
1983	125,90	51,20	108,90	193,60	91,30	17,50	27,00	14,30	16,90	124,60	24,40	149,70	944,30
1984	30,50	134,50	139,30	157,30	131,00	37,50	45,90	46,40	84,60	108,00	71,10	63,10	1163,00
1985	67,40	23,30	42,00	75,00	86,90	36,10	23,80	43,30	46,40	55,80	122,10	91,80	717,70
1986	89,00	82,10	95,60	127,90	95,90	11,70	21,90	45,30	46,40	118,50	94,20	52,60	889,10
1987	52,60	69,20	67,20	83,00	87,70	50,20	31,40	20,80	80,10	80,00	79,00	30,40	731,90
1988	94,80	106,00	44,20	156,70	159,60	84,20	35,30	15,20	35,80	80,50	112,80	80,40	990,60
1989	132,40	166,50	171,60	61,30	46,40	82,10	40,04	13,25	51,60	94,55	74,75	75,92	964,33
1990	60,69	32,90	48,50	167,50	52,30	84,40	32,70	16,30	19,70	173,10	103,90	72,70	898,69
1991	47,30	59,00	112,70	77,90	87,30	49,00	26,30	15,70	39,70	68,90	73,00	61,80	722,20
1992	8,60	94,00	150,00	126,72	71,90	38,50	12,20	9,10	51,60	70,60	69,40	51,10	795,50
Promedio mensual	60,69	77,91	119,84	126,72	79,36	49,72	40,04	21,85	51,60	94,55	74,75	75,92	881,47

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 17.

Registro de precipitaciones de la estación meteorológica M0665 – Chaucha (1978 - 1992).

Registro de precipitaciones de la estación meteorológica Chaucha M0665 1978 - 1992													
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulada
1978	102,20	166,06	152,10	163,00	69,40	2,70	13,40	1,80	19,20	3,70	7,00	86,20	786,76
1979	131,40	111,00	154,30	121,30	76,50	4,30	0,30	9,50	27,10	17,40	5,40	21,90	680,40
1980	152,40	209,10	147,60	308,20	72,70	21,10	0,50	3,90	4,10	42,50	31,70	65,40	1059,20
1982	141,97	180,80	92,30	131,80	42,40	5,00	3,70	2,80	13,20	62,50	304,20	224,00	1204,67
1983	240,80	165,10	288,00	185,60	140,70	33,20	33,70	28,40	25,90	52,70	41,80	177,80	1413,70
1984	72,20	122,50	203,70	154,90	17,10	16,20	8,80	7,50	29,90	29,20	48,60	83,20	793,80
1985	130,70	166,06	194,73	147,33	69,83	12,01	8,72	6,01	13,22	7,30	20,40	126,60	902,89
1986	224,30	165,40	194,73	37,80	12,90	0,00	1,30	1,70	13,22	21,90	27,50	103,20	803,95
1987	131,30	99,50	257,40	118,40	138,20	5,20	5,60	3,70	3,50	5,60	7,20	63,10	838,70
1989	141,97	209,10	308,00	103,00	46,50	12,01	13,40	1,40	5,50	44,80	15,90	31,20	932,78
1990	92,40	232,00	60,90	139,60	44,80	6,00	0,90	0,00	1,60	46,70	21,20	98,26	744,36
1991	141,97	166,06	194,73	147,33	69,83	12,01	8,72	7,00	3,00	28,69	45,81	98,26	923,39
1992	141,97	166,06	283,00	157,00	106,90	26,40	14,30	4,40	12,40	10,00	18,80	98,26	1039,48
Promedio mensual	141,97	166,06	194,73	147,33	69,83	12,01	8,72	6,01	13,22	28,69	45,81	98,26	932,62

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 18.

Índice Modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Piscícola Chirimichay (1996 - 2015).

Valores del índice modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Piscícola Chirimichay													
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulada
1996	6,29	22,51	7,12	12,66	31,32	15,18	14,71	7,47	6,54	16,42	2,34	0,001	143,39
1997	6,73	11,11	15,37	21,33	25,36	1,85	64,58	1,66	5,53	6,46	83,51	5,69	248,61
1998	4,98	9,99	18,10	31,27	38,90	21,70	58,14	7,67	6,21	17,08	5,99	3,30	252,33
1999	27,37	41,66	67,41	90,21	25,83	8,08	5,47	1,91	13,91	7,45	0,62	30,84	300,92
2000	7,68	11,45	18,00	23,82	35,52	5,19	10,07	3,53	1,83	18,82	9,40	6,29	128,74
2001	7,51	11,19	17,60	22,51	35,18	8,99	9,85	3,45	11,39	1,33	10,40	34,34	133,74
2002	3,73	5,23	13,79	11,58	13,58	3,95	5,28	2,35	0,49	16,25	9,52	8,64	84,42
2003	1,04	4,21	7,68	30,23	22,17	7,42	5,97	4,61	1,22	3,64	15,30	3,29	110,97
2004	1,16	6,10	8,61	11,85	38,79	11,17	5,24	1,87	11,43	4,85	10,63	23,19	109,99
2005	4,36	8,71	18,38	14,25	8,53	9,79	2,08	1,44	0,65	9,54	3,17	21,11	122,46
2006	8,22	13,14	14,34	23,20	4,63	6,91	1,33	1,07	1,24	2,42	25,01	34,30	128,78
2007	5,34	1,37	24,30	33,05	8,94	12,62	0,24	7,00	1,99	16,59	16,24	4,52	146,21
2008	0,29	31,03	21,09	18,71	35,01	5,95	4,64	0,82	5,09	13,41	5,64	1,09	146,82
2009	31,42	6,17	9,61	16,54	2,80	6,55	9,03	1,76	0,90	3,67	12,63	11,63	112,11
2010	7,96	11,90	18,72	23,54	36,14	5,56	10,48	3,67	1,98	11,25	1,79	8,08	127,50
2011	2,95	16,18	0,44	32,01	5,86	10,11	11,98	3,88	4,21	11,89	6,96	26,70	152,29
2012	9,85	13,22	11,40	23,29	25,77	5,34	10,24	1,94	1,57	11,14	19,64	2,23	126,38
2013	12,26	13,45	16,38	3,99	35,28	6,95	10,29	2,91	1,59	9,72	1,68	6,73	121,82
2014	5,78	1,38	18,51	14,65	25,15	6,25	4,08	5,67	7,55	15,38	5,92	5,89	122,55
2015	13,27	1,32	18,37	23,50	35,84	6,39	10,23	3,61	1,90	11,04	9,99	7,46	128,97
Promedio mensual	8,70	12,61	15,02	24,85	36,22	19,04	12,40	3,80	4,52	12,45	12,80	8,67	146,14

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 19.

Índice Modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Ricaurte (1999 – 2018).

Valores del índice modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Ricaurte - Cuenca													
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulada
1999	11,77	19,85	21,45	22,56	27,27	3,90	0,50	0,45	3,41	2,33	3,88	13,416	133,47
1997	1,07	21,71	11,75	28,78	11,21	6,35	0,05	0,56	25,06	0,33	0,69	14,77	145,40
1998	8,38	4,51	28,91	9,38	4,97	1,47	0,82	0,88	1,23	1,11	5,43	9,52	75,80
1999	1,04	0,82	5,95	15,57	11,53	1,21	0,80	0,70	0,22	40,37	17,85	8,05	103,91
2000	2,42	3,98	8,78	15,80	3,34	1,59	0,74	1,59	1,78	7,98	27,76	13,45	90,24
2001	1,52	14,79	4,87	17,67	5,70	0,48	1,05	0,10	12,80	2,21	28,27	15,51	108,99
2002	3,83	4,52	33,44	14,48	3,78	3,45	0,14	0,04	6,03	11,12	1,79	56,55	130,89
2003	1,33	7,16	39,51	20,53	1,91	1,23	0,07	0,70	6,49	9,72	7,90	25,94	113,49
2004	2,03	1,26	23,02	42,61	2,39	8,17	0,08	1,73	8,85	4,30	13,61	6,96	106,00
2005	4,19	26,84	7,80	30,43	28,35	1,51	0,85	2,21	1,99	11,55	14,94	3,49	125,06
2006	9,80	2,20	17,96	35,81	5,40	3,88	0,24	0,10	6,82	2,24	7,03	3,30	90,60
2007	0,86	12,71	4,83	12,60	7,11	11,50	8,80	0,43	1,66	0,80	19,18	26,95	106,51
2008	1,69	35,98	11,17	33,91	2,85	2,78	4,04	0,37	1,12	3,80	17,51	45,31	181,03
2009	4,74	28,68	15,65	16,39	1,97	4,20	1,12	0,19	6,57	34,13	6,67	2,58	97,48
2010	5,18	7,94	11,07	1,39	29,08	1,39	1,99	6,34	6,29	33,92	0,42	2,30	105,17
2011	4,91	1,72	17,74	12,48	22,83	1,39	0,51	0,20	6,68	18,97	7,39	17,14	112,56
2012	7,81	0,08	50,46	13,94	1,34	2,52	1,05	0,10	0,03	11,14	6,11	0,71	95,27
2013	14,46	0,70	31,46	28,89	18,07	3,21	0,15	0,31	6,50	10,07	2,31	22,89	128,35
2014	5,21	8,53	38,43	15,25	11,29	6,55	0,21	0,60	6,49	3,81	2,29	26,13	175,90
2015	9,15	11,18	1,47	14,06	9,90	0,98	0,09	0,20	6,81	4,84	14,56	3,62	110,48
Promedio mensual	5,07	10,80	23,20	21,28	16,88	3,36	1,16	0,86	3,29	9,81	12,37	10,08	110,91

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 20.

Índice Modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Sayausi (1999 – 2018).

Valores del índice modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Sayausi (Matadero Dó.)													
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulada
1999	5,55	21,78	11,49	32,21	27,98	16,91	0,91	1,41	10,15	3,72	0,75	13,031	157,85
2000	1,97	40,84	18,25	14,78	47,32	5,35	0,87	0,86	2,96	0,94	0,31	5,44	128,49
2001	19,35	1,22	8,38	11,67	7,34	4,32	1,05	0,52	7,30	0,66	7,32	11,48	82,20
2002	2,06	2,09	14,78	29,28	11,92	2,54	6,05	0,20	6,22	19,08	15,95	8,98	109,79
2003	0,51	1,68	11,89	45,25	10,07	3,39	3,12	0,21	6,07	6,82	30,75	2,90	123,48
2004	0,32	1,60	14,58	20,16	15,63	2,55	3,20	0,18	9,69	11,62	19,19	8,63	109,36
2005	3,81	5,32	46,01	20,15	4,45	5,92	0,03	0,58	6,04	16,25	2,53	40,39	166,17
2006	2,58	8,12	11,40	25,53	5,13	1,02	3,31	1,35	6,88	3,10	34,67	12,44	110,42
2007	2,90	1,44	15,20	44,55	7,82	18,20	0,35	2,18	6,91	15,81	12,75	8,40	140,55
2008	6,62	44,67	18,49	30,61	24,04	0,77	0,91	3,94	1,23	15,43	7,08	2,08	159,19
2009	38,40	5,59	11,84	20,28	13,90	9,46	0,66	0,09	6,13	1,31	6,57	9,92	117,87
2010	4,47	46,97	3,11	20,68	7,92	13,21	2,52	0,99	1,76	0,66	6,38	25,01	128,18
2011	3,49	36,83	2,88	57,78	6,09	2,55	4,04	0,84	7,23	3,45	17,68	19,31	142,14
2012	50,02	34,71	11,19	14,51	3,34	2,55	1,44	0,11	4,14	13,96	6,32	7,03	151,73
2013	65,68	6,44	11,11	4,08	26,42	3,57	1,27	1,94	6,48	14,33	1,42	1,23	147,72
2014	5,72	1,13	11,79	29,23	17,93	2,41	1,73	0,52	4,09	44,81	10,61	1,78	133,79
2015	11,38	1,07	17,83	25,41	15,95	5,41	1,61	0,20	1,95	16,22	8,53	9,77	109,59
2016	5,66	2,72	15,59	24,53	15,40	5,12	1,55	0,79	1,94	9,87	8,24	9,43	111,84
2017	9,98	12,11	16,39	23,31	23,55	7,32	0,35	1,24	1,70	4,34	0,01	3,68	104,59
2018	7,85	9,35	12,87	15,25	48,17	4,74	1,41	0,72	2,58	8,96	7,48	8,56	128,13
Promedio mensual	12,44	13,56	14,89	25,27	17,01	5,88	1,82	0,92	3,51	12,37	10,26	10,67	128,89

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 21.

Índice Modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Surucucho (1999 – 2018).

Valores del índice modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Surucucho													
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulada
1999	6,19	43,69	18,38	46,73	12,37	1,34	3,92	1,48	13,56	13,58	0,19	78,68	248,93
2000	8,05	60,19	41,48	36,47	34,82	23,44	1,55	3,15	7,60	0,51	0,89	1,34	222,38
2001	6,91	0,73	1,43	17,70	2,44	8,87	2,09	0,76	5,07	15,84	9,89	16,83	89,25
2002	10,49	3,37	2,84	6,12	2,99	2,55	2,61	2,47	0,25	22,19	0,48	14,74	71,32
2003	0,19	1,66	2,86	66,48	21,06	10,27	9,80	0,00	1,52	0,50	2,05	1,71	118,10
2004	1,18	1,87	23,99	20,03	25,98	22,41	11,80	1,52	14,97	26,06	5,42	7,27	129,13
2005	5,86	12,15	64,55	5,11	2,52	10,50	1,93	0,84	0,40	11,70	6,47	12,44	136,48
2006	10,94	15,04	11,16	34,07	26,36	7,19	1,44	2,51	1,06	1,97	28,09	11,53	153,88
2007	5,36	1,66	35,89	51,81	9,08	17,07	0,18	5,16	1,43	9,17	21,70	10,74	170,23
2008	11,28	32,71	39,92	14,90	21,34	4,01	6,44	5,40	6,18	48,01	18,03	1,79	230,51
2009	60,77	37,10	6,48	22,34	15,46	19,66	16,04	0,75	0,24	7,44	7,15	3,57	199,03
2010	5,48	9,00	30,44	63,05	18,59	11,12	6,94	17,08	0,34	0,19	6,60	15,59	188,01
2011	18,50	04,95	3,38	42,08	9,74	8,51	14,49	1,21	8,81	3,23	18,42	46,59	230,12
2012	35,86	37,84	44,37	3,85	5,73	12,97	3,49	0,88	3,38	8,43	19,08	3,20	179,16
2013	18,50	15,46	59,38	25,43	27,18	8,42	9,47	2,77	6,84	17,09	0,55	2,07	186,96
2014	6,05	4,06	15,02	29,34	48,68	3,05	3,97	3,63	4,55	11,15	4,44	3,53	143,16
2015	11,84	0,32	15,91	13,38	17,68	14,95	15,30	0,48	6,33	29,31	6,93	0,39	126,81
2016	7,84	4,44	17,74	34,07	18,13	9,10	5,30	2,17	3,26	9,41	6,31	10,01	138,18
2017	18,01	18,91	16,62	88,11	7,72	8,19	0,27	2,61	0,82	7,18	1,12	14,64	134,16
2018	6,51	3,09	3,88	21,94	118,61	3,71	5,04	2,86	2,09	8,94	6,47	3,51	136,42
Promedio mensual	12,50	19,01	14,90	29,15	21,58	10,14	6,22	2,57	4,12	11,89	8,44	13,10	163,15

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 22.

Índice Modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Quinoas (1975 - 1987).

Valores del índice modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Quinoas													
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulada
1975	4,99	139,36	8,15	8,95	4,51	3,53	4,08	1,63	3,17	4,34	2,86	7,93	193,49
1976	6,15	16,80	10,06	11,04	5,57	4,35	19,88	3,56	2,71	1,06	7,68	7,24	96,11
1977	20,44	2,71	8,34	17,66	1,95	13,98	0,53	2,45	3,14	2,23	0,13	3,11	76,67
1978	1,71	17,12	12,91	11,84	6,95	8,64	6,90	3,39	16,00	1,86	3,60	3,68	94,61
1979	6,92	4,33	13,07	17,82	10,24	3,64	1,49	2,26	5,14	6,02	3,13	11,01	85,05
1980	7,49	17,16	4,14	11,12	5,60	6,90	5,07	2,02	5,62	5,39	3,56	19,33	93,40
1981	6,71	15,04	41,84	0,36	3,43	7,18	6,10	1,11	0,36	4,61	2,14	11,96	100,85
1982	13,65	2,34	1,54	10,12	11,04	0,35	7,00	0,92	3,65	19,02	7,65	25,08	102,36
1983	15,61	4,88	22,91	20,29	6,30	1,06	1,31	2,35	3,57	8,78	3,63	10,05	100,72
1984	1,34	39,39	14,71	21,08	4,68	4,42	8,64	1,97	3,36	7,29	5,41	10,22	122,51
1985	5,24	19,50	2,61	6,93	6,46	5,05	5,84	2,33	4,54	6,21	4,10	11,36	80,18
1986	6,35	17,33	10,38	11,39	5,74	4,49	5,19	2,07	4,04	8,43	3,65	10,10	89,15
1987	2,18	6,45	9,64	14,99	6,45	5,04	5,83	2,32	4,54	6,20	4,10	11,35	79,08
Promedio mensual	7,60	23,26	12,33	12,58	6,07	5,28	5,99	2,18	4,60	6,26	3,97	10,96	101,09

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 23.

Índice Modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Buenos aires (1975 – 1992).

Valores del índice modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Buenos Aires													
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulada
1975	0,95	27,65	34,96	17,37	6,96	1,19	4,37	2,05	6,11	9,88	5,37	0,544	111,39
1976	1,86	1,57	6,34	11,59	2,74	0,68	0,75	0,59	6,81	0,38	1,25	33,88	62,34
1977	1,69	6,61	159,63	1,37	0,13	1,34	3,68	2,13	5,81	26,37	3,07	10,41	210,44
1978	1,07	5,67	21,82	36,29	8,81	2,74	4,46	0,56	24,04	0,65	2,44	5,67	115,53
1979	3,55	1,08	25,39	34,71	7,72	2,61	1,22	3,92	4,11	1,87	1,71	9,35	99,26
1980	5,31	1,75	1,36	21,66	1,03	0,88	11,45	1,85	5,45	21,67	33,61	4,27	112,93
1981	2,36	34,15	15,92	30,66	1,86	2,99	2,04	2,29	6,04	25,44	0,43	25,37	116,98
1982	6,18	1,19	1,71	25,77	39,26	0,27	0,87	0,29	7,62	9,71	6,51	20,10	115,18
1983	16,68	1,79	11,47	39,65	8,83	0,32	0,77	0,21	6,30	16,44	0,68	23,73	122,85
1984	0,82	46,91	16,89	33,47	8,77	1,21	1,83	1,85	6,07	10,03	4,35	3,42	137,40
1985	6,33	6,57	2,46	8,01	10,52	1,82	0,79	2,86	1,03	4,56	20,77	11,74	73,85
1986	8,91	7,58	11,16	13,46	10,34	0,15	0,54	2,73	1,82	15,79	9,98	3,11	91,13
1987	3,70	6,31	0,34	9,30	10,45	3,44	1,34	0,59	8,72	10,19	7,97	1,20	89,72
1988	9,02	11,17	1,96	24,64	22,76	4,13	1,25	1,34	1,29	6,56	12,77	6,40	103,33
1989	18,18	10,47	30,54	3,87	1,55	6,99	1,66	1,12	1,71	9,27	5,80	6,62	99,18
1990	4,29	1,26	2,74	32,67	3,19	4,33	1,25	1,07	6,45	34,89	12,57	6,16	105,37
1991	3,18	4,82	17,59	8,40	10,55	3,32	1,19	0,34	1,83	6,57	7,38	5,29	79,82
1992	0,10	11,11	26,28	21,15	6,34	1,86	0,19	0,11	3,28	6,26	6,05	10,43	95,16
Promedio mensual	5,14	9,06	11,85	21,06	9,00	2,14	1,20	1,43	4,08	11,76	7,94	9,38	106,17

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 24.

Índice Modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Chaucha (1975 – 1992).

Valores del índice modificado de Fournier (IMF) de precipitaciones de la estación meteorológica Chaucha													
Años	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Acumulada
1978	13,28	35,05	16,40	33,77	6,12	0,01	0,23	0,00	9,47	0,01	0,06	9,44	117,86
1979	25,38	18,11	34,99	21,63	8,60	0,09	0,00	0,13	1,08	0,44	0,04	0,76	111,13
1980	21,39	41,16	20,57	89,68	4,99	6,42	0,00	0,81	9,02	1,71	0,95	4,04	185,59
1982	16,73	27,14	7,67	34,42	1,45	6,02	0,01	0,31	0,14	5,14	76,81	41,65	168,74
1983	41,02	19,18	38,67	24,37	14,00	6,78	0,80	0,57	9,47	1,96	1,24	21,36	185,53
1984	6,57	18,96	51,27	30,23	0,37	6,30	0,10	0,87	1,13	1,97	2,98	8,71	112,73
1985	18,92	30,54	47,03	24,64	5,40	0,15	0,08	0,34	0,19	0,06	0,45	17,75	139,65
1986	62,58	34,01	47,17	1,78	0,21	6,00	0,00	0,39	0,22	0,60	0,94	13,25	160,77
1987	29,56	11,80	79,00	55,71	22,77	6,09	0,04	0,32	9,01	0,04	0,05	4,75	135,79
1989	21,61	46,87	308,76	11,37	2,32	6,15	0,19	0,30	9,03	2,15	0,27	1,64	187,72
1990	11,47	72,31	4,98	26,18	2,70	6,06	0,00	0,88	9,00	2,93	0,60	11,97	134,20
1991	21,83	29,86	41,07	23,51	5,28	6,16	0,08	0,35	3,01	0,89	1,27	10,46	135,46
1992	19,39	26,51	77,05	23,71	16,99	6,57	0,20	0,32	0,15	0,10	0,34	9,15	168,43
Promedio mensual	23,17	31,67	45,84	26,26	6,56	6,22	0,13	0,87	9,30	1,17	6,69	11,03	154,12

Elaborado por: El Autor, 2025

Tabla 25.**Valores de factor de erosionabilidad del suelo (K).**

Orden del suelo	Clase textural	Materia orgánica	Factor (K) Kirkby y Morgan (1980)
Alfisol	Franco	>3	0.038
Entisol	Franco arenoso	>2	0.032
Eriales	Rocoso	0	0.001
Histosol	Limoso	>20	0.055
Inceptisol	Franco arcillosa	>2.5	0.028

Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 25.

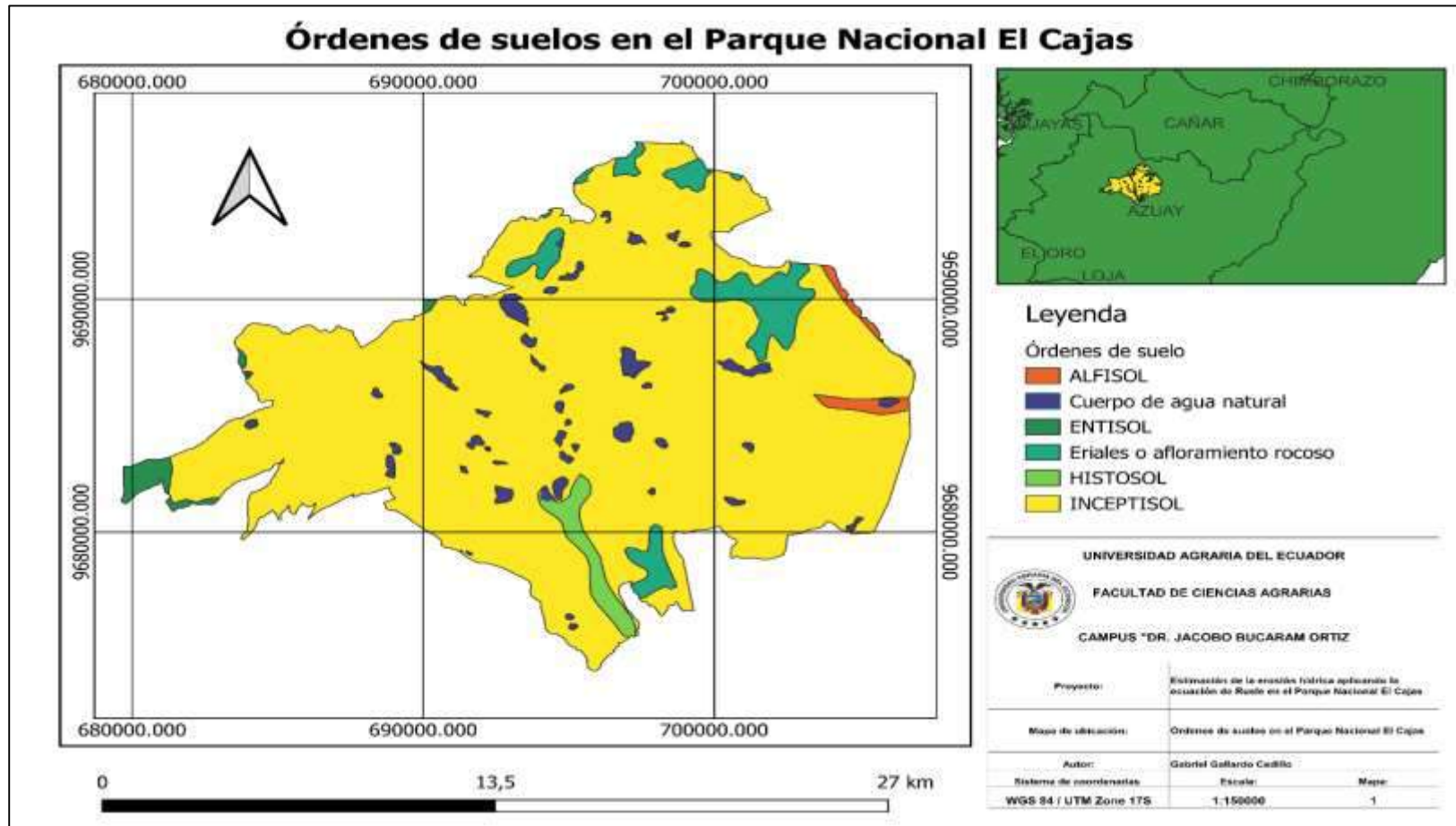
Delimitación del parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 26.

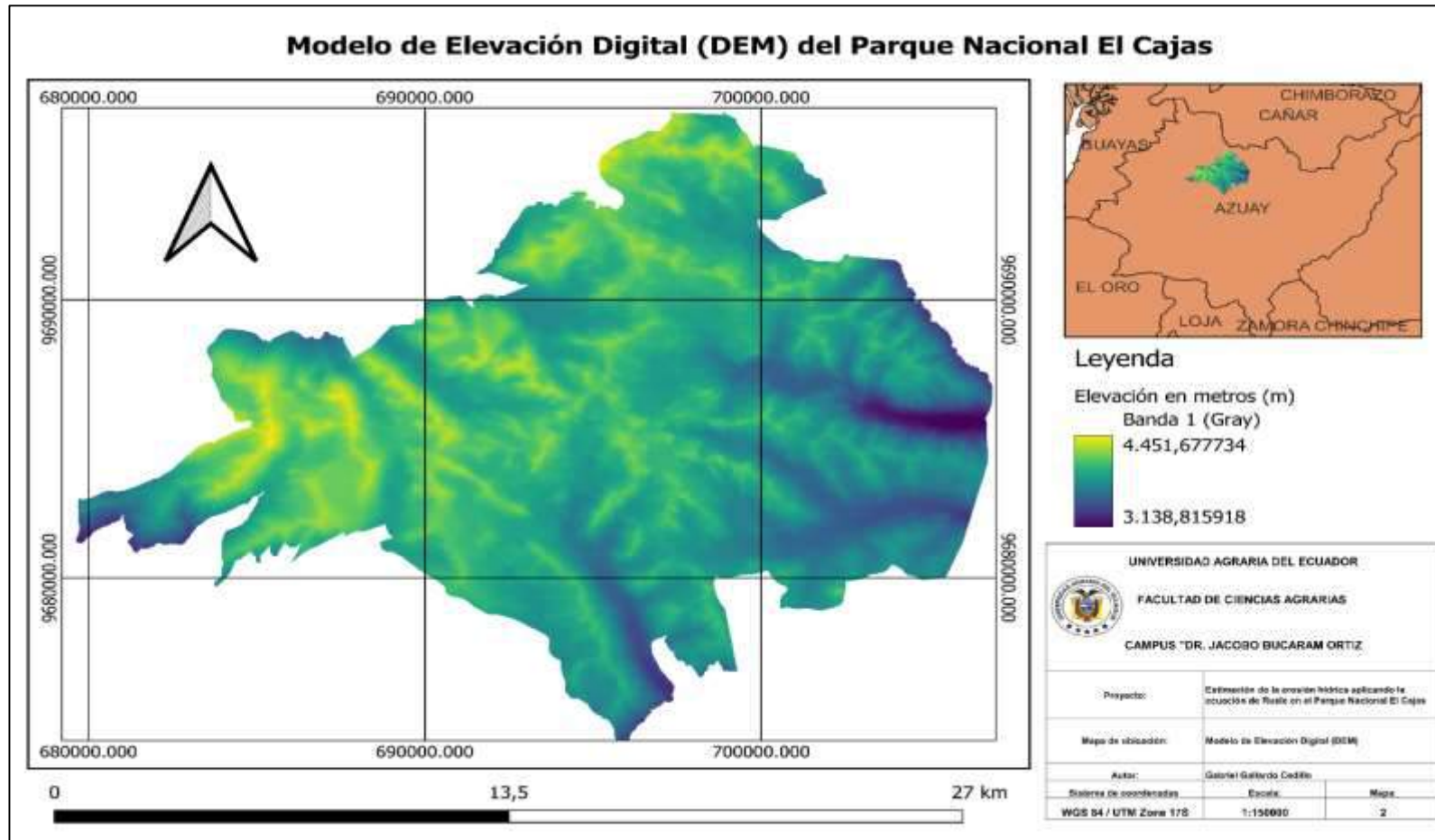
Órdenes de suelos en el Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 27.

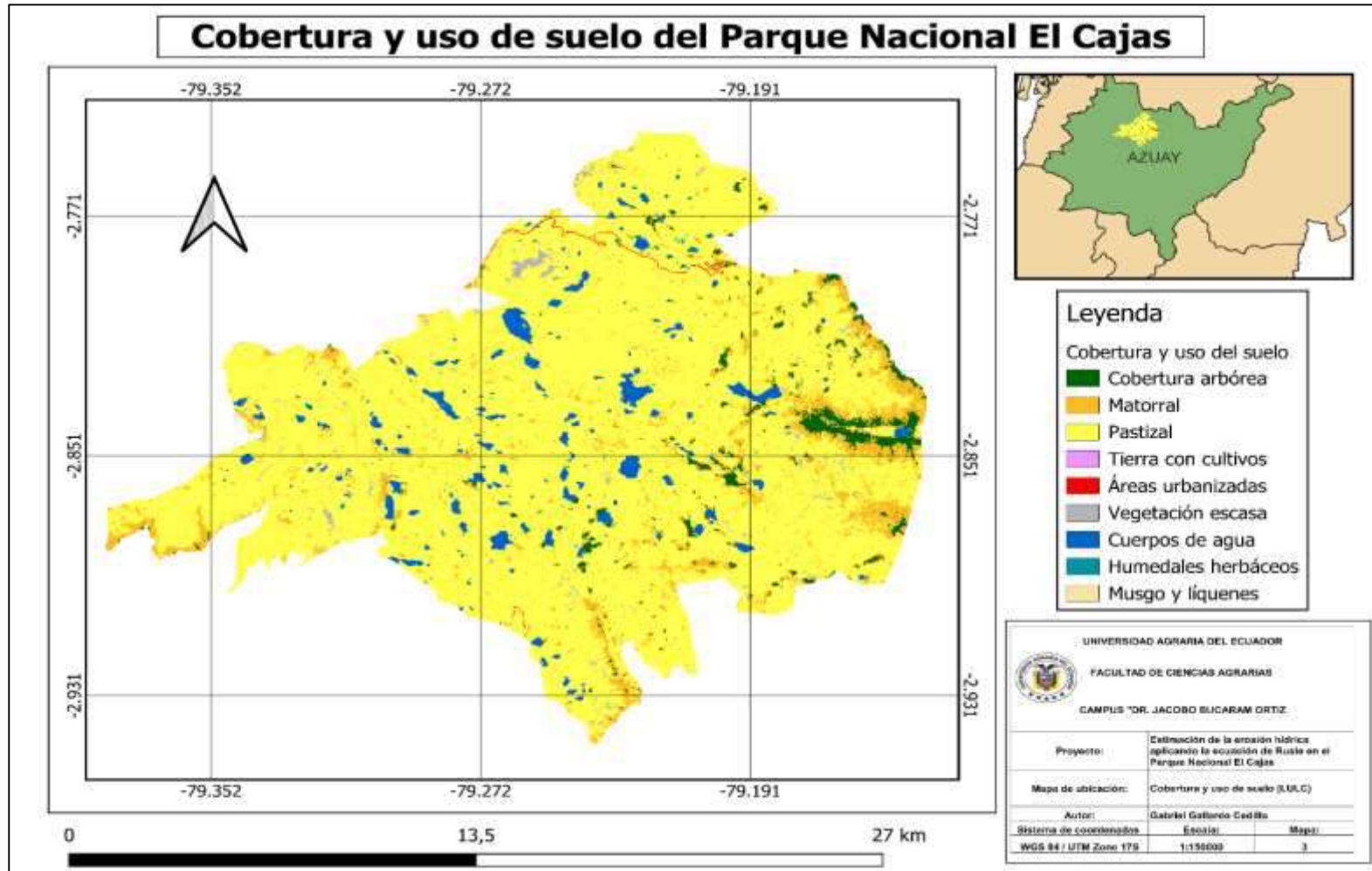
Modelo digital de elevación (DEM) m.s.n.m.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 28.

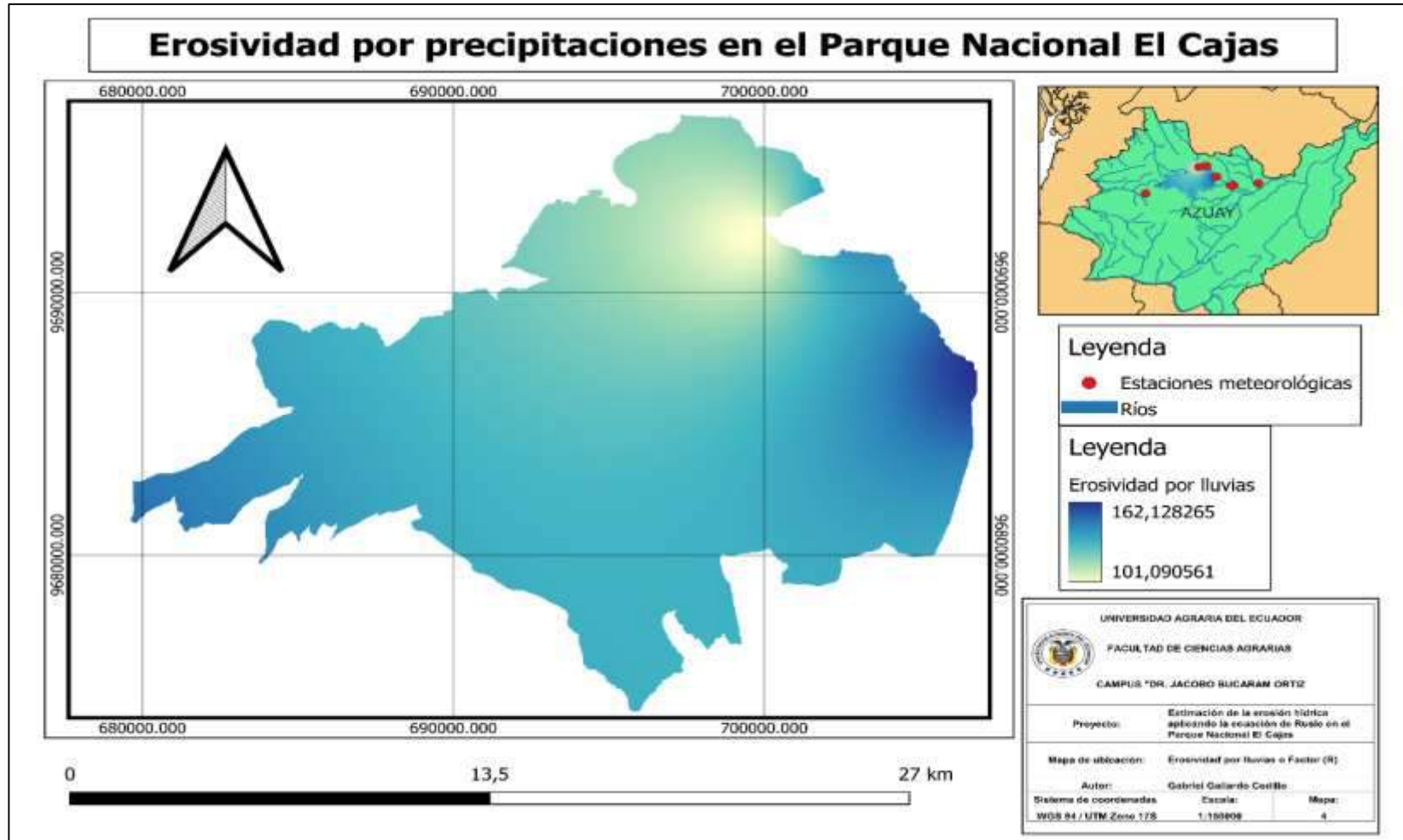
Cobertura y uso del suelo del Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 29.

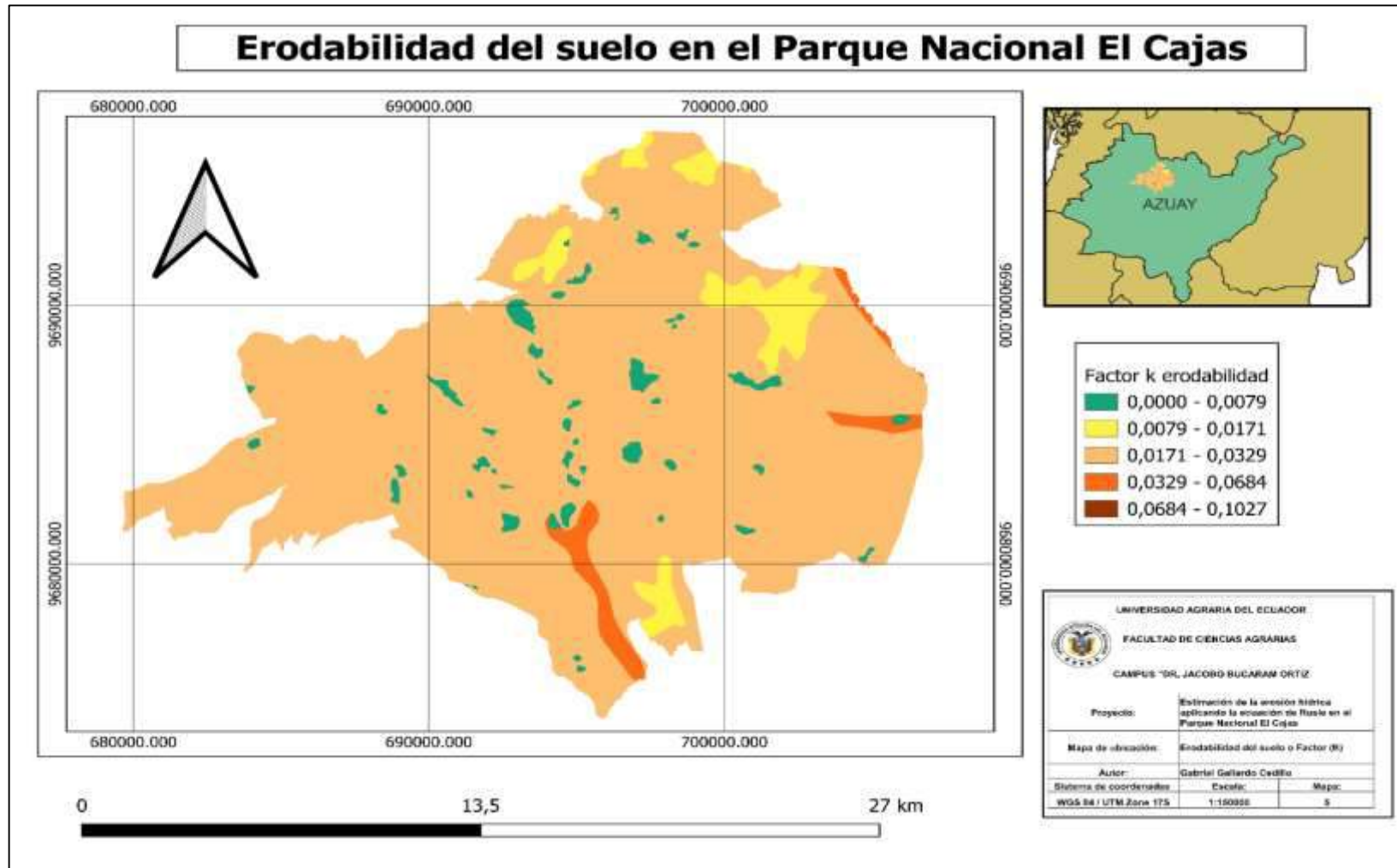
Mapa de erosividad por precipitaciones en el Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 30.

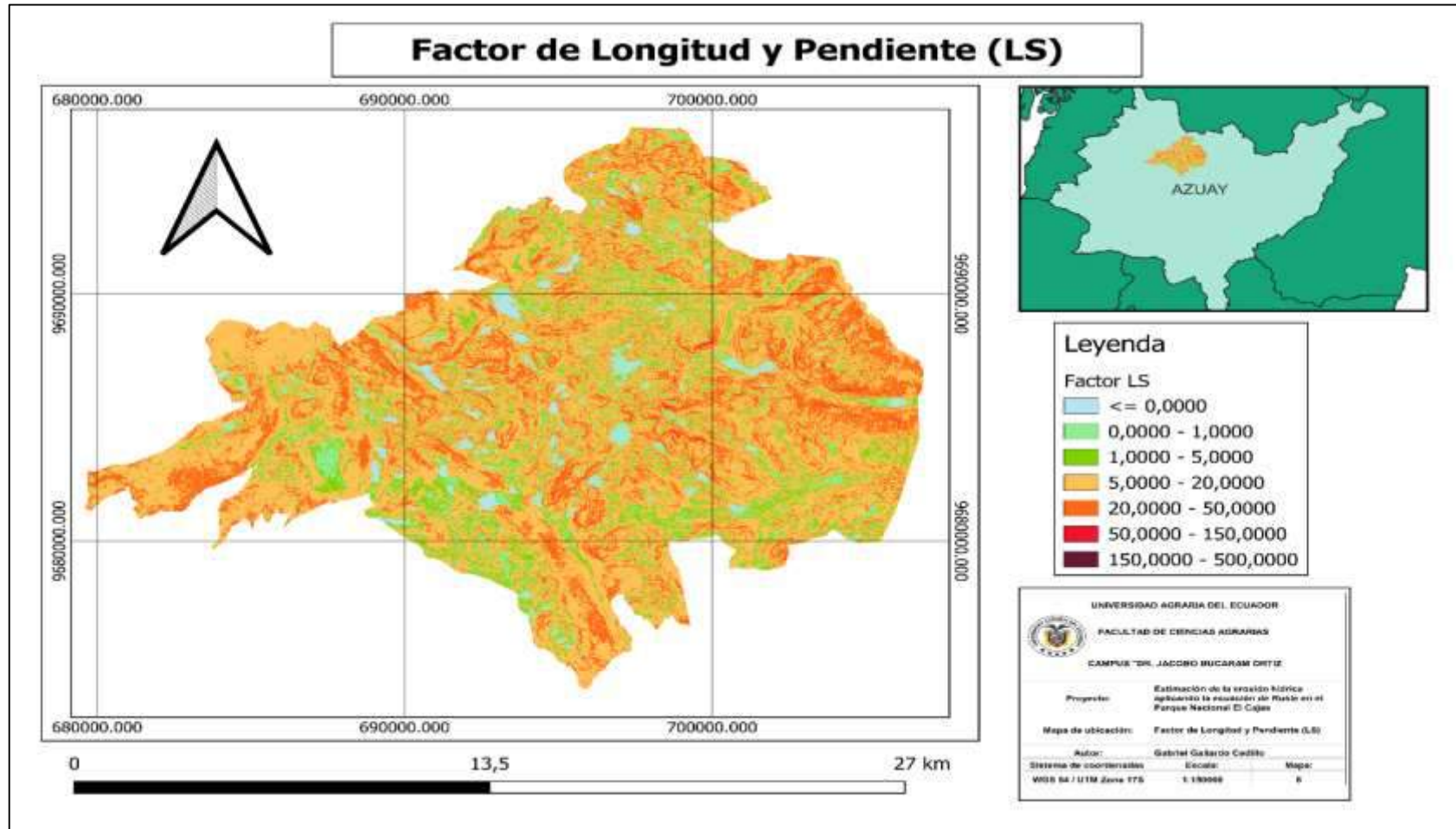
Mapa de erodabilidad del suelo en el Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 31.

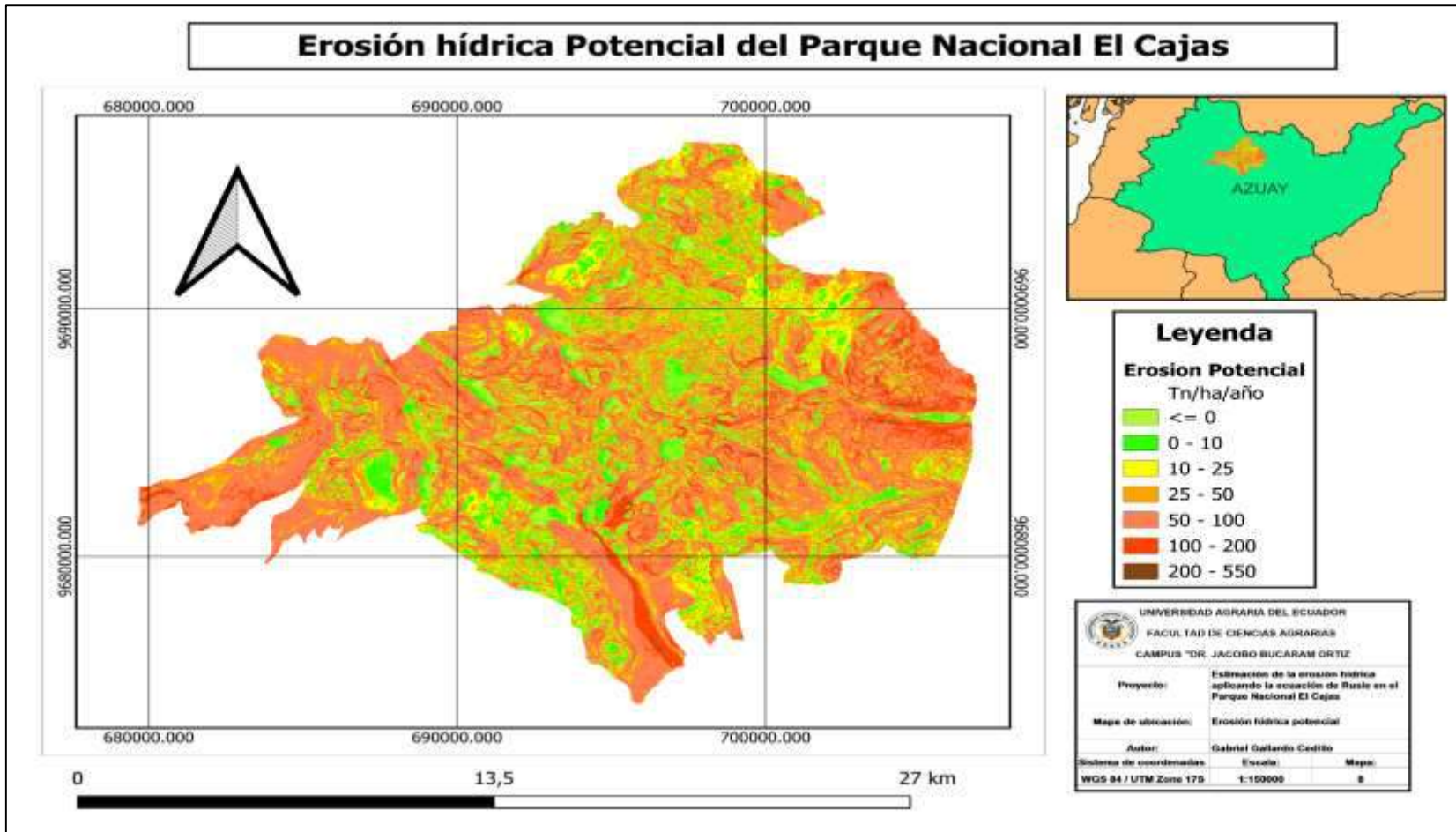
Mapa del factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS) en el Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 32.

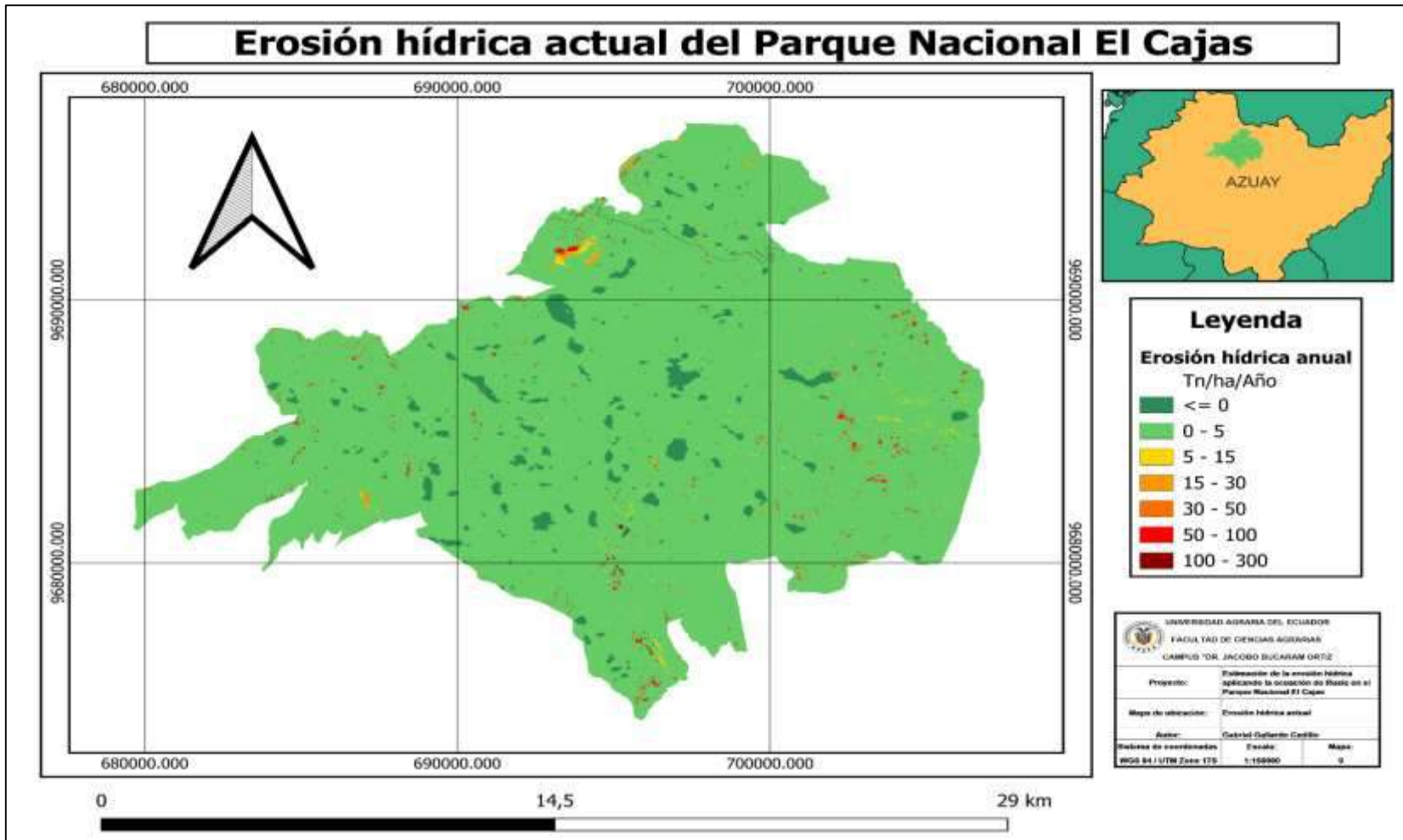
Mapa de erosión hídrica potencial en el Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 33.

Mapa de erosión hídrica actual en el Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 34.

Visita al Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 35.

Pastizales del Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 36.

Visita a microcuenca – Laguna La Toreadora.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 37.

Humedal herbáceo.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 38.

Cuerpo de agua del Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 39.

Visualización de pendientes muy inclinadas.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 40.

Afloramiento rocoso.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 41.

Presencia de gran cantidad de nubes que originan precipitaciones constantes.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 42.

Efecto de la erosión hídrica.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 43.

Maquinaria utilizada para retirar deslizamientos de tierra de las vías.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 44.

Actividades permitidas y prohibidas.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 45.

Senderos del Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 46.

Área de recuperación de cobertura vegetal.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 47.

Letrero para conciencia ambiental.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 48.

Estanque de truchas para pesca deportiva.



Elaborado por: El Autor, 2025

Figura 49.

Visita con la tutora de tesis al Parque Nacional El Cajas.



Elaborado por: El Autor, 2025