



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN AMBIENTAL DE LOS INCENDIOS
DE COBERTURA VEGETAL Y LA EROSIÓN EN LA SUBCUENCA
HIDROGRÁFICA MATAQUÍ, CANTÓN PIMAMPIRO - IMBABURA

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO/A EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

AUTORES: BETANCOURT CABALLERO DANIELA ELIZABETH
INTRIAGO GARCÍA DANIEL ANDREÉ

DIRECTOR:

PhD. Darío Paúl Arias Muñoz

JULIO 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

**“ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN AMBIENTAL DE LOS INCENDIOS DE
COBERTURA VEGETAL Y LA EROSIÓN EN LA SUBCUENCA
HIDROGRÁFICA MATAQUÍ, CANTÓN PIMAMPIRO – IMBABURA”**

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, previa obtención del título de:
INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES

APROBADA:

PhD. Paúl Arias



DIRECTOR

FIRMA

Ing. Gabriel Jácome Msc



ASESOR

FIRMA

IBARRA – ECUADOR

JULIO, 2025

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hacemos la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual ponemos a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	32200005594	
APELLIDOS Y NOMBRES	Betancourt Caballero Daniela Elizabeth	
DIRECCIÓN:	Antonio Ante – Imbabura	
EMAIL:	debetancourt@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0960248058

DATOS DE CONTACTO		
CÉDULA DE IDENTIDAD	1004366082	
APELLIDOS Y NOMBRES	Intriago García Daniel Andreé	
DIRECCIÓN:	Ibarra – Imbabura	
EMAIL:	daintriagog@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	TELÉFONO MÓVIL:	0988218311

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN AMBIENTAL DE LOS INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL Y LA EROSIÓN EN LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA MATAQUÍ, CANTÓN PIMAMPIRO – IMBABURA
AUTORES:	Betancourt Caballero Daniela Elizabeth Intriago García Daniel Andreé
FECHA:	22 de Julio de 2025
PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
DIRECTOR:	PhD. Paul Arias

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y son titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumimos la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldremos en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 22 días del mes de julio de 2025

LOS AUTORES:



Betancourt Caballero Daniela Elizabeth

CI.: 32200005594



Intriago García Daniel Andreé

CI.: 1004366082

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: 22 de Julio de 2025

DANIELA ELIZABETH BETANCOURT CABALLERO

DANIEL ANDREÉ INTRIAGO GARCIA

ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN AMBIENTAL DE LOS INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL Y LA EROSIÓN EN LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA MATAQUÍ, CANTÓN PIMAMPIRO – IMBABURA

TRABAJO DE GRADO

Ingenieros en Recursos Naturales Renovables, Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, Ibarra, 22 de julio de 2025.

DIRECTOR: Paúl Arias PhD.

El objetivo de esta investigación es la analizar la interacción ambiental de los incendios de cobertura vegetal y la erosión presente en la subcuenca del río Mataquí.

Ibarra, 22 de Julio de 2025

AUTORES



Betancourt Caballero Daniela Elizabeth



Intriago García Daniel Andreé

DIRECTOR



PhD. Paúl Arias

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por los señores DANIELA ELIZABETH BETACOURT CABALLERO, con cédula de identidad Nro. 32200005594 y DANIEL ANDREÉ INTRIAGO GARCIA, con cédula de identidad Nro. 1004366082, bajo mi supervisión en calidad de director.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Paúl Arias', is written over a horizontal dotted line.

PhD. Paúl Arias

DIRECTOR

Ibarra, a los 22 días del mes de julio de 2025.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica Del Norte por proporcionarnos la herramientas y conocimientos esenciales para nuestro desarrollo académico y profesional. La educación recibida nos ha enriquecido con sabiduría y nos ha preparado para afrontar los retos con éxito y excelencia.

Queremos expresar nuestro agradecimiento a los docentes que compartieron sus conocimientos especialmente a nuestro director Paúl Arias PhD por su valiosa orientación, tiempo y paciencia durante el desarrollo de nuestra investigación. Así mismo, agradecemos a nuestro asesor MSc. Gabriel Jácome por su generosa colaboración y por contribuir significativamente a la mejora de nuestro proyecto.

De manera particular agradecemos al Msc. Óscar Rosales por siempre brindarnos su tiempo y apoyo de manera incondicional desde el inicio de este proyecto.

Agradecemos al Laboratorio de Geomática, y al Laboratorio de Química por el conocimiento y el apoyo en la ejecución del presente trabajo.

A todas y cada una de las personas cuya colaboración fue esencial para la realización de esta investigación.

Daniela Elizabeth Betancourt Caballero
Daniel André Intriago García

DEDICATORIA

Un éxito sin nadie con quien compartirlo es un éxito vacío. Farid Dieck

*Por ello dedico este trabajo a mi madre **Ana Betancourt** quien ha sido un pilar fundamental en todo este proceso, todos sus sacrificios han reflejado logros entre los que se incluye este. Gracias por tomar decisiones que nos permitieron cumplir esta meta.*

*A mi hermana **Alejandra** por su compañía y ayuda en muchos momentos, a mis sobrinos **Alexander** y **Davis** por ser el motor para lograr esta meta, que esta sea su inspiración para creer, crear y luchar por sus sueños.*

*A la familia **Guevara Nieto**, por permitirme entrar en su hogar y hacerme sentir una más de ella, por su compañía y palabras de ánimo. A mis cuñadas **Vicky**, **Lore** y **Pau** por cada palabra de aliento y cada gesto de cariño.*

*A mi Comare **Pedrito** por toda su compañía, cariño, palabras de aliento y risas compartidas.*

*A mi novio **Bolívar** por creer en mí cuando yo dudaba, por motivarme a seguir adelante y recordarme que todo esfuerzo vale la pena, su amor y compañía han hecho que este logro también sea para él.*

*A mis amigas y compañeras de carrera **Anahi B** y **Anahi P**, gracias por su apoyo incondicional, por escucharme sin juzgar y recordarme que no estaba sola, las llevaré conmigo siempre.*

*A **Daniel** que más que mi compañero de trabajo es mi amigo. Gracias por su dedicación, paciencia y compromiso durante este proceso, esta meta es el resultado del esfuerzo conjunto y de todo lo que aprendimos en el camino.*

*A mis compañeritas de cuatro patas **Lucero** y **Panela**, quienes con su cariño hicieron que este viaje sea más llevadero.*

A mí, por el esfuerzo por el ánimo de continuar cuando todo era difícil, por cada desvelo convertido en aprendizaje y cada lágrima transformada en determinación. Hoy celebro este logro como prueba de que todo es posible cuando se cree y se trabaja por ello.

Daniela Betancourt

DEDICATORIA

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que han sido parte de esta etapa. A mis padres, por su apoyo incondicional y constante motivación. Gracias por su confianza. A mi hermana por su ayuda en algunas ocasiones. A mis amigos, quienes compartieron alegrías y dificultades en este proceso. Gracias por su apoyo y por estar presentes en los momentos más importantes. Y, en general, a todas las personas que contribuyeron de alguna manera a este logro, ya sea con su apoyo o comprensión, mi más profundo agradecimiento. Sin su ayuda y compañía, este logro no habría sido posible.

Daniel Intriago

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Revisión de antecedentes	1
1.2	Problema de investigación y justificación.....	3
1.3	Objetivos	6
1.3.1	Objetivo general	6
1.3.2	Objetivos específicos	6
1.4	Preguntas directrices de la investigación	6
1.5	Hipótesis.....	7
2	MARCO TEÓRICO.....	8
2.1.	Incendios de cobertura vegetal.....	8
2.1.1.	Tipos de incendios.....	8
2.1.2.	Fases de un incendio	9
2.1.3.	Consecuencias de los incendios	9
2.2.	Factores climáticos que inciden en los incendios de cobertura vegetal y la erosión.....	10
2.3.	Erosión hídrica	11
2.3.1.	Sedimentos en la erosión hídrica.....	11
2.4.	Causas de los incendios de cobertura vegetal y la erosión del suelo	11
2.4.1	Efectos de los incendios en ecosistemas terrestres	12
2.4.2	Percepción ambiental y su rol en la gestión de riesgos naturales	13
2.4.3	Instrumentos de recolección de datos sociales.....	13
2.4.4	Uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la modelación de erosión hídrica.....	14
2.4.5	Índice normalizado de área quemada (NBR)	16
2.4.6	Incremento en la erosión hídrica en áreas quemadas	16
2.4.7	Modelo RUSLE.....	17
2.5.	Marco legal.....	17
2.5.1.	Objetivos del desarrollo sostenible (ODS).....	17
2.5.2.	Acuerdo de París	18

2.5.2.1. Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD).....	18
2.5.2.2. Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (UNCCD)	18
2.5.3. Constitución de la República del Ecuador	19
2.5.4. Código Orgánico del Ambiente (COA)	19
2.5.5. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Pimampiro	20
2.5.6. Ordenanza que Reglamenta la Protección del Ambiente del Cantón San Pedro de Pimampiro	20
2.5.6.1. Ordenanza que Regula la Gestión de los Servicios de Prevención, Protección, Socorro y Extinción de Incendios en el Cantón San Pedro De Pimampiro.....	21
3 METODOLOGÍA	23
3.1 Descripción del área de estudio.....	23
3.1.1 Morfometría de la Subcuenca del Río Mataquí	24
3.1.2 Edafología de la cuenca	26
3.2 Métodos.....	27
3.2.1 Análisis de la interacción ambiental de los incendios de cobertura vegetal y la erosión.....	27
3.2.2 Análisis estadístico.....	32
3.3 Identificación de áreas quemada por incendios de cobertura vegetal	32
3.3.1 Identificación de cicatrices de incendios año 2024.....	33
3.3.2 Determinación de la probabilidad de ocurrencia de incendios de cobertura vegetal en la subcuenca del río Mataquí	34
3.4 Modelo RUSLE.....	34
3.4.1 Erosividad de la lluvia (R)	35
3.4.2. Erodabilidad del suelo (K)	36
3.4.3 Factor topográfico (LS).....	36
3.4.4. Cobertura Vegetal (C).....	36
3.4.5. Factor Prácticas de Conservación de Suelo (P).....	37
3.4.6. Cálculo de la densidad aparente del suelo para expresar la pérdida de suelo en mm/año.....	37
3.4.7. Validación del modelo RUSLE.....	38

3.4.8. Muestreo de agua	39
3.5 Cálculo del modelo RUSLE con zonas incendiadas	43
3.6 Materiales y equipos	45
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1 Causas socioambientales de los incendios de cobertura vegetal y la erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica Mataquí	47
4.1.1 Determinantes culturales y agrícola de las quemas fuera de control	49
4.1.2 Nivel de conocimiento legal sobre infracciones por incendios de cobertura vegetal	50
4.1.3 Relación entre incendios y erosión según la percepción local	51
4.1.4 Análisis de las causas socioambientales	52
4.2 Susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal y erosión hídrica.....	53
4.3 Factores climáticos y biofísicos que influyen en la erosión hídrica.....	55
4.3.1 Susceptibilidad de la erosión hídrica en la subcuenca Mataquí.....	61
4.3.2 Densidad aparente del suelo.....	62
4.4. Efectos de las áreas incendiadas por incendios de cobertura vegetal en la susceptibilidad a erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica Mataquí.....	64
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
5.1 Conclusiones	67
5.2 Recomendaciones.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de incendios de cobertura vegetal y sus principales características	8
Tabla 2. Factores climáticos presentes en los incendios y la erosión hídrica	10
Tabla 3. Causas presentes en los incendios y la erosión hídrica	12
Tabla 4. Parámetros morfométricos de la Subcuenca del Río Mataquí	24
Tabla 5. Causas socioambientales de los incendios	27
Tabla 6. Causas socio ambientales de la erosión	28
Tabla 7. Valores de referencia índice V de Cramer	32
Tabla 8. Categorías de erosión y sus principales características.....	35
Tabla 9. Materiales y Equipos de Investigación	46
Tabla 10. Causas socioambientales de los incendios de cobertura vegetal y erosión hídrica.....	53
Tabla 11. Reporte análisis de textura	60
Tabla 12. Densidad aparente del suelo y datos para el calculo	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sustento legal de investigación.....	22
Figura 2. Ubicación de la subcuenca del río Mataquí.....	24
Figura 3. Textura superficial del suelo en la subcuenca del Río Mataquí	26
Figura 4. Esquema metodológico para la toma de datos mediante encuestas.....	30
Figura 5. Toma de encuestas en el área de estudio	31
Figura 6. Distribución de las encuestas en la subcuenca	31
Figura 7. Incendios en la subcuenca del río Mataquí de los años 2020 - 2024....	33
Figura 8. Esquema metodológico del modelo RUSLE	35
Figura 9. Puntos de toma de muestra de suelo para el cálculo de la densidad aparente.	38
Figura 10. Toma de muestra de agua	39
Figura 11. Esquema metodológico de validación del modelo Rusle	42
Figura 12. Esquema metodológico modelo RUSLE con zonas incendiadas	43
Figura 13. Área afectada por incendio de cobertura vegetal.....	44
Figura 14. Toma de muestras en suelos incendiados	45
Figura 15. Causas socioambientales de los incendios de cobertura vegetal y erosión hídrica en la subcuenca del río Mataquí.....	49
Figura 16. Razones para realizar quemas agrícolas	50
Figura 17. Sanciones legales existentes	51
Figura 18. Incendios de cobertura vegetal como causa de la erosión hídrica.....	52
Figura 19. Cicatrices de incendios del año 2024 de la subcuenca del Río Mataquí	54
Figura 20. Susceptibilidad a incendios por probabilidad de ocurrencia	55
Figura 21. Factores modelo RUSLE (R) (K) (LS) (C)	56
Figura 22. Factor C con zonas incendiadas.....	59
Figura 23. Factor K con zonas incendiadas	60
Figura 24. Erosión hídrica en el área de estudio	61
Figura 25. Erosión hídrica con zonas incendiadas.....	64
Figura 26. Evaluación comparativa del promedio de erosión y la producción de sedimentos (SY) en escenarios con y sin zonas incendiadas	66

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES

ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN AMBIENTAL DE LOS INCENDIOS DE
COBERTURA VEGETAL Y LA EROSIÓN EN LA SUBCUENCA
HIDROGRÁFICA MATAQUÍ, CANTÓN PIMAMPIRO – IMBABURA

Betancourt Caballero Daniela Elizabeth

Intriago García Daniel Andree

RESUMEN

La erosión es un fenómeno natural que implica el desgaste y la pérdida del suelo debido a factores como el viento, el agua o diversas actividades humanas. No obstante, cuando este proceso se intensifica por eventos como los incendios de cobertura vegetal, la problemática ambiental se agrava considerablemente. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo analizar la interacción ambiental de los incendios de cobertura vegetal en la erosión hídrica mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la subcuenca hidrográfica Mataquí. La interacción se relaciona principalmente con causas antrópicas y culturales, destacándose las quemas agrícolas fuera de control (30,6%) y el cambio climático (19%), que prolonga las sequías y eleva las temperaturas. Asimismo, la deforestación (27%) que expone el suelo a la acción erosiva de lluvia y viento y las quemas agrícolas fuera de control (19,5%). Para la estimación de la erosión se utilizó el modelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), considerando los factores de erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), longitud y pendiente (LS), uso y cobertura del suelo (C) y prácticas de conservación (P). La validación del modelo, con valores de PBIAS de 1.50% y RMSE de 1.05, confirmó su eficiencia y precisión. Los resultados indicaron que la subcuenca presenta una tasa de erosión promedio de 6.63 ton/ha/año, la cual se incrementa a 7.26 ton/ha/año al incluir las áreas afectadas por incendios, alcanzando valores máximos de hasta 555 ton/ha/año. El análisis estadístico evidenció una asociación significativa entre las causas de los incendios y la erosión hídrica (V de Cramer = 0.354; $p < 0.001$), confirmando su relación directa.

Palabras clave: Incendios de cobertura vegetal, erosión del suelo, modelo RUSLE, SIG, cambio climático

ABSTRACT

Erosion is a natural phenomenon involving the wearing away and loss of soil due to factors such as wind, water, or various human activities. However, when this process is intensified by events such as vegetation fires, the environmental problem is considerably aggravated. In this context, the objective of this research was to analyze the environmental interaction of vegetation fires on water erosion through the application of Geographic Information Systems (GIS) in the Mataquí hydrographic sub-basin. The interaction is mainly related to anthropogenic and cultural causes, notably uncontrolled agricultural burning (30.6%) and climate change (19%), which prolongs droughts and raises temperatures. Deforestation (27%) also exposes the soil to the erosive action of rain and wind, as does uncontrolled agricultural burning (19.5%). The RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) model was used to estimate erosion, considering the factors of rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), length and slope (LS), land use and cover (C), and conservation practices (P). The validation of the model, with PBIAS values of 1.50% and RMSE of 1.05, confirmed its efficiency and accuracy. The results indicated that the sub-basin has an average erosion rate of 6.63 tons/ha/year, which increases to 7.26 tons/ha/year when including areas affected by fires, reaching maximum values of up to 555 tons/ha/year. The statistical analysis showed a significant association between the causes of fires and water erosion (Cramer's $V = 0.354$; $p < 0.001$), confirming their direct relationship.

Keywords: Vegetation fires, soil erosion, RUSLE model, GIS, climate change

CAPÍTULO I

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Revisión de antecedentes

La principal causa del origen de los incendios en el cantón Otavalo son las quemas prescritas con un total de 31% de los casos (Quimbiulco-Andrango y Suarez-Burgos, 2024). Por otro lado, el 24% de los participantes de la encuesta lograron asegurar que las quemas agrícolas que se encuentran fuera de control han sido generadas por el uso de fuego para preparar el terreno. Además, el 41,6% de la población encuestada menciona que el cambio climático es un factor que incide en la ocurrencia de los incendios. Así mismo, García-Manosalvas y Tuquerres-Ipiales (2024), mencionan en su estudio sobre las causas de los incendios en el cantón Ibarra que, la principal causa de incendios son las quemas prescritas que se salen de control con un 51% de los casos.

Los incendios de cobertura vegetal a lo largo de la historia han sido provocados por varios factores. Mora-Gil (2020), menciona que los incendios de cobertura vegetal son generalmente producidos por descuidos humanos y en ocasiones son provocados intencionalmente. Manta et al. (2018), indica en su estudio sobre las causas de los incendios en la región andina de Perú, que la causa más destacada de los incendios es la actividad ganadera con un 60% de todos incendios estudiados seguida de la agricultura con un 30%, principalmente al momento de realizar las quemas agrícolas que dependiendo de las condiciones climática pueden salirse de control y provocar un incendio. En Ecuador la mayoría de los incendios de cobertura vegetal son causados por la actividad humana, esto debido a que la población usa el fuego como una herramienta de trabajo (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2019).

En Colombia existe una alta correlación entre los incendios de cobertura vegetal y los cultivos ilegales con la deforestación. Según Mora-Gil (2020), el cambio de cobertura de suelo en especial de vegetación nativa arbórea por especies

exóticas como el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y el pino (*Pinus radiata*) que se usan en plantaciones favorecen la propagación de los incendios debido a que estas especies son pirófilas. Además, los incendios de cobertura vegetal en los llanos en Colombia tienen mayor ocurrencia en temporada seca y están estrechamente ligados con la extensión de la frontera agrícola y pecuaria, asimismo, existe una relación entre la diversidad de ecosistemas, temperatura y precipitación que determinan la actividad de los incendios. Por su parte, en las regiones andinas de Perú la mayor parte de incendios ocurre en la época seca lo que demuestra que el clima es el principal promotor de los incendios de cobertura vegetal en zonas andinas (Armenteras et al., 2020). Amaya-Villabona y Dolors-Armenteras (2012) mencionan que las zonas de páramo y subpáramo presentan gran incidencia de incendios debido al impacto de las variables climáticas y la rápida expansión de la frontera agrícola en especial en época seca lo que ha permitido que los cultivos como la papa se encuentren cerca de estas zonas.

Los incendios de cobertura vegetal son un factor negativo importante en los ecosistemas ya que crean perturbaciones que alteran los paisajes, desde ecosistemas como las sabanas hasta los humedales. Sin embargo, en los últimos años los incendios en varias zonas del planeta han incrementado debido al uso del suelo y el cambio climático. Los rayos se mantienen como la principal causa natural de los incendios, mientras que la actividad humana ha surgido como la principal razón directa e indirecta de los incendios de cobertura vegetal en algunos ecosistemas del planeta (San Martín et al., 2023). Según lo mencionado en el estudio de Castro y Coruña (1996) los cambios de las condiciones físicas del suelo después de un incendio modifican la capacidad de infiltración y, por lo tanto, asumen la responsabilidad del incremento de la escorrentía y erosión, de este modo la cantidad de material erosionado depende de la intensidad del fuego.

Arias-Muñoz et al. (2023), mencionan en su investigación realizada en la cuenca media alta del río Mira que la erosión es un problema grave, ya que esta se presenta con valores que ascienden hasta 812.30 ton/ha/año confirmando la tendencia a la susceptibilidad, esto se ve influenciado por diferentes agentes como

el agua y el viento. En las distintas coberturas de suelo, las tasas de erosión excedieron el umbral en zonas tropicales donde el valor es 10 ton/ha/año. En los bosques y paramos esta situación se presenta debido a que las superficies están ubicadas en zonas elevadas con pendientes medias que varían entre 25 % y 30 % y entre 54° y 82° ya que se localizan en relieves volcánicos, colinados y muy altos. En complemento Thomas et al. (2018), afirma que las actividades humanas desarrolladas como la deforestación, la agricultura presente en laderas y el sobrepastoreo han agravado el impacto de este proceso, dando como resultado la incrementación en la pérdida del suelo y la degradación de los diferentes ecosistemas.

1.2 Problema de investigación y justificación

A nivel global los incendios de cobertura vegetal generan un impacto negativo en las áreas de cobertura vegetal, siendo considerados como un peligro por las consecuencias sociales, ambientales y económicas que pueden producir. Los incendios se han generado con mayor intensidad y severidad, pero también hubo épocas en los que su presencia fue mínima y con baja intensidad. En el tiempo actual, el cambio climático ha permitido observar que se generan con mayor intensidad, extensión, severidad y duración (Rodríguez-Trejo, 2012). En Latinoamérica, el incremento de incendios de cobertura vegetal se encuentra relacionado con épocas de sequía, particularmente presentados en la cuenca Amazónica donde se ha relacionado con estos eventos climáticos extremos siendo uno de ellos el fenómeno de El Niño (Armenteras et al., 2020).

Los incendios de cobertura vegetal en Ecuador se presentan la mayoría de las veces como respuesta de actividades antrópicas, se considera que los humanos son responsables del 95% de los mismos. Según las culturas, en algunas comunidades se queman diferentes desperdicios agrícolas fomentando al desarrollo de incendios (Pazmiño, 2019). Es crucial comprender que algunos incendios son generados con intención de causar daño, se conocen diferentes tipos entre ellos las personas conocidas como pirómanos, las cuales padecen trastornos que las llevan a

provocar incendios, también existen incendiarios intencionales, los cuales pueden ser contratados por factores políticos, asimismo se presentan incendios de carácter religiosos o culturales, los cuales son iniciados como parte de diferentes rituales, existen incendios con propósitos agrícolas, donde se generan incendios para despejar espacios de tierra (Játiva-Yépez, 2013).

Según el informe No. 57 de la Secretaría de Gestión Riesgos emitido en el año 2023, en el Ecuador se suscitaron 3,571 incendios de cobertura vegetal, los cuales ocasionaron la pérdida de 33,146.34 hectáreas de cobertura vegetal. Las provincias que presentan más pérdida de cobertura son: Loja, Imbabura, Azuay, Carchi, Cotopaxi, Pichincha, Chimborazo y Guayas (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2023). Es crucial comprender que los incendios generan un aumento en la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica, generando grandes pérdidas en servicios ambientales de gran importancia entre ellos: infiltración, pérdida de nutrientes, alteración en la vegetación y decrecimiento de la materia orgánica (Tálamo et al., 2016). En enero de 2024 en Imbabura se reportaron 10 incendios con 65.33 hectáreas de cobertura quemadas (Secretaría de Gestión de Riesgos, 2024).

En los incendios de cobertura vegetal la pendiente es un factor importante, pudiendo definir el desplazamiento del fuego, esto debido a que si la pendiente es ascendente será más rápido al contrario de una pendiente descendente donde se presentarían con lentitud (Alfonso-Martínez y Montealegre-Ramirez, 2021). Los incendios relacionados a las actividades socioeconómicas tales como: la ganadería, prácticas agrícolas, limpia de cultivos, expansión de la frontera agrícola han generado la pérdida de vegetación y fauna, así como la muerte de varias especies autóctonas. Además, la pérdida de cobertura vegetal por incendios provoca que el suelo quede expuesto a agentes erosivos como el agua y el viento, los mismos que se incrementarán debido a la destrucción de la materia orgánica y de la destrucción de la estructura del suelo (Sabuco-Cárdenas, 2013).

Este estudio se enmarca en el análisis de las causas socioambientales de los incendios de cobertura vegetal y la erosión, para esto es crucial dimensionar la importancia de los ecosistemas terrestres como se menciona dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, aquí se resalta que los ecosistemas son primordiales para el desarrollo integral del ser humano y las especies que en ellos interactúan, no obstante, a pesar de su evidente valor para el ser humano, muchos de estos ecosistemas se han visto perjudicados por los incendios de cobertura vegetal que tiene una estrecha relación con el cambio climático generando como consecuencias; la pérdida de bosques, degradación de los suelos y la pérdida de biodiversidad, por otro lado los incendios destruyen hábitats naturales y afectan la salud del ecosistema, luego de un incendio la erosión tienden a degradar aún más el suelo, afectando su capacidad de recuperación (ONU, 2015).

En el Ecuador la principal causa de la degradación del suelo es la erosión, siendo esta uno de los principales problemas ambientales, ya que puede generar pérdida de la fertilidad del suelo y aumento de sedimentos (Arias-Muñoz et al., 2023). La poca existencia de estudios sobre el tema lleva a generar una investigación la cual está centrada en el proyecto de investigación titulado “Estudio Comparativo de la Pérdida de Suelo por Erosión en las Principales Cuencas Hidrográficas de la Provincia Imbabura” el cual busca identificar los factores que influyen en la erosión de las cuencas relacionándolos con el cambio climático y la alteración en el uso del suelo.

En el cantón Pimampiro los incendios han ido aumentando considerablemente en los últimos años, por lo tanto, es indispensable conocer las causas socioambientales de los incendios. Sin embargo, a pesar de la problemática no se ha realizado estudios sobre las causas socioambientales de los incendios de cobertura vegetal y como estos se relacionan con la erosión del suelo en este sector. De modo que, esta investigación ofrecerá información sobre los impactos ambientales y sociales generados por los incendios de cobertura vegetal en el cantón Pimampiro.

Por medio de este estudio se espera contribuir con la conservación de los recursos naturales en Ecuador, como se indica en el objetivo 11 del Eje Transición Ecológica del Plan de Creación de Oportunidades, mencionando la importancia de conservar, restaurar, proteger y usar sosteniblemente los recursos naturales, regulando los asentamientos humanos en zonas de planificación diferenciada teniendo en cuenta los límites biofísicos y el patrimonio natural creando políticas específicas para la protección de los ecosistemas (Secretaría Nacional de Planificación, 2021). Así mismo, este estudio se alinea con el objetivo 7 del Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador, en el cual se hace énfasis en la conservación de los ecosistemas (Secretaría Nacional de Planificación, 2024).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Analizar la interacción ambiental entre los incendios de cobertura vegetal y las zonas susceptibles a erosión mediante la aplicación de Sistemas de Información Geográfica en la subcuenca hidrográfica Mataquí, cantón Pimampiro.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las causas socioambientales de los incendios de cobertura vegetal y la erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica Mataquí.
- Zonificar la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal y erosión hídrica.
- Analizar los efectos de las áreas incendias por incendios de cobertura vegetal en la susceptibilidad a erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica Mataquí.

1.4 Preguntas directrices de la investigación

- ¿Cuál es la interacción entre incendios de cobertura vegetal y la erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica Mataquí?

- ¿Cuáles son las principales causas de los incendios de cobertura vegetal y la erosión del suelo en la subcuenca hidrográfica Mataquí?

1.5 Hipótesis

Existe correlación entre las causas de las áreas quemadas por incendios de cobertura vegetal y las causas de la erosión hídrica

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1. Incendios de cobertura vegetal

Aunque los incendios pueden ser un mecanismo natural en algunos ecosistemas, la intervención humana ha alterado estos procesos, lo que ha llevado a consecuencias significativas para el equilibrio ecológico. Según Depietri y Orenstein (2019), esta alteración ha provocado que los ecosistemas pierdan su capacidad de proporcionar ciertos servicios ecosistémicos, subrayando la importancia de comprender la dinámica de los incendios de cobertura vegetal y su relación con la actividad humana para implementar estrategias de gestión adecuadas.

2.1.1. Tipos de incendios

Los incendios se dividen en tres tipos, los incendios de subsuelo, incendios de superficie, incendios de copa (Tabla 1) cada uno de ellos posee diferentes características.

Tabla 1. *Tipos de incendios de cobertura vegetal y sus principales características*

Tipos	Definición
Incendios de subsuelo	Son más incandescentes, se arrastran lentamente bajo la superficie del suelo con poca combustión.
Incendios de superficie	Se desplazan al nivel del suelo, tienen una intensidad variable y arden lentamente. Los incendios de baja intensidad queman hierbas, ramas secas, hojarasca.
Incendios de copa	Pueden ser provocados por un incendio de superficie, cuando alcanza las ramas de los árboles a través de los troncos. La mayoría de estos incendios son propagados por fuertes vientos y son favorecidos por pendientes pronunciadas.

Nota: Modificado de Keller y Blodgett (2007)

2.1.2. Fases de un incendio

Keller y Blodgett (2007) clasifican las fases de un incendio de la siguiente manera:

- **Preignición** es cuando una fuente de combustible logra unas condiciones de temperatura y contenido de agua que benefician la ignición. La preignición abarca dos procesos el precalentamiento y el proceso de pirólisis.
- **Combustión** empieza con la ignición, en esta fase las reacciones externas liberan energía en forma de luz y calor.
- **Extinción** es un proceso en el cual la combustión termina debido a que ya no existe calor ni el suficiente combustible para sostener el proceso de combustión.

2.1.3. Consecuencias de los incendios

Los incendios de cobertura vegetal tienen consecuencias profundas y variadas en los sectores sociales, ambientales y económicos. Cuando se produce un incendio, los pobladores cercanos pueden verse expuestos al humo, al fuego y a los subproductos resultantes de la combustión de materiales como madera, plásticos y otros químicos. Esta exposición puede aumentar la incidencia de enfermedades respiratorias (Sabuco-Cárdenas, 2013). Desde una perspectiva ambiental, los incendios conducen a la pérdida de biodiversidad, a la reducción de la calidad del aire y del agua, y a la erosión del suelo. En áreas rurales, el impacto económico es considerable, ya que muchas de estas economías dependen directamente de la disponibilidad de recursos naturales, los cuales se ven severamente comprometidos tras un incendio (Mora-Aliseda et al., 2024).

2.2. Factores climáticos que inciden en los incendios de cobertura vegetal y la erosión

Según Pazmiño (2019), diversos factores climáticos juegan un papel crucial en la ocurrencia y comportamiento de los incendios de cobertura vegetal. Entre las variables meteorológicas más relevantes se encuentran la velocidad del viento, la humedad relativa, la temperatura y la precipitación, el cambio climático, la evotranspiración y la pendiente (Tabla 2). Estas variables afectan en aspectos fundamentales de los incendios, como la ignición, la velocidad de propagación y la intensidad del fuego. En particular, se ha encontrado que la probabilidad de que se inicie un incendio de cobertura vegetal aumenta significativamente en condiciones de altas temperaturas, baja humedad relativa y escasa precipitación.

Tabla 2. Factores climáticos presentes en los incendios y la erosión hídrica

Factor climático	Descripción
Temperatura	Serrada-Hierro (2011), señala que las altas temperaturas aceleran el proceso de evaporación del agua en la vegetación, lo que reduce la cantidad de energía necesaria para iniciar un incendio, aumentando así la facilidad de ignición y propagación del fuego.
Humedad relativa de aire	Una baja en la humedad relativa del aire disminuye el contenido de agua en la vegetación, elevando la vulnerabilidad a incendios, especialmente en zonas con sequías prolongadas (Serrada-Hierro, 2011).
Precipitación	Según Michalijos et al. (2022), un nivel adecuado de precipitación puede reducir el riesgo de incendios ya que mantiene la cobertura vegetal húmeda. Por otro lado, la escasez de esta aumenta la vulnerabilidad de los ecosistemas al fuego.
Cambio climático	La disminución de precipitación es el mayor efecto del cambio climático, generando así sequías y estas a la vez reducen la humedad vegetal y aumenta la propagación de incendios (González et al., 2011).
Velocidad del viento	La presencia de vientos fuertes influye en la intensidad de un incendio, ya que reduce el contenido de humedad y suministra oxígeno que alimenta la combustión y dificulta su control (Arias-Muñoz et al., 2024).

Evapotranspiración	Los aumentos de temperatura generan mayor evapotranspiración, obteniendo como resultado menor humedad del suelo y vulnerabilidad de la cubierta terrestre (Arias-Muñoz et al., 2024).
Pendientes	En la existencia de pendientes pronunciadas el fuego tiende a propagarse más rápido ya que el calor es transmitido con mayor facilidad hacia la vegetación situada en niveles superiores (Arias-Muñoz et al., 2024).

2.3. Erosión hídrica

La erosión hídrica tiene múltiples repercusiones, incluyendo la pérdida de suelo fértil, lo que resulta en una reducción de la productividad agrícola y un incremento en el uso de fertilizantes. Además, puede provocar la sedimentación de cuerpos de agua, lo que lleva a una reducción en su capacidad de almacenamiento y a un deterioro de la calidad del agua. Otro efecto notable es la degradación del paisaje, que a su vez genera una pérdida de estabilidad en el suelo y afecta la biodiversidad de los ecosistemas (Santillán et al., 2023).

2.3.1. Sedimentos en la erosión hídrica

Este proceso inicia con el transporte de partículas de gran tamaño presentes en el suelo, las cuales son desplazadas desde las áreas elevadas de una cuenca. A medida que estas partículas se trasladan, experimentan una reducción en su tamaño y, finalmente, se depositan en el fondo de las cuencas en forma de sólidos totales disueltos. Es importante destacar que la velocidad del flujo de agua influye directamente en la sedimentación; a mayor velocidad de flujo, se incrementa la sedimentación (Ballesteros y Ñacato, 2020).

2.4. Causas de los incendios de cobertura vegetal y la erosión del suelo

Entre las causas naturales de los incendios de cobertura vegetal se encuentran fenómenos como rayos, erupciones volcánicas, autocombustión de materia vegetal, así como altas temperaturas y sequías. Estos últimos factores crean condiciones propicias para el inicio y propagación de incendios de cobertura

vegetal, aumentando su riesgo y gravedad. Por otro lado, las causas naturales de la erosión hídrica incluyen lluvias intensas, viento, acción del agua, cambios climáticos naturales y la deforestación (Ramos-Rodríguez et al., 2020).

Es importante destacar la interrelación entre los incendios y la erosión del suelo las cuales comparten causas que las provocan como el uso ganadero, la agricultura y la deforestación (Tabla 3). Tras un incendio, la pérdida de vegetación que protege el suelo deja la superficie expuesta y vulnerable a la erosión, tanto por agua como por viento. La desnudez del suelo incrementa la susceptibilidad a la erosión hídrica, ya que la ausencia de vegetación reduce la capacidad de absorción del agua. Esto se traduce en un aumento del escurrimiento superficial, donde las precipitaciones fuertes pueden intensificar aún más la erosión (Zavala *et al.*, 2014). Esta dinámica resalta la necesidad de abordar ambos fenómenos de manera integrada para mitigar sus efectos adversos en los ecosistemas.

Tabla 3. *Causas presentes en los incendios y la erosión hídrica*

Causas	Descripción
Uso agrícola y ganadero	Las quemadas no controladas se ven asociadas a actividades como uso agrícola y ganadero, estas se presentan como una de las principales causas de los incendios de cobertura vegetal, aumentando así la erosión del suelo y reduciendo la fertilidad de este (Ramos-Rodríguez et al., 2020).
Deforestación	La pérdida de cobertura vegetal junto a la ocurrencia de incendios provoca daños de gran consideración en el medio ambiente, incluyendo a la erosión hídrica, la contaminación de los sistemas acuáticos y del aire (Conopoima-Moreno, 2023).

2.4.1 Efectos de los incendios en ecosistemas terrestres

Los incendios de cobertura vegetal son considerados una de las principales perturbaciones que enfrentan los ecosistemas terrestres, ya que generan cambios notables en la estructura, dinámica y diversidad. La ocurrencia de estos eventos ya sean de origen natural o antrópico impactan de manera directa e indirecta a los elementos presentes en el mismo. El efecto más evidente es la pérdida de cobertura

vegetal, afectando a la biomasa y a la biodiversidad de especies, esta afectación genera la reducción de la población animal al destruir sus fuentes de alimento y hábitats. Sin embargo, en muchas situaciones el fuego cumple una función de regulación ya que favorece a la regeneración de especies que pueden encontrarse adaptadas al fuego, facilitando así una sucesión ecológica (Montorio-LLovería et al., 2014).

Los incendios de cobertura vegetal inciden en los ciclos biogeoquímicos, con mayor particularidad en el ciclo del carbono, debido a la emisión de gases de efecto invernadero como dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO) y metano (CH₄) contribuyendo al calentamiento global. Adicionalmente la liberación de partículas y compuestos deterioran la calidad del aire generando complicaciones para la salud de las personas y la fauna (Andreae & Merlet, 2001).

2.4.2 Percepción ambiental y su rol en la gestión de riesgos naturales

La percepción ambiental de las personas en una comunidad es un factor muy importante a la hora de hablar de gestión de riesgos naturales. Existen varios factores que influyen en este comportamiento como lo son las variables personales, las culturales y las del propio entorno físico (Salgado-Vargas & Baeza-Freer, 2024). Según Groves (2019) los factores más importantes que determinan la percepción de los riesgos ambientales son el sexo, edad, valores culturales y niveles económicos, de igual manera existen ideas sobre el ambiente incluyendo visiones naturalistas, éticas, prácticas que influyen en la percepción de la sostenibilidad. La percepción antes riesgo ambientales como los incendios de cobertura vegetal es de gran importancia para las comunidades, esta percepción permite mejorar la toma de decisiones de la comunidad ante un desastre natural (Altamirano & Ordóñez-Bernal, 2021).

2.4.3 Instrumentos de recolección de datos sociales

Dentro de los instrumentos más conocidos para la recolección de datos se encuentran las encuestas. Las encuestas ayudan al investigador a obtener información sobre las variables que intervienen dentro de la investigación a una

población o una muestra, hay diferentes tipos de encuestas entre ellas están las exploratorias, descriptivas, explicativas, predictivas y evaluativas, el uso de estas depende del tipo de investigación y los objetivos principales de la investigación (Díaz de Rada-Igúzquiza, 2002). Las encuestas cuentan con escalas de medición dependiendo de lo que se quiere obtener, entre las clases de escalas encontramos las primarias, comparativas, no comparativas e itemizadas, estas escalas sirven para obtener información de las personas, cosas, sucesos e ideas (Mejía-Trejo, 2019).

2.4.4 Uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la modelación de erosión hídrica

Los SIG han sido utilizados para diferentes aspectos ambientales como el manejo de los recursos y el ordenamiento del territorio, así como la zonificación de la susceptibilidad a la erosión mediante modelos como USLE, MUSLE, SWAT, WEPP, LISEM y EPM (Hoyos et al., 2006). Uno de los modelos más usados es el modelo USLE (Universal Soil Loss Equation) es una propuesta para calcular la erosión laminar y en canalillos. Consta de 5 factores, el factor de erosividad de la lluvia (R), la erosionabilidad del suelo (K), la longitud y el grado de pendiente (LS), de cultivo y manejo de cultivo (C), y las prácticas de manejo (P) (Prado-Hernández et al., 2017).

Otro de los modelos usados para estimar la erosión es el modelo MUSLE o Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada, es un modelo que se usa especialmente en áreas agrícolas, se muestra como una modificación al modelo USLE y consiste en cambiar el factor R que se refiere a la erosividad de la lluvia por el escurrimiento superficial y el caudal pico de una tormenta, este cambio es realizado con el fin de calcular la producción de sedimentos en eventos (Prado-Hernández et al., 2017).

El modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) es un modelo hidrológico que se encuentra semi-distribuido que permite simular el balance hídrico de forma espacial y temporal, fue diseñado para pronosticar el impacto que

tienen las prácticas de conservación de suelo en la generación de escurrimientos y sedimentos (Colín-García et al., 2023). El proceso empieza dividiendo la cuenca en subcuencas y estas en Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU), este modelo utiliza información de la estación meteorológica más cercana y se simula el ciclo hidrológico de cada HRU en función del balance hídrico, además utiliza una serie de variables como el escurrimiento superficial, modelación del movimiento vertical del agua, evaporación del suelo y plantas, índice foliar, etc (Gassman et al., 2007).

Modelo Proyecto de Predicción de la Erosión Hídrica (WEPP) fue desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) este modelo permite cuantificar el desprendimiento de las partículas del suelo, así como su transporte y sedimentación, tiene como base los procesos de infiltración, escurrimiento superficial, crecimiento de las plantas, descomposición de los residuos, consolidación del suelo y mecanismos de erosión (Chartier & Rostagno, 2018). Su principal característica es que se basa en procesos físicos e hidrológicos lo que otorga capacidad para representar los procesos bajo diferentes condiciones (Nearing et al., 1989).

El modelo de Erosión del Suelo de Limburgo (LISEM) es un modelo hidrológico con base física, este simula la escorrentía y los sedimentos desplazados a nivel de cuenca por la precipitación e incorpora ciertas variables como la lluvia, la intercepción, el almacenamiento superficial en microdepresiones, la infiltración, entre otras, este modelo fue uno de los primeros basados en la física que está completamente integro en un SIG, esto permite su aplicación de forma sencilla en cuencas hidrográficas y permite el uso de datos obtenidos a través de teledetección desde aviones o satélites (De Roo et al., 1996).

EL EPM o Modelo de Erosión Potencial se usa actualmente en los SIG, anteriormente era llamado el método Gavrilovic, fue calibrado usando datos de campo de la cuenca del río Morava en Serbia, es un método semicuantitativo que hace una relación de la erosión de las tierras altas, es decir, la erosión bruta con la producción de sedimentos, el resultado son tasas de erosión de suelo

promediadas anuales (Bezak et al., 2024). Este método considera diversos procesos erosivos como laminar, en surcos, entre surcos y en cárcavas y cuenta con 4 factores el coeficiente de erosión, el área de drenaje, la precipitación media anual y la temperatura media anual de la cuenca (Marques da Silva et al., 2014).

2.4.5 Índice normalizado de área quemada (NBR)

Dentro del monitoreo ambiental, el Índice Normalizado de Quema (NBR) se constituye como una herramienta de teledetección empleado para la identificación y evaluación de áreas afectadas por incendios de cobertura vegetal. Este índice realiza la combinación entre dos bandas espectrales que responden al fuego de manera más contrastada, infrarrojo cercano (NIR) cuya reflectividad desciende por la desaparición de la vegetación y el infrarrojo medio de onda corta (SWIR) donde su reflectividad aumenta por la pérdida de humedad, la mayor exposición del suelo y las menores sombras proyectadas por la vegetación. En este sentido los valores elevados del NBR representan zonas con vegetación en buen estado, mientras que valores bajos representan superficies que han sido quemadas o degradadas, la diferencia que se genera antes y después del evento permite conocer el grado de severidad de un incendio (López & Caselles, 1991).

2.4.6 Incremento en la erosión hídrica en áreas quemadas

Tras un incendio, la pérdida de cobertura vegetal expone al suelo a agentes erosivos como la lluvia o el viento, incrementando la susceptibilidad a la erosión hídrica. Las altas temperaturas modifican la estructura y composición del suelo, destruyen la materia orgánica presente y originan capas superficiales repelentes al agua que limitan la infiltración del agua. Debido a este fenómeno aun las precipitaciones de baja intensidad pueden generar escorrentías que arrastran partículas de suelo y aceleran el desprendimiento y transporte de sedimentos. La erosión hídrica luego de un incendio puede derivar en pérdida de la capa fértil y sedimentación en los ríos cercanos, afectando la calidad del recurso hídrico (Wondzell & King, 2003).

2.4.7 Modelo RUSLE

El modelo RUSLE, por sus siglas en inglés (Revised Universal Soil Loss Equation), es una herramienta valiosa para estimar la erosión del suelo a nivel anual promedio. Según Casanova-Ruiz et al. (2024), este modelo cuantifica la pérdida de suelo causada por erosión laminar y en surcos, teniendo en cuenta diversos factores que influyen en el proceso erosivo. Entre estos factores se incluyen la erosividad de la lluvia (R), la erodabilidad del suelo (K), la longitud y el grado de pendiente (LS), el uso y la cobertura del suelo (C), y las prácticas de conservación (P). La integración de estos elementos permite una evaluación más precisa del riesgo de erosión en diferentes contextos, lo que es fundamental para el desarrollo de estrategias de manejo sostenible del suelo.

2.5. Marco legal

La investigación se enmarca en la normativa legal ambiental del Ecuador, que se detalla a continuación conforme lo establecido en la pirámide de Kelsen (Figura 1).

2.5.1. Objetivos del desarrollo sostenible (ODS)

El marco legal de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) resalta la importancia de proteger los ecosistemas terrestres, como lo establece el ODS 15, el cual busca conservar la biodiversidad y combatir la degradación de los suelos. La ONU, en su resolución de 2015, destaca la necesidad de tomar medidas para detener la destrucción de hábitats y mitigar los efectos de los incendios de cobertura vegetal, que están relacionados con el cambio climático. Estos incendios dañan los bosques, aumentan la erosión y disminuyen la capacidad de recuperación del suelo, afectando tanto a la naturaleza como a las comunidades humana (ONU, 2015).

2.5.2. Acuerdo de París

El Acuerdo de París, firmado en el 2015 hace representación a un esfuerzo global para restringir el incremento de la temperatura media mundial a menos de 2°C , incluyendo compromisos para la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y realizar una transición a energías más sostenibles, promoviendo la resiliencia y adaptación a los efectos del cambio climático, este acuerdo reconoce la importancia de abordar los incendios los cuales se constituyen como una amenaza para los ecosistemas y contribuyen a la emisión de dióxido de carbono. Para esto, se incentivan mecanismos financieros que apoyen a los diferentes países para su adaptación a estos desafíos (Organización de las Naciones Unidas, 2015).

2.5.2.1. Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD)

Adoptado en 1992, el convenio sobre la diversidad biológica tiene como objetivo la preservación de la biodiversidad, el uso de manera sostenible de sus elementos y la distribución equitativa de los beneficios que son derivados de los recursos genéticos también se incluyen medidas para la protección del suelo y la prevención de la erosión. Se reconoce que la diversidad es esencial no solo para el bienestar del ser humano sino también para la salud del planeta, asegurando así que las futuras generaciones puedan disfrutar de los recursos naturales en óptimas condiciones (Organización de las Naciones Unidas, 1992).

2.5.2.2. Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación (UNCCD)

La Convención de la Lucha Contra la Desertificación está dirigida a combatir la desertificación y mitigar los efectos presentes en las sequias, promoviendo así practicas sostenibles para la gestión de las tierras y la restauración de los suelos, así también la convención se enfoca en zonas áridas, semiáridas,

subhúmedas y secas donde se pueden encontrar algunos de los ecosistemas más vulnerables (Organización de las Naciones Unidas, 1996).

2.5.3. Constitución de la República del Ecuador

Constitución de la República del Ecuador (2008) menciona en el Capítulo VII, Artículo 276, recuperar y conservar la naturaleza a fin de preservar la calidad del suelo. Capítulo II, biodiversidad y recursos naturales decreta en el Artículo 396, que es deber del Estado adoptar políticas y medidas pertinentes para evitar los impactos ambientales negativos. Asimismo, se establece el Artículo 409, que es de interés público y preferencia nacional la preservación del suelo, principalmente su capa fértil. Con el establecimiento de normativas para la protección y uso sustentable que evite la degradación. Por otro lado, el Artículo 411 se enmarca en el apoyo que el estado proporcionará a los agricultores y comunidades para la conservación y restauración de los suelos.

En el Artículo 264, se menciona la gestión de los servicios de prevención, protección y extinción de los incendios. En el Artículo 389, se refiere a la protección del Estado a las personas y la naturaleza frente a los efectos negativos de los desastres, invirtiendo una parte del presupuesto para el control de incendios. El Artículo 397, hace énfasis en el accionar del Estado en caso de daños ambientales, estableciendo un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.5.4. Código Orgánico del Ambiente (COA)

En el Título II, de los derechos, deberes y principios ambientales se menciona el derecho a vivir en un ambiente sano que comprende: la conservación y uso sostenible del suelo que prevenga la erosión y permita su recuperación. En el Artículo 197 se menciona que, todas las actividades que afecten la calidad del suelo deben ser reguladas y si es el caso serán restringidas. Artículo 261, menciona que, El Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica coordinará con las

autoridades intersectoriales la rehabilitación y protección de zonas vulnerables a sequías y degradación del suelo (Código Orgánico Del Ambiente, 2017).

En el Artículo 26 del Capítulo II, Los Gobiernos Autónomos Descentralizados de cada una de las provincias deberán elaborar planes, programas y proyectos con el fin de prevenir incendios forestales y demás riesgos que afecten la flora. El Artículo 98 del Capítulo III, la Autoridad Nacional de Agricultura y la Autoridad Nacional Ambiental deben emitir normativa técnica para prevenir y controlar incendios forestales en plantaciones forestales y sistemas agroforestales. El Artículo 273, del Título III, de los riesgos originados por eventos naturales, menciona que, la Autoridad Nacional a cargo de la Gestión de Riesgos tendrá la competencia de prevenir riesgos tales como incendios (Código Orgánico Del Ambiente, 2017).

2.5.5. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Pimampiro

En el Objetivo 1 de los objetivos presentados para el desarrollo cantonal se menciona la potenciación de la gestión y el uso sustentable del patrimonio natural del cantón con actividades productivas sostenibles, todo esto a través del diseño de propuestas innovadoras para la protección ambiental, generando así ejes de desarrollo, por otro lado se prevé incorporar a la comunidad en campañas de concientización, capacitación ambiental, gestión de riesgos y agroecología, de igual manera se impulsara un modelo de ordenamiento territorial que reduzca todo tipo de riesgo geológico y ambientales (Servicios para el Desarrollo, 2022).

2.5.6. Ordenanza que Reglamenta la Protección del Ambiente del Cantón San Pedro de Pimampiro

Concejo Municipal San Pedro de Pimampiro (2017) menciona en su Artículo 1, la importancia de evitar la contaminación de los elementos naturales aire, suelo, agua y vegetación dentro del cantón así también, el Artículo 3 menciona la generación de acciones encaminadas a prevenir, mitigar y controlar la

contaminación ambiental, sea esta de origen natural o antrópico, así como cualquier otro factor que deteriore el medio ambiente en el que se desarrolla el hombre y demás seres vivos.

2.5.6.1. Ordenanza que Regula la Gestión de los Servicios de Prevención, Protección, Socorro y Extinción de Incendios en el Cantón San Pedro De Pimampiro

En su Artículo 2, menciona que el objetivo de esta ordenanza se basa en establecer normas de carácter general que se relacionen con la gestión de riesgos a los que se encuentran expuestos los ciudadanos del cantón, todas estas con el fin de prevenir y disminuir las posibles consecuencias, el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal (GADM) deberá controlar, planificar y ejecutar medidas orientadas a la prevención, protección y socorro que permitan enfrentar las amenazas y de esta manera extinguir los incendios en el territorio (Concejo Municipal San Pedro de Pimampiro, 2019)

Figura 1. Sustento legal de investigación

PIRAMIDE DE KELSEN



CAPÍTULO III

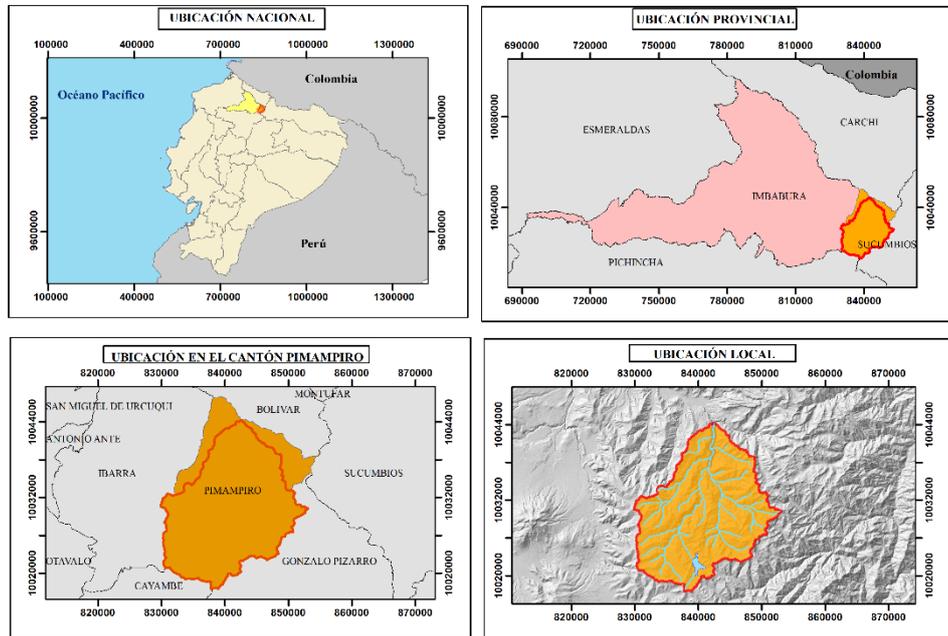
3 METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

La subcuenca del río Mataquí se encuentra ubicada en el cantón de Pimampiro en la provincia de Imbabura, cuenta con 35,805 hectáreas aproximadamente, esta subcuenca forma parte de la cuenca hidrográfica del río Mira, siendo esta una de las principales de la región (Servicios para el Desarrollo, 2022). En la figura 2 se presenta la subcuenca del río Mataquí, esta se encuentra ubicada en la región interandina de la cordillera de los Andes, la subcuenca abarca las parroquias Mariano Acosta, San Francisco de Sigsipamba, y parte de Chuga y Pimampiro, el río principal de la cuenca presenta una longitud de 7.76 km y cuenta con una población de aproximadamente 13,366 habitantes (Avellaneda y Villafuerte, 2008).

Según Pourrut (1995) los climas presentes en la cuenca van desde el Ecuatorial Mesotérmico Semihúmedo a Húmedo, presentando precipitaciones entre los 500 y 900 mm anuales y el clima Ecuatorial Frío de Alta Montaña, estos climas presentan un valor de humedad relativa superior al 80% y con temperaturas desde los 12 a 20 °C y 4 a 8 °C respectivamente. La subcuenca cuenta con una pendiente media de 47.17% lo que señala que la cuenca tiene un relieve montañoso.

Figura 2. Ubicación de la subcuenca del río Mataquí



3.1.1 Morfometría de la Subcuenca del Río Mataquí

La morfometría de una cuenca permite analizar la forma, el relieve y las características hidrológicas de una cuenca. Las características morfométricas de la subcuenca del Río Mataquí se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Parámetros morfométricos de la Subcuenca del Río Mataquí

PARÁMETROS DE FORMA			
PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA	CÁLCULO	INTERPRETACIÓN
Área	A	$A = 357.35\text{km}^2$	Se clasifica como una subcuenca hidrográfica
Perímetro	P	$P = 97.86\text{ km}$	El perímetro es medio
Longitud axial	La	$La = 27.38\text{ km}$	La longitud axial es la distancia máxima medida desde el punto de salida hacia la parte más distante de la cuenca.
Ancho promedio	Ap	$Ap = A/La$ $Ap = 13.05\text{ km}$	Relación entre el área y la longitud de la cuenca
Altitud mínima	Hmín	$Hmín = 1,760\text{ msnm}$	Es el punto más bajo de la subcuenca
Altitud máxima	Hmáx	$Hmáx = 4,017\text{ msnm}$	Es el punto más alto de la subcuenca

Coefficiente de compacidad	Kc	$Kc = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$ Kc = 1.44	Es una subcuenca Oval redonda a oval oblonga
Factor forma	Ff	Ff = La ² /A Ff = 2.097	Según el cálculo, la cuenca tiene un factor de forma: tiende a ser achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas
PARÁMETROS DE RELIEVE			
Altitud media	Hmed	Hmed = 3,173 msnm	La altitud media corresponde a una cuenca de montaña.
Desnivel	De	De = Hmáx – Hmín De = 2,257 msnm	El desnivel de la cuenca o variación de altitud es de: 2257 msnm
Pendiente media	Pmed	Pmed = 47.17 %	De acuerdo con el valor calculado, la subcuenca tiene: Relieve montañoso
PARÁMETROS HIDROLÓGICOS			
Longitud del cauce principal	Lcp	Lcp = 7.76 km	El cauce principal tiene una longitud: pequeña
Pendiente del cauce principal	Pcp	Pcp = 2.33 %	La pendiente media del cauce principal es propia de ríos de montaña.
Tiempo de concentración	Tc	Tc = 0.0195 * ((Lcp metro) ³ /(Cota máx – Cota mín)) ^{0.385} Tc = 81.93 min	El tiempo de concentración es de 81.93 min (1.36 h) este es el tiempo que tarda en llegar la escorrentía superficial desde el punto más lejano hasta la salida de la subcuenca.

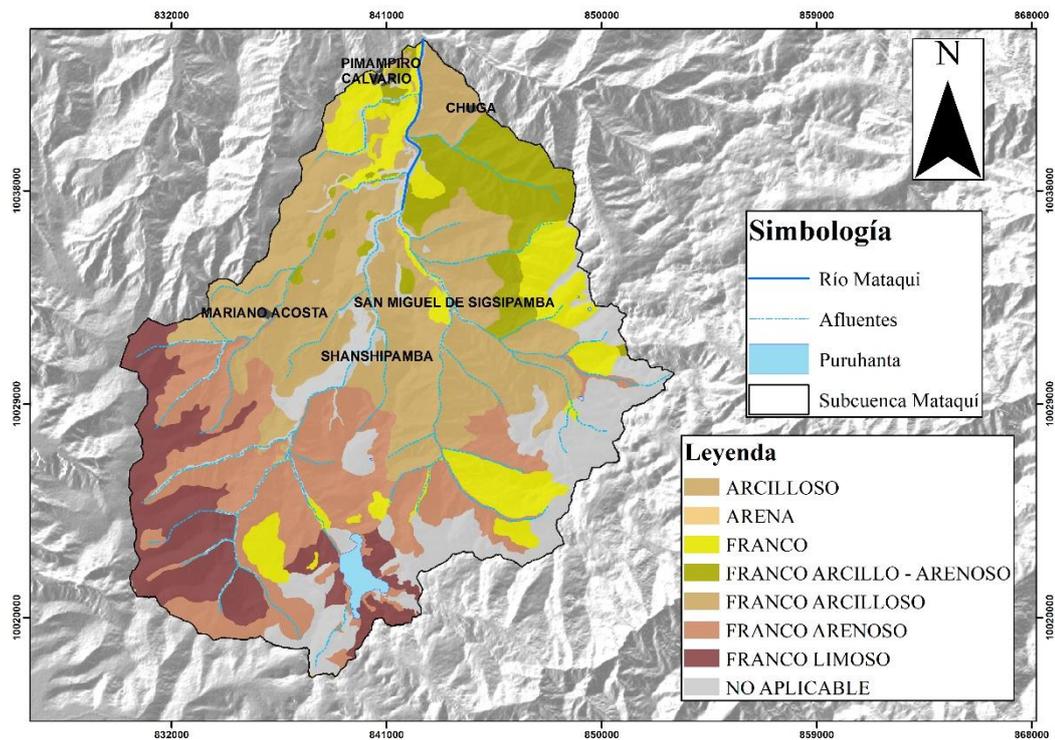
La subcuenca presenta un área de 357.35 km², la cual la clasifica como una subcuenca, la longitud axial es de 27.38 km, con un ancho promedio de 13.05 km. El coeficiente de compacidad (Kc = 1.44) sugiere una forma ovalada a ligeramente oblonga, por su lado, el factor de forma (Ff = 2.097) indica una forma achatada, lo que, facilita la concentración rápida de escorrentía y aumenta la susceptibilidad a avenidas. En cuanto a relieve la subcuenca tiene un rango altitudinal de 1760 a 4017 msnm. La pendiente media es de 47.17% la cual muestra un relieve montañoso. El cauce principal es relativamente corto (7.76 km) con una pendiente media de 2.33% característica propia de ríos de montaña. El tiempo de concentración de 1.36 h indica que el agua de lluvia recorre la subcuenca en un tiempo corto aumentando la posibilidad de crecidas tras las precipitaciones (Tabla 4).

La subcuenca presenta características morfométricas propias de regiones montañosas. Lo que la hace susceptible a procesos de escorrentía rápida, erosión hídrica y posibles avenidas.

3.1.2 Edafología de la cuenca

La subcuenca cuenta con textura de suelo mayormente de tipo franco. La mayor superficie corresponde a la textura Franco Arcilloso, con 9,714.96 ha, seguida por Franco Arenoso con 7,462.87 ha, y Franco Limoso con 3,965.61 ha. También se identifican 2,909.62 has con textura Franco Arcillo – Arenoso, y 3,938.08 ha clasificadas como Franco (Figura 4). En menor área se encuentran suelos Arcillosos (1,726.18 ha) y Arenoso (1.84 ha) siendo esta la menos representativa (Figura 3).

Figura 3. *Textura superficial del suelo en la subcuenca del Río Mataqui*



3.2 Métodos

3.2.1 Análisis de la interacción ambiental de los incendios de cobertura vegetal y la erosión

Para el análisis de la interacción ambiental se realizó una encuesta para indagar los aspectos que se vinculan con los incendios de cobertura vegetal (Tabla 5) y la erosión (Tabla 6), siendo estos los diferentes factores climáticos, las costumbres presentes en los habitantes de la cuenca hidrográfica y la variedad de actividades que se presentan en el sector. Según Bowman et al. (2009) existen dos tipos de validación, cualitativa y cuantitativa para esta investigación se empleó la validación cuantitativa, ya que permitió realizar un análisis factorial entre valores de similitud y oposición entre los individuos encuestados.

Se aplicó una prueba de la encuesta que se realizó a un grupo seleccionado de personas para verificar si las preguntas se encontraban bien elaboradas y claras, también se definió entre las personas encuestadas un grupo que tenga conocimiento del tema presentado en la investigación para poder evaluar si las preguntas que se generaron están dentro del contexto investigativo. Una vez desarrolladas las encuestas se validó los datos obtenidos para finalmente verificar que la encuesta es totalmente confiable al ser comparada con reglas establecidas y definidas para las mismas (García-Manosalvas y Tuquerres-Ipiales, 2024).

Tabla 5. *Causas socioambientales de los incendios*

Tipo de factor	Variable	Tipo de variable	Pregunta utilizada
Ninguno	Existencia de Incendios	Dependiente	¿Conoce Usted, si en su sector han existido incendios de cobertura vegetal en los últimos años?
Social	Nivel de educación	Independiente	✓ No tiene ✓ Primaria ✓ Secundaria sin finalizar ✓ Secundaria finalizada ✓ Universitaria ✓ Postgrado

Social	Quemas agrícolas sin control	Independiente	¿Conoce usted si en su sector han existido quemas agrícolas que se fueron de control y ocasionaron incendios de cobertura vegetal?
Ambiental	Rayos causantes de incendios de cobertura vegetal	Independiente	¿Ha observado usted que un rayo o relámpago cause un incendio de cobertura vegetal en su sector o comunidad?
Ambiental	Basura que puede ser un factor en la propagación de incendios de cobertura vegetal.	Independiente	¿Conoce usted si la basura en terrenos o en quebradas ha propagado o extendido un incendio de cobertura vegetal, en su sector o comunidad?
Ambiental	Cambio climático como un factor que puede generar incendios de cobertura vegetal	Independiente	¿Considera usted que el cambio climático es un factor que ocasiona más incendios de cobertura vegetal?
Social	Sanciones existentes para las personas que causen un incendio de cobertura vegetal	Independiente	¿Conoce usted sobre las sanciones legales existentes a las personas que causan incendios de cobertura vegetal?

En la tabla 6 se encuentran detalladas las variables de la encuesta sobre las causas socio ambientales de los incendios de cobertura vegetal

Tabla 6. *Causas socio ambientales de la erosión*

Tipo de factor	Variable	Tipo de variable	Pregunta utilizada
Ninguno	Existencia de erosión	Dependiente	¿Conoce usted si en su sector el suelo está erosionado?
Ambiental	Los incendios de cobertura vegetal como generadores de erosión	Independiente	¿Considera usted que los incendios de cobertura vegetal pueden ser una causa de la erosión del suelo en su sector?
Ambiental	Causas de la erosión	Independiente	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agricultura intensiva ✓ Quemas agrícolas ✓ Deforestación ✓ Otras

Una vez que se identificó el área de los incendios de cobertura vegetal dentro de la subcuenca del río Mataquí, se realizó la cuantificación la muestra representativa del lugar a encuestar utilizando la formula estadística que se menciona a continuación (ecuación 1).

$$n = \frac{(Z^2 pqN)}{(Ne^2 + Z^2 pq)} \quad (1)$$

En donde:

n: muestra

N: población

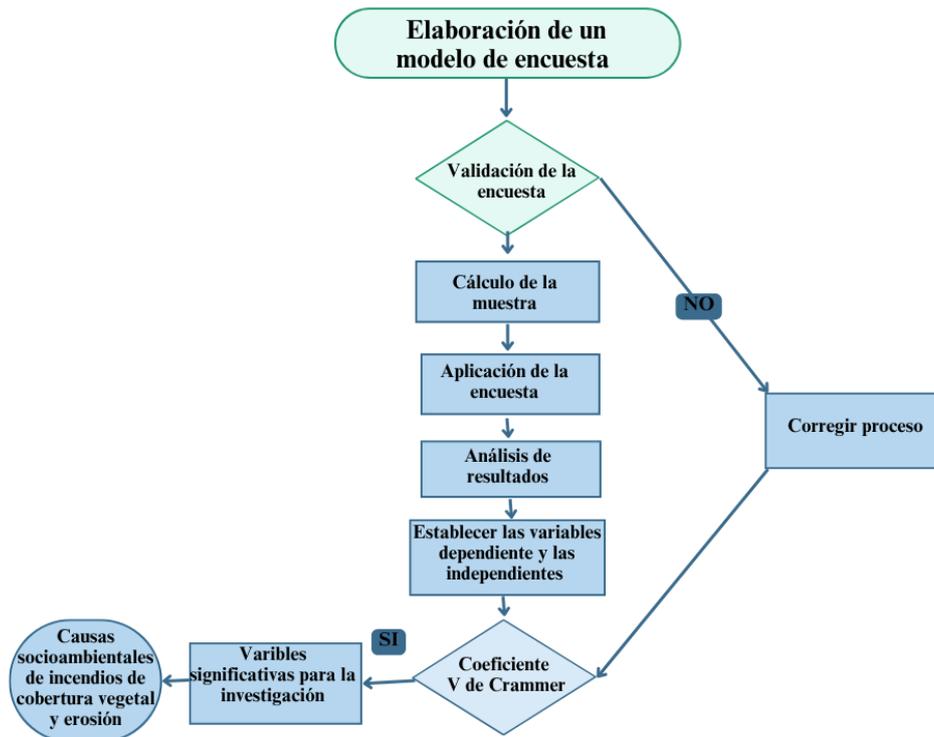
Z: nivel de confianza (Se utilizó un nivel de confianza de 95% o 90%)

p: probabilidad de ocurrencia (lo adecuado fue emplear una probabilidad de ocurrencia del 50%)

q: probabilidad de no ocurrencia (se utilizó un 50% como contrapartida al anterior elemento)

e: grado de error que puede darse en los resultados (normalmente se utilizó un grado de error del 5% o 10%).

Figura 4. Esquema metodológico para la toma de datos mediante encuestas



Para el desarrollo de la elaboración de la encuesta se siguió una metodología donde se realizó la validación de la encuesta, se calculó el tamaño de la muestra, se aplicó la encuesta y se analizó los resultados a través de la medida estadística V de Cramer, obteniendo así las variables significativas en la investigación y generando como resultado las causas socioambientales de los incendios de cobertura vegetal y la erosión (Figura 4).

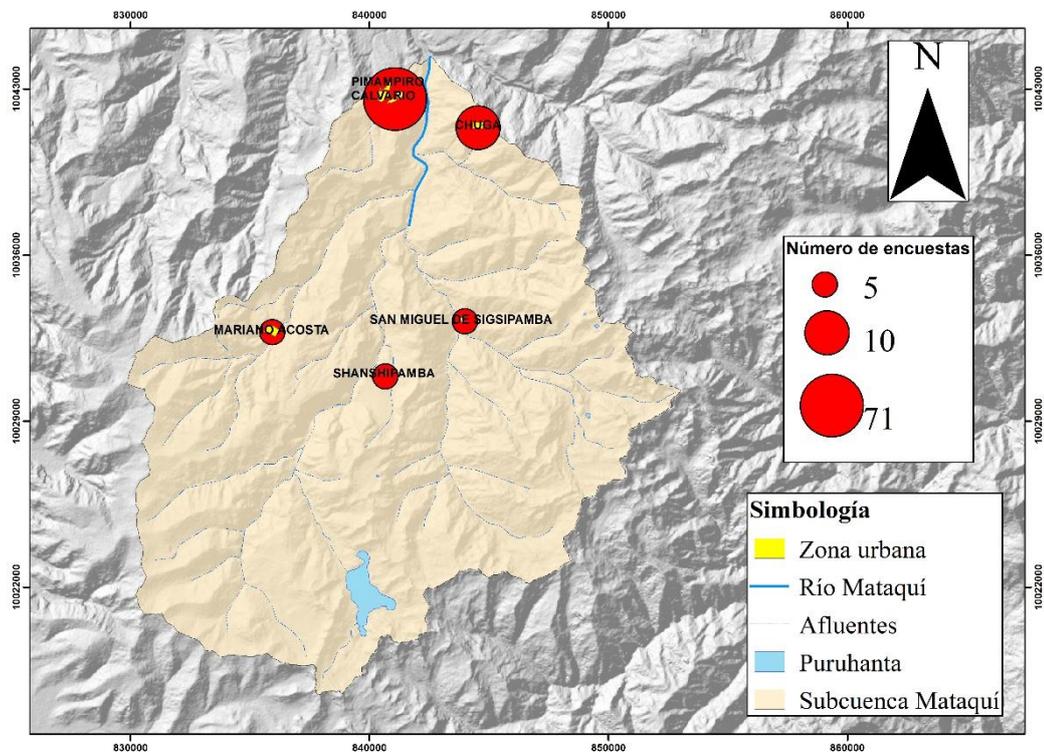
En el desarrollo del estudio se generó una muestra representativa con un total de 96 encuestas, para el desarrollo de la encuesta se asistió a domicilios, parques y lugares de trabajo (Figura 5), una vez completadas las encuestas, los datos fueron contabilizados en una matriz y fueron analizados, luego estos resultados fueron validados a través de gráficos estadísticos, entre ellos: gráficos de barras, diagramas circulares para finalmente ser interpretados.

Figura 5. Toma de encuestas en el área de estudio



Las encuestas se tomaron en las zonas pobladas dentro de la subcuenca de esta manera Pimampiro 71 encuestas, Chuga 10, San Francisco de Sigspamba 5, Mariano Acosta 5 y Shanshipamba 5 (Figura 6).

Figura 6. Distribución de las encuestas en la subcuenca



3.2.2 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos tras aplicar la encuesta fueron analizados mediante métodos estadísticos descriptivos e inferenciales, la estadística descriptiva se utilizó para presentar de forma clara las características de los datos obtenidos, por otro lado, el análisis inferencial se utilizó con el enfoque de examinar la relación entre las variables independientes con la variable dependiente. Para ello, se empleó el coeficiente *V de Cramer* una ampliación del coeficiente Phi, el cual se eligió para evaluar la fuerza de asociación entre dos variables categóricas, es empleado principalmente en tablas de contingencia que tiene más de dos categorías por variable. Los rangos de valores oscilan entre 0 y 1 (Tabla 7), donde los valores cercanos a 0 indican una asociación débil entre variables y un valor que se aproxime a 1 sugiere que se presenta una asociación fuerte entre las variables (Arias et al., 2014).

Tabla 7. Valores de referencia índice *V de Cramer*

Valores concretos del índice <i>V de Cramer</i>	Criterio
De 0 a 0,10	Asociación muy débil
Desde 0,10 hasta 0,30	Asociación débil
Desde 0,30 hasta 0,50	Asociación moderada
Desde 0,50 hasta 1,00	Asociación fuerte

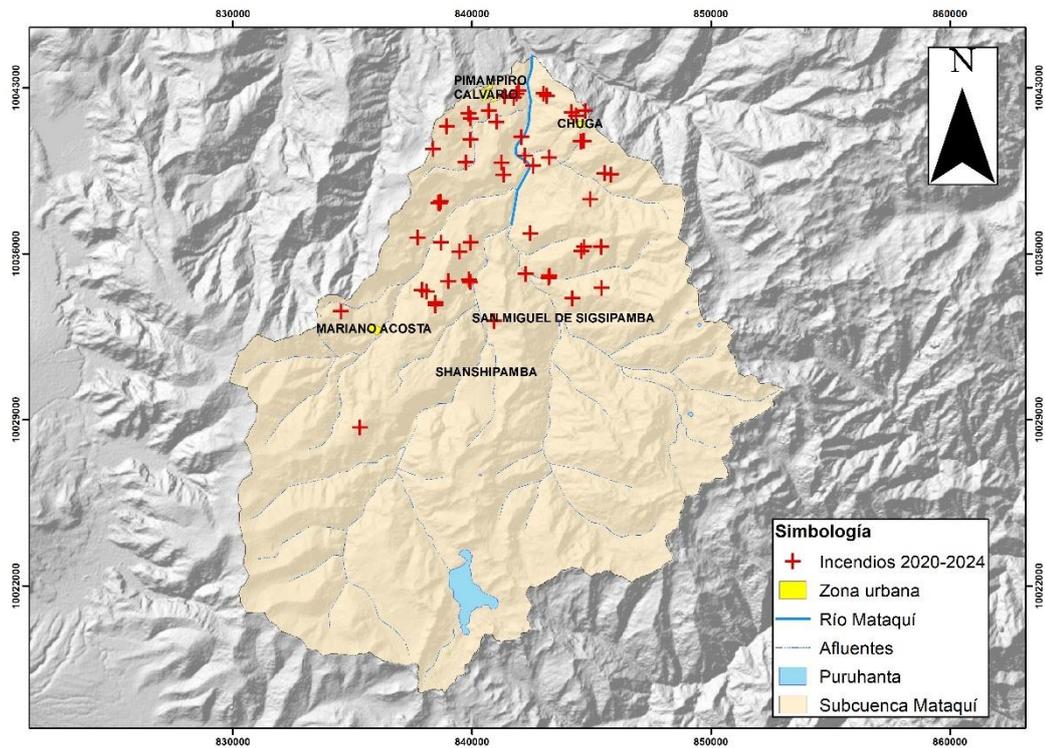
Nota: Modificado de Betancourt y Caviedes (2018).

Zonificación de la susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal y erosión hídrica

3.3 Identificación de áreas quemada por incendios de cobertura vegetal

Para la identificación de las áreas incendias se usó información sobre incendios en el cantón Pimampiro para los años 2020-2024 de la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos (Figura 7). La información fue verificada en la página web sobre incendios de cobertura vegetal (<https://ee-utn.projects.earthengine.app/view/incendios-en-coberturas-vegetales>).

Figura 7. Incendios en la subcuenca del río Mataquí de los años 2020 - 2024



Fuente: Unidad de Monitoreo de Eventos Adversos CZ1 – SNGR, 2020 – 2024

3.3.1 Identificación de cicatrices de incendios año 2024

Para identificar los incendios de cobertura se usó la página web sobre incendios forestales de la Universidad Técnica del Norte. Se identificaron las imágenes (Sentinel-2) con menor nubosidad dentro del área de estudio para el año 2024. Posteriormente se procedió a calcular el Índice Normalizado de Área Quemada (NBR) de igual manera se hizo una combinación de bandas 11, 8 y 2 para obtener una combinación en pseudocolor. De esta manera se obtuvo un archivo *shapefile* de las áreas incendiadas en el área de estudio.

3.3.2 Determinación de la probabilidad de ocurrencia de incendios de cobertura vegetal en la subcuenca del río Mataquí

La probabilidad de ocurrencia de incendios se determinó con el cálculo de la probabilidad simple (Ecuación 2). De esta forma, se calculó la probabilidad de ocurrencia de incendios de cobertura vegetal por nivel de cuenca para el año 2024.

$$P(A) = \frac{\text{Número de casos favorables}}{\text{Total de casos posibles}} * 100 \quad (2)$$

3.4 Modelo RUSLE

Para determinar la erosión hídrica de la subcuenca del río Mataquí se utilizó el modelo RUSLE (ecuación 3) planteado por Wischmeier y Smith (1978) la cual se plantea a continuación:

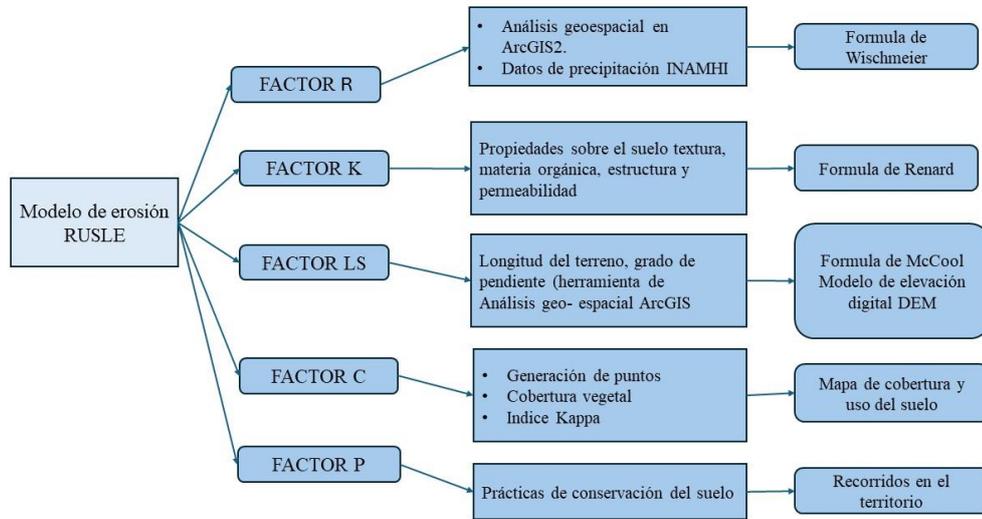
$$A = RKLSCP \quad (3)$$

Donde:

- A= Media de le pérdida de suelo anual (ton/ha/año)
- R= Erosividad de la lluvia (Mj·mm)/(ha·año)
- K= Erodabilidad del suelo (ton·ha·h)/(ha·Mj·mm)
- L= Factor de longitud de cuesta (adimensional)
- S= Factor de pendiente de cuesta (adimensional)
- C= Cobertura vegetal (adimensional)
- P= Prácticas de conservación (adimensional)

Basándose en los factores que se han establecido para determinar la erosión hídrica, la figura 8 muestra los métodos establecidos en cada procedimiento, así como las ecuaciones asociadas a cada factor.

Figura 8. Esquema metodológico del modelo *RUSLE*



Los valores de erosión hídrica fueron interpretados con los rangos presentes en la (Tabla 8).

Tabla 8. Categorías de erosión y sus principales características

Tasa de erosión (ton/ha/año)	Categorías	Características
0	Nula	Zonas no susceptibles al proceso erosivo como zonas urbanas, embalses, entre otros.
0-10	Baja	Zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tóxicas.
10-50	Media	Zonas con pérdida de suelo poco tolerables
50-200	Alta	Zonas con procesos erosivos graves
>200	Crítica	Zona con procesos erosivos extremos

3.4.1 Erosividad de la lluvia (R)

El factor R mide la capacidad de la lluvia para producir erosión en un promedio de tiempo de 20 a 25 años (De Santos Loureiro y De Azevedo Coutinho, 2001). Para realizar el cálculo se utilizó la siguiente ecuación (ecuación 4).

$$\text{Factor R} = \sum_{i=1}^{12} 1,735 * 10^{(1,5 \log 10 \left(\frac{pi^2}{p}\right) - 0,08188)} \quad (4)$$

Donde:

$R(x, y)$ = es el factor R ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) en el tamaño de celda (x, y)

p_i = precipitación mensual (mm)

P = precipitación anual (mm).

3.4.2. Erodabilidad del suelo (K)

Según Wischmeier y Smith (1978) el factor K representa la susceptibilidad de la erodabilidad del suelo. Renard et al (1997) mencionan que los valores del factor K se determinan con información de las siguientes propiedades edáficas del suelo: textura del suelo, contenido de materia orgánica, estructura del suelo y permeabilidad. Información que se obtuvo de datos espaciales. Finalmente se aplicó la siguiente ecuación (ecuación 5).

$$K = 27,66 * m^{1,14} * 10^{-8} * (12 - a) + 0,0043 * (b - 2) + 0,0033 * (c - 3) \quad (5)$$

Donde:

m = limo (%) + arena muy fina (%) * (100 - arcilla (%))

a = materia orgánica (%)

b = código de estructura

c = código de permeabilidad

3.4.3 Factor topográfico (LS)

El factor topográfico (LS) corresponde al efecto combinado de la longitud y el ángulo de inclinación de la pendiente que influyen en la pérdida de suelo (Renard et al., 1997). Para calcular este factor se utilizó un Modelo de Elevación Digital con resolución de 30 metros que se obtuvo de la página web *EarthExplorer*.

3.4.4. Cobertura Vegetal (C)

El factor de Cobertura Vegetal (C), se refiere a la interacción que existe entre la pérdida de suelo y los diversos tipos de cobertura existentes (Wischmeier y Smith, 1978). Para el cálculo del factor C se utilizó imágenes satelitales Landsat 9,

la cuales se obtuvieron del sitio web *EarthExplorer*. Se realizó una clasificación supervisada en el software ArcMap y se crearon áreas de entrenamiento para 7 coberturas de suelo: bosque nativo (0,01), páramo (0,04), cultivos (0,35), pastos (0,037), zona urbana (0), área sin vegetación (0,42) y cuerpos de agua (0). La clasificación se validó con la aplicación de la matriz de confusión y el índice de Kappa.

3.4.5. Factor Prácticas de Conservación de Suelo (P)

Los valores de este factor son 0 y 1, donde 0 significa prácticas de conservación efectivas y 1 la ausencia de prácticas de conservación (Vijith et al., 2018).

3.4.6. Cálculo de la densidad aparente del suelo para expresar la pérdida de suelo en mm/año

Para obtener el valor de la densidad aparente se usó el Método del Cilindro de Volumen Conocido. Se realizaron 6 calicatas de 50cm*50cm*50cm (Figura 9) repartidas en la cuenca media y baja, se tomaron 4 muestras por calicata obteniendo un total de 24 muestras. Las muestras se llevaron a laboratorio donde tomaron los datos (peso del cilindro vacío, peso del cilindro con el suelo traído de campo y peso del cilindro con el suelo seco). Para obtener el volumen del cilindro se usó la ecuación 6.

$$\text{Volumen de cilindro} = \pi * r^2 * h \quad (6)$$

Donde:

$$\pi = 3.1416$$

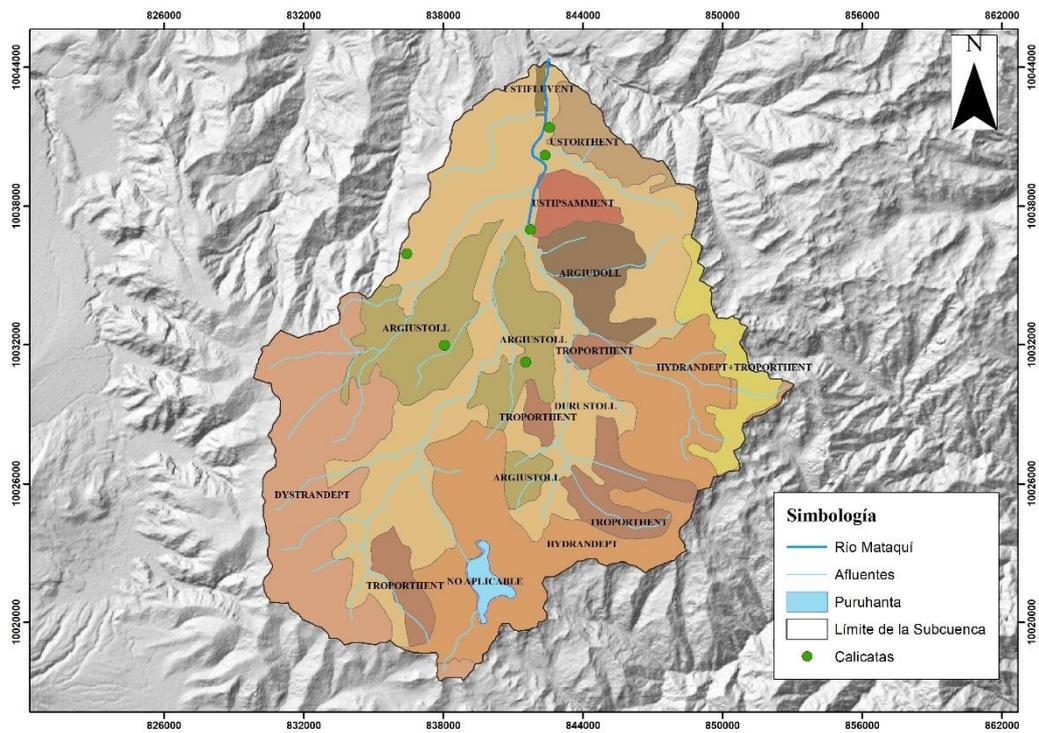
r = radio del cilindro

h = altura del cilindro

Una vez se obtuvo el valor del volumen del cilindro se calculó la densidad aparente del suelo (ecuación 7). Para obtener el valor del suelo seco, se usó un horno y se pusieron las muestras a secar durante 24 horas a una temperatura de 70 °C.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Pesos suelo seco (gr)}}{\text{Volumen de cilindro (cm}^3\text{)}} \quad (7)$$

Figura 9. Puntos de toma de muestra de suelo para el cálculo de la densidad aparente.



3.4.7. Validación del modelo RUSLE

La validación permite corroborar la información obtenida a través de la aplicación de la ecuación RUSLE. Para esto se aplicó la ecuación 16 que abarca la carga sedimentaria del modelo (SY) y se comparó con la carga sedimentaria obtenida en campo.

3.4.8. Muestreo de agua

La delimitación de la zona para la toma de muestra de agua tomó como punto de partida la selección de un punto referencial en el río Mataquí en las siguientes coordenadas 17S 842279 E 10041050 N (Altitud: 1822 m), la cualidad de este punto es que haya sido de fácil acceso (Figura 10). La toma de muestras de agua se realizó a lo largo del estudio, se buscó obtener variedad de datos en lo que se comprende tanto época seca y lluviosa pues la variación en la composición y la cantidad de sedimentos que son transportados al Río Mataquí varían en estas épocas, en total se realizaron 12 muestreos. El agua fue filtrada se realizó un total de tres repeticiones por muestras utilizando filtros de fibra de vidrio de 1µm, y se calculó la concentración de sólidos suspendidos (CSS) (Ecuación 8).

$$CSS = \frac{W_s - W_f}{V} \quad (8)$$

Donde:

W_s = Peso del filtro con sedimentos secos (mg)

W_f = Peso del filtro vacío (mg)

V = Volumen de agua filtrada (L)

Figura 10. Toma de muestra de agua



Posteriormente se multiplicó con el caudal (Ecuación 9) para obtener el valor de sedimentos en suspensión en kg/s.

$$\text{Sedimentos en Suspensión (kg/s)} = CSS * Qx \quad (9)$$

Donde:

CSS = concentración de sólidos suspendidos

Qx = Caudal de la subcuenca

El valor obtenido se transformó en ton/año (Ecuación 10) y finalmente se multiplicó por la superficie de la subcuenca para obtener el valor en ton/ha/año.

$$SS \text{ (ton/ha/año)} = SS(\text{kg/s}) * 3600 * 24 * 365 / 1000 \quad (10)$$

Donde:

SS = sedimentos suspendidos

Para conocer la carga sedimentaria se calculó el SDR (Ecuación 11) que es la Relación de Entrega de Sedimentos, que muestra la relación entre el suelo erosionado y el que realmente se transporta al punto de salida de agua de la cuenca (Jain y Kothyari, 2000).

$$SDR = 0,627 * SLP^{0.403} \quad (11)$$

Donde:

El valor numérico es una constante

SLP= Pendiente del río (%)

Posteriormente, se calculó la producción de sedimentos SY (ecuación 12). Se refiere a la producción de sedimentos, este valor muestra la cantidad de sedimentos que llega al río (Abebe et al., 2023).

$$SY = A * SDR \quad (12)$$

Donde:

SY= Producción total de sedimentos

A= Pérdida anual del suelo

SDR= Cantidad estimada de suelo erosionado

También se realizó el cálculo del caudal utilizando el Método por Relación de Áreas (ecuación 13), que consiste en utilizar una cuenca de superficie mayor la cual contenga a la cuenca estudiada (Gutiérrez-Caiza, 2014). El caudal se multiplicó con la concentración de sólidos suspendidos para determinar la carga sedimentaria en campo. En este estudio se utilizó la cuenca del Río Chota, la misma que cuenta con datos hidrológicos, el cálculo se realizó con la siguiente fórmula:

$$Qx = \frac{Ax}{Ao} * Qo \quad (13)$$

Donde:

Qx = Caudal de la cuenca interna

Qo = Caudal inicial de la cuenca contenedora

Ax = Área de la cuenca interna

Ao = Área de la cuenca contenedora

Para evaluar la eficiencia del modelo RUSLE se usó el PBIAS (ecuación 14), RMSE (ecuación 15), de esta forma se verificó la precisión del modelo.

$$PBIAS = \left[\frac{\sum(Y^{obs} - Y^{sim}) * (100)}{\sum(Y^{obs})} \right] \quad (14)$$

Dónde:

Y^{obs} : Valores observados en campo

Y^{sim} : Valores simulados

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(R_{Sf} - R_{rg})^2}{n}} \quad (15)$$

Dónde:

R_{Sf} : erosión proyectada

R_{rg} : erosión base

Finalmente, se calculó el indicador de radio BIAS (ecuación 16) siendo esta la relación entre sedimentos estimados y sedimentos observados en campo.

$$Bias\ ratio = \frac{SY_{sf}}{SY_{rg}} \quad (16)$$

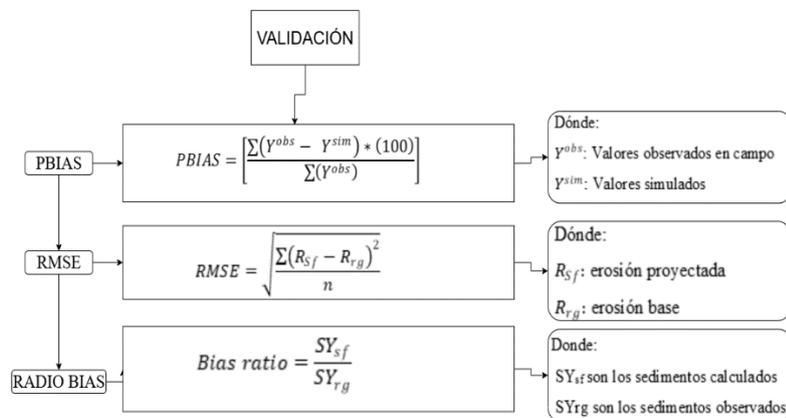
Donde:

SY_{sf} son los sedimentos calculados

SY_{rg} son los sedimentos observados

El indicador demuestra si el valor obtenido a través del modelo RUSLE se sobre estima, se subestima o es adecuado. Para esto fue importante realizar una comparación entre los valores de la ecuación 12 y el valor de sedimentos obtenidos en campo (Ecuación 8) en la figura 11 se presenta el esquema metodológico para la validación del modelo RUSLE.

Figura 11. Esquema metodológico de validación del modelo Rusle

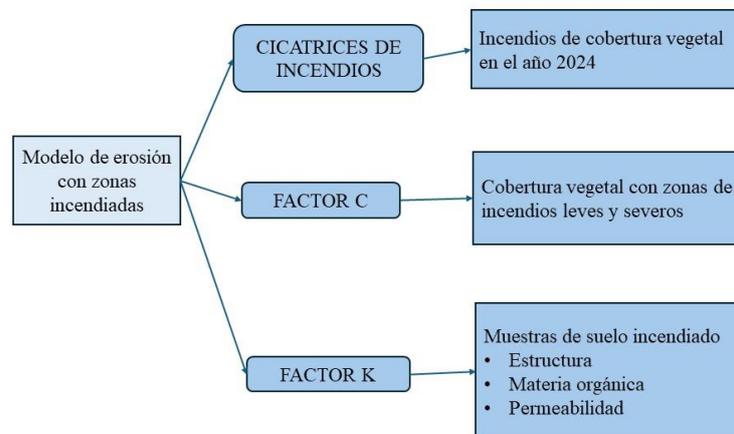


Análisis de los efectos de las áreas incendias por incendios de cobertura vegetal en la susceptibilidad a erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica Mataquí

3.5 Cálculo del modelo RUSLE con zonas incendiadas

Se realizó el cálculo del modelo RUSLE con zonas incendiadas utilizando las cicatrices de incendio y el factor C, con las cuales se hizo una unión o se obtuvo un nuevo mapa, una vez obtenido el mapa se asignó los valores correspondientes para áreas incendiadas (Mukharamova et al., 2021) y finalmente se calculó el factor C con zonas incendiadas. También se realizó el cálculo del Factor K para zonas incendiadas. Se tomaron 9 muestras (Figura 14) en 3 diferentes zonas incendiadas (Figura 13). Se enviaron a laboratorio para su análisis.

Figura 12. Esquema metodológico modelo RUSLE con zonas incendiadas



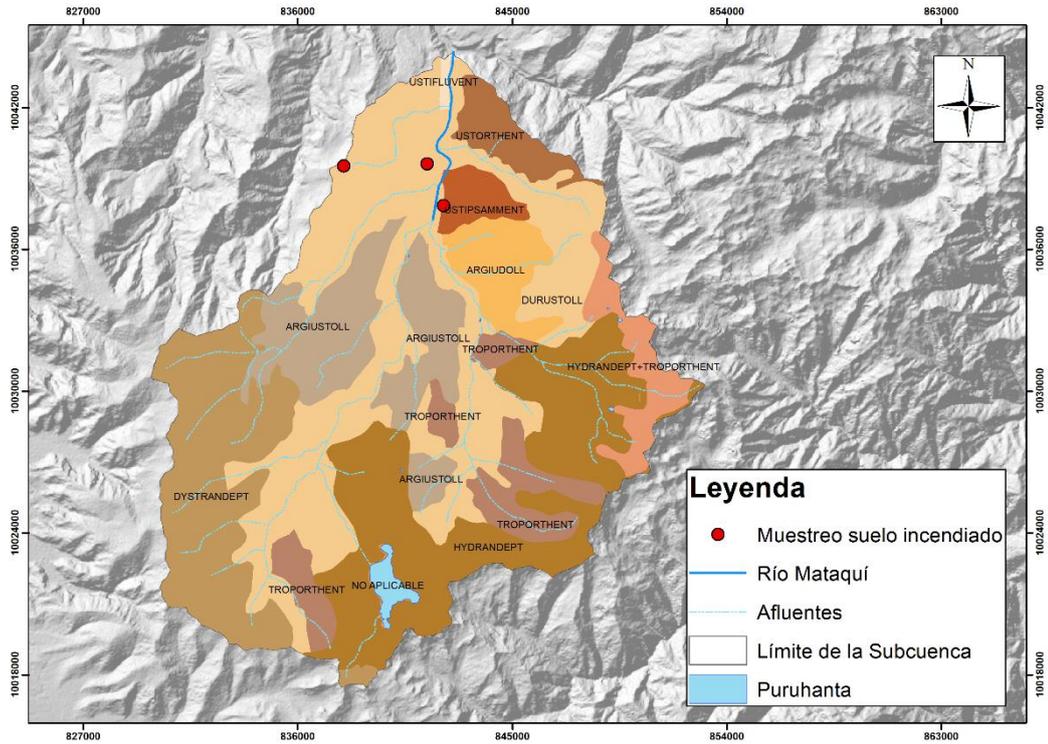
Los valores presentes en el reporte de análisis de textura (Tabla 11) fueron utilizados para interpolar la información con la herramienta *Kriging* del Software *Arcgis Pro* y luego se realizó una unión con el Factor K de zonas no incendiadas de la subcuenca Mataquí usando la herramienta *Raster Calculator*, logrando así reemplazar los valores del Factor K en las zonas incendiadas, el esquema metodológico aplicado en este proceso puede evidenciarse en la figura 12.

Figura 13. *Área afectada por incendio de cobertura vegetal*



Una vez obtenidos los valores de RUSLE para las zonas incendias y zonas no incendias se realizó una comparación entre ambos valores para determinar si existe una diferencia significativa en la erosión entre zonas incendiadas y no incendiadas. Mukharamova et al. (2021) definen en su estudio valores para el factor C para áreas quemadas por incendios los cuales son 0,1 como mínimo y 0,55 como máximo valor.

Figura 14. Toma de muestras en suelos incendiados



3.6 Materiales y equipos

Los materiales (Tabla 9) fueron fundamentales en la investigación porque proporcionaron las herramientas necesarias para la recopilación, análisis y gestión de la información relevante para el estudio. La cartografía digital permitió visualizar las áreas de interés desde diversas perspectivas y a diferentes escalas, facilitando así la identificación de las diferentes características del terreno. Las bases de datos contribuyeron al procesamiento de información y análisis de estos, con la obtención de resultados confiables y precisos.

Tabla 9. *Materiales y Equipos de Investigación*

Materiales y Equipos	
Materiales	Cartografía digital
	Software
	Bases de datos
	Fotografías Aéreas
	Imágenes Satelitales
	Cilindros metálicos
<hr/>	
Equipos	Computador
	GPS
	Cámara fotográfica
	Vehículo

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Causas socioambientales de los incendios de cobertura vegetal y la erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica Mataquí

El 30.6% de las personas encuestadas aseguraron que las quemas agrícolas fuera de control es la principal causa de los incendios de cobertura vegetal en el área de estudio según los resultados obtenidos (Figura 15). Esto se debe a la preparación del terreno para una próxima siembra. Por otro lado el cambio climático representa el 19% de las causas identificadas por la población, siendo este el segundo después de las quemas agrícolas fuera de control, de esta manera se puede evidenciar el peso que genera este fenómeno global en la generación de incendios de cobertura vegetal en el área de estudio, como tercera causa el 17% de los encuestados aseguraron que la basura abandonada en terreno o en quebradas es otra causa importante (Figura 15) ya que esta puede aumentar el riesgo de incendios de cobertura vegetal durante épocas de sequía o en presencia de altas temperaturas (Alcaldía de Pimampiro, 2020), especialmente cuando se presentan materiales como vidrios, plásticos o materiales tóxicos.

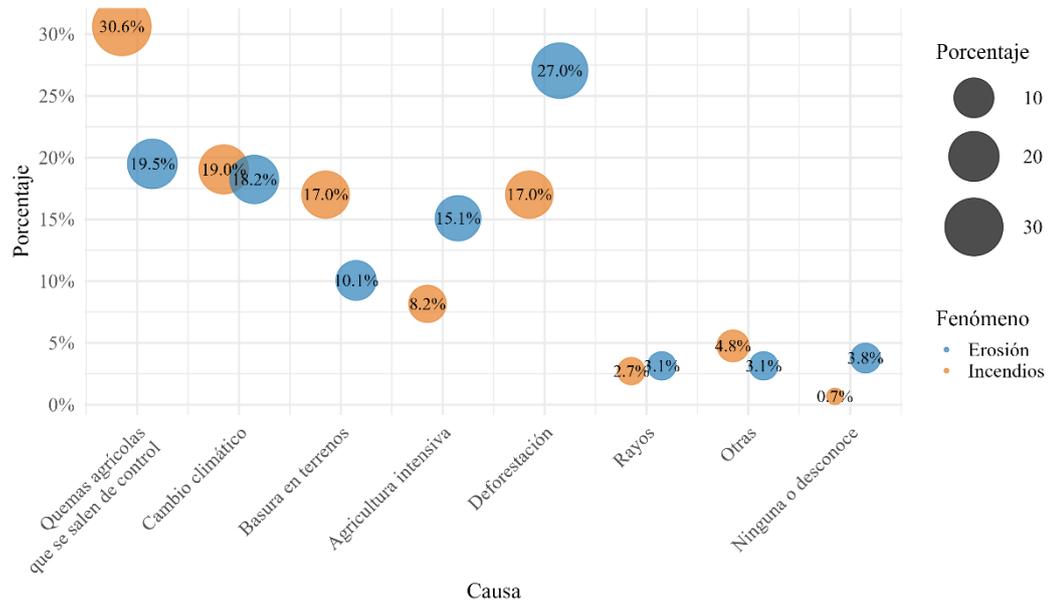
En la gráfica la deforestación se presenta con un 17% de las causas identificadas en los incendios, al eliminar la cobertura vegetal se modifica las condiciones microclimáticas presentes en el suelo, reduciendo de esta forma la humedad y generando un incremento en la temperatura, lo que incrementa el riesgo de combustión (Díaz y Encarnación, 2018). La deforestación se presenta acompañada por prácticas de quema para preparar el terreno para una próxima siembra lo que puede derivar en incendios fuera de control. La agricultura intensiva se presenta como una causa de los incendios de cobertura vegetal con el 8.2% (Figura 15), esta modalidad agrícola se caracteriza por la explotación continua del suelo y suele verse acompañada del uso de maquinaria pesada y agroquímicos.

El 4.8% (Figura 15) de los encuestados mencionan que pueden existir otras causas para la generación de incendios entre ellas destacan las fogatas abandonadas, colillas de cigarrillo mal apagadas o actividad turística irresponsable. Por otro lado, el 2.7% de los encuestados determinaron que los rayos o relámpagos pueden ser una causa y finalmente se presenta 0.7% donde no se identificó ninguna causa o la población desconoce su origen (Figura 15).

El 27% de los encuestados aseguran que la causa principal de la erosión del suelo se da por la deforestación (Figura 15) ya que esta presenta un impacto directo en la estabilidad del suelo por la reducción de la cobertura vegetal, disminución de la infiltración del agua y la pérdida de materia orgánica, disminuyendo su fertilidad. En segundo lugar, el 19.5% de las personas encuestadas aseguran que las quemas agrícolas fuera de control es una causa de la erosión (Figura 15), ya que estas afectan la estructura del suelo y dejan las zonas expuestas a el impacto directo de lluvia o viento lo que acelera la pérdida del suelo fértil (Cabascango y Parra, 2019).

El cambio climático se presenta como la tercera causa relevante con un 18.2% (Figura 15), ya que este intensifica las lluvias torrenciales o sequías prolongadas, que generan una desestabilización en el sistema edáfico del suelo. Por su parte la agricultura intensiva se presenta con 15.1% (Figura 15) contribuyendo significativamente en la erosión, ya que el uso constante y sin presencia de prácticas de manejo adecuadas, provoca su compactación y pérdida de estructura. Así mismo la presencia de basura abandonada en terrenos constituye un 10.1% (Figura 15) logrando así evidenciar como el mal manejo de residuos influyendo en la estabilidad del terreno (Fierro y Maldonado, 2023). En una proporción menor se observan los rayos o relámpagos y la categoría de otras con un valor de 3.1%, de otra forma los casos en los que no se identificó las causas o se desconocen con el 3.8%.

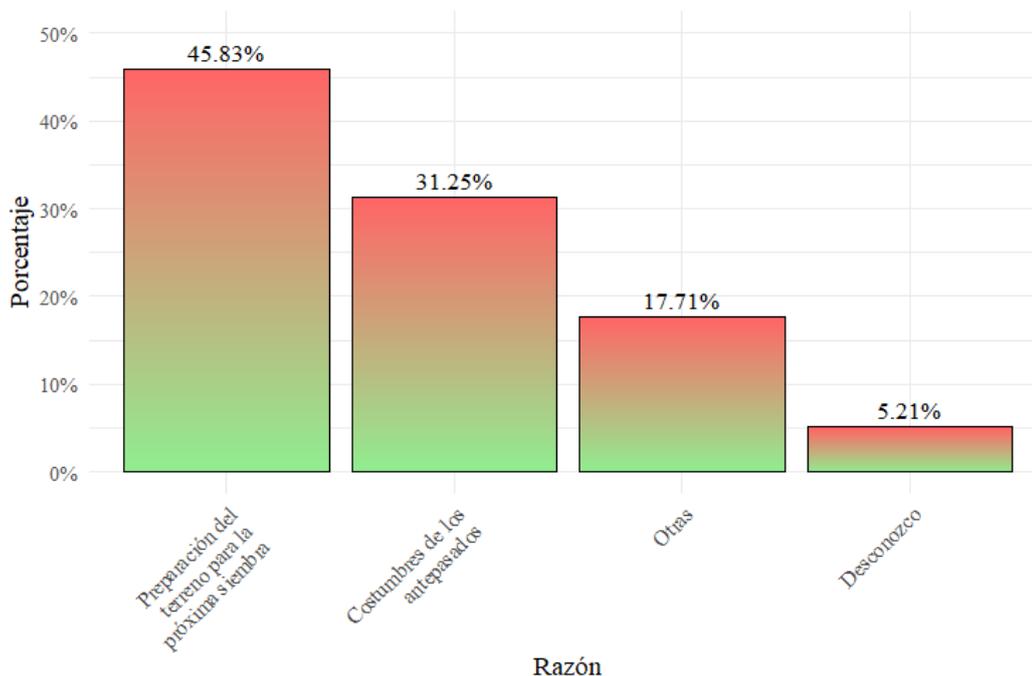
Figura 15. Causas socioambientales de los incendios de cobertura vegetal y erosión hídrica en la subcuenca del río Mataquí



4.1.1 Determinantes culturales y agrícola de las quemas fuera de control

A través de la encuesta realizada en el área de estudio se identificó que las razones para realizar quemas agrícolas en los diferentes sectores es la preparación del terreno para una próxima siembra con un 43.8% (Figura 16), en segundo lugar se presentan las costumbres de los antepasados con 31.25% (Figura 16), para la preparación del terreno se limpian los residuos de cultivos anteriores, entre ellos la maleza, en la mayoría de casos se realiza manualmente mediante las quemas no controladas, generando una práctica no sostenible que puede desencadenar en un incendio de cobertura vegetal (Ramos et al., 2022). Las costumbres de los antepasados tienen un impacto significativo en la actualidad, ya que son tradiciones que se encuentran radicadas en la cultura y en la forma de trabajo de las diferentes comunidades rurales.

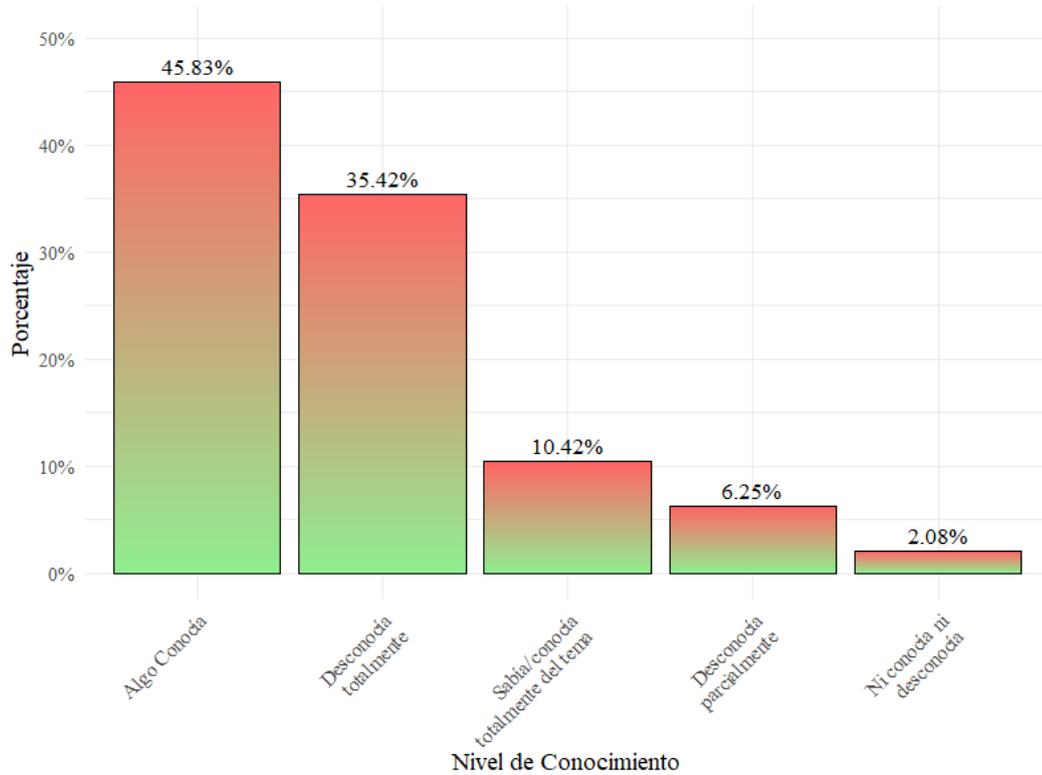
Figura 16. Razones para realizar quemas agrícolas



4.1.2 Nivel de conocimiento legal sobre infracciones por incendios de cobertura vegetal

Con la información recabada en la encuesta se determinó que el 45.83% (Figura 17) de los encuestados tenían algo de conocimiento en las sanciones legales existentes para las personas que causan un incendio de cobertura vegetal, aun así, un valor significativo de 35.42% las desconoce totalmente (Figura 17). Esta falta de información es crítica ya que el Código Orgánico del Ambiente (COA) establece en su artículo 318 que generar quemas, destrucciones o afectaciones será considerado como una infracción muy grave. Por otro lado, su reglamento (RCOA) presentan un marco legal que es fundamental para la gestión ambiental, este explica que ocasionar un incendio acarrea responsabilidad administrativa, penal y civil en relación con los daños que pueda causar (Asamblea Nacional del Ecuador, 2018). Según el estudio de Quimbiulco-Andrango y Suarez-Burgos (2024) las personas encuestadas conocen sobre los incendios de cobertura vegetal pero no los asocian con sanciones, ya que desconocen las leyes que existen para estos eventos.

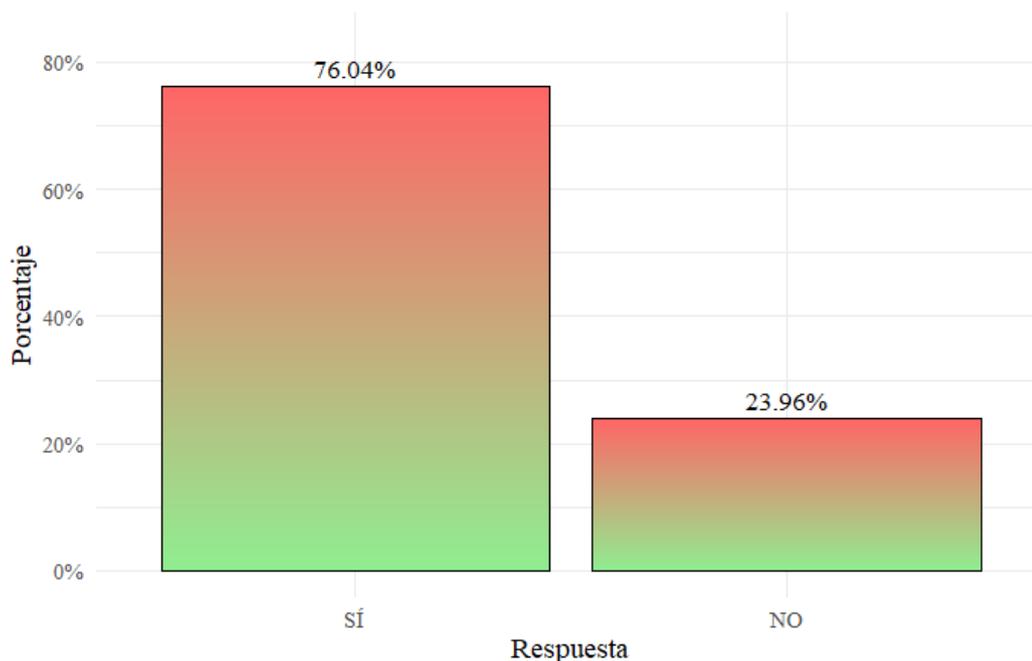
Figura 17. Sanciones legales existentes



4.1.3 Relación entre incendios y erosión según la percepción local

Los resultados en base a la percepción sobre si los incendios de cobertura pueden ser una causa de la erosión del suelo en el sector se refleja que el 76.04% de los encuestados considera que si existe relación entre las causas. En diferencia el 23.96% (Figura 18) que respondió que no lo considera de esa manera. Esto demuestra que la mayor parte de encuestados reconoce que los incendios de cobertura vegetal generan impactos en la calidad y estabilidad presente en el suelo. Según Pazmiño (2019) la vegetación cumple roles fundamentales en la conservación del suelo, ya que esta reduce el impacto de factores como la lluvia y el viento ayudando a conservar su estructura. La pérdida de cobertura por incendios incrementa la exposición del terreno favoreciendo la erosión de este.

Figura 18. Incendios de cobertura vegetal como causa de la erosión hídrica



4.1.4 Análisis de las causas socioambientales

En el análisis de datos realizado (Tabla 10) en la que se describe la información obtenida de acuerdo con la encuesta sobre los incendios de cobertura vegetal presentes en los últimos años y la erosión en el área de estudio, se establecieron 2 hipótesis acerca de si existe o no relación entre estas causas, obteniendo como resultado que sí existe relación entre ciertas causas socioambientales. La población encuestada identificó que estas causas están presentes en los incendios y a la vez se presentan en la erosión.

La tabla cruzada entre causas de los incendios de cobertura vegetal y causas de la erosión revelan que existe una asociación significativa entre ambas variables, como se pudo observar en el valor de *Cramer's V* de 0.354 (Tabla 10) esto indica una relación moderada entre las causas de incendios de cobertura vegetal y las causas de erosión del suelo. Las frecuencias observadas demuestran que las quemadas agrícolas fuera de control, el cambio climático y la deforestación son causas que se repiten en ambos fenómenos. Por otro lado, el coeficiente Phi presentó un valor de 0.937 (Tabla 10) lo que permitió establecer que es una relación estadísticamente

significativa con una asociación casi perfecta o perfecta. La prueba estadística *V de Cramer* arrojó un valor de $V = 0.354$ y un nivel de significancia de $p < 0.001$ lo que demuestra una asociación estadísticamente significativa. Por ende, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, demostrando que si existe correlación entre las causas de las áreas quemadas por incendios de cobertura vegetal y las causas de la erosión hídrica.

Tabla 10. *Causas socioambientales de los incendios de cobertura vegetal y erosión hídrica*

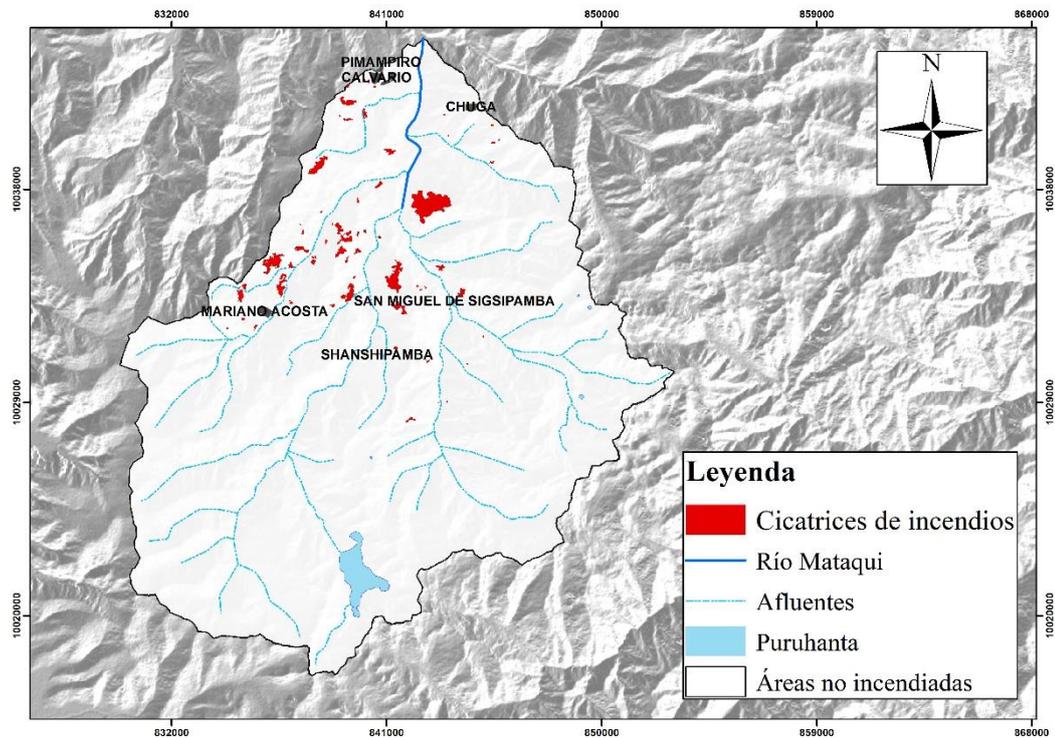
	.00	Erosión								Total
		Quemas agrícolas fuera de control	Cambio climático	Basura abandonada	Agricultura intensiva	Deforestación	Rayos	Otras	Ninguna o desconoce	
.00	0	0	2	1	5	15	1	0	0	24
Quemas agrícolas fuera de control	0	16	6	4	5	1	0	1	2	35
Cambio climático	3	3	6	4	0	3	1	1	0	21
Basura abandonada en terrenos	7	1	2	1	6	1	1	0	0	19
Agricultura intensiva	0	0	2	2	2	3	0	0	0	9
Deforestación	2	2	1	2	3	5	0	0	0	15
Rayos	1	1	0	0	0	1	1	0	0	4
Otras	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Total	14	23	19	14	21	29	4	2	2	128

Symmetric Measures			
		Value	Approximate Significance
Nominal by	Phi	0.937	< 0.001
Nominal	Cramer's V	0.354	< 0.001
N of Valid Cases		128	

4.2 Susceptibilidad a incendios de cobertura vegetal y erosión hídrica

Los incendios de cobertura vegetal en la subcuenca del Río Mataquí son frecuentes en época seca debido a las actividades humanas, especialmente en las quemadas agrícolas que se salen de control.

Figura 19. Cicatrices de incendios del año 2024 de la subcuenca del Río Mataquí



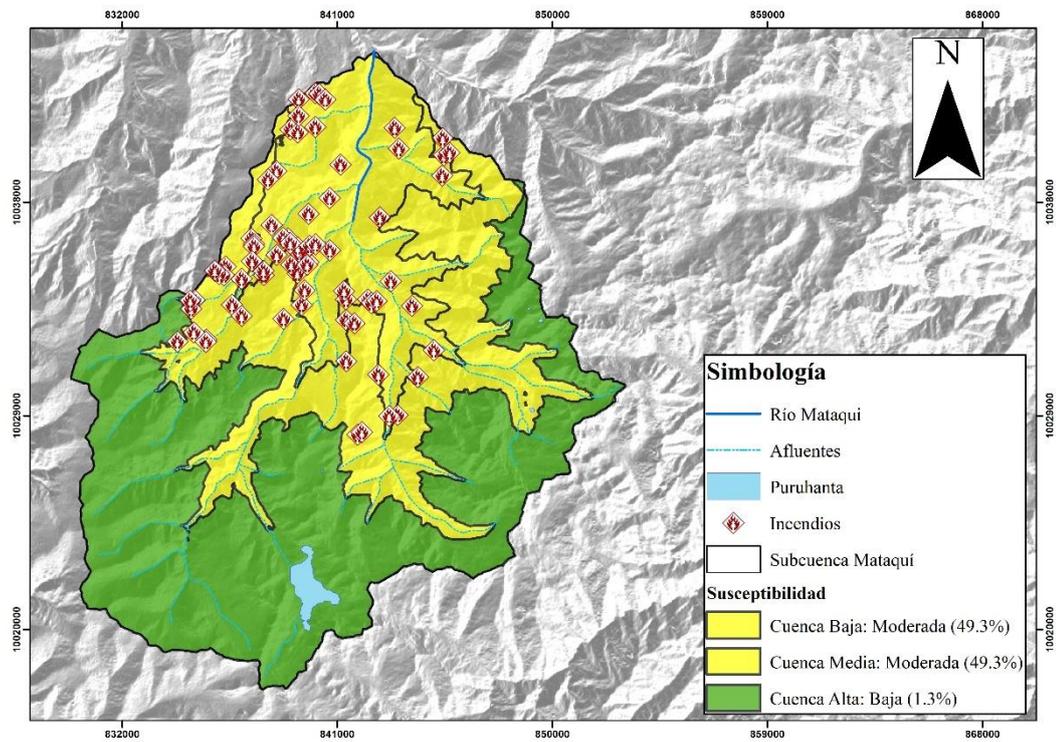
Para el año 2024 se identificaron un total de 75 incendios de cobertura vegetal especialmente en la zona baja y media de la subcuenca del Río Mataquí (Figura 19). Los incendios abarcaron un total de 426.93 hectáreas. El incendio más grande ocurrido en el año 2024 se localizó en la cuenca baja y se extendió por aproximadamente 124 hectáreas.

4.2.1 Probabilidad de ocurrencia de incendios de cobertura vegetal

Dentro de la subcuenca del río Mataquí, se identificaron un total de 75 incendios de cobertura vegetal para el año 2024, de los cuales 37 ocurrieron en la zona baja, 37 en la zona media y 1 en la zona alta. Con estos datos se calculó la probabilidad de ocurrencia de incendios, obteniendo que la cuenca baja y media presentan un 49.3% de probabilidad de ocurrencia de incendios de cobertura vegetal y la cuenca alta presenta un 1.3% (Figura 20). Esto se debe a que en la zona baja y media de la subcuenca se encuentran centros poblados y hay más actividad antrópica lo que incide en la probabilidad de que ocurra un incendio. Conde-Blanco

(2019) menciona en su estudio que la presencia de centros poblados y zonas de producción agrícola incrementan las probabilidades de que ocurra un incendio, debido a la alteración del medio físico y de los factores biológicos.

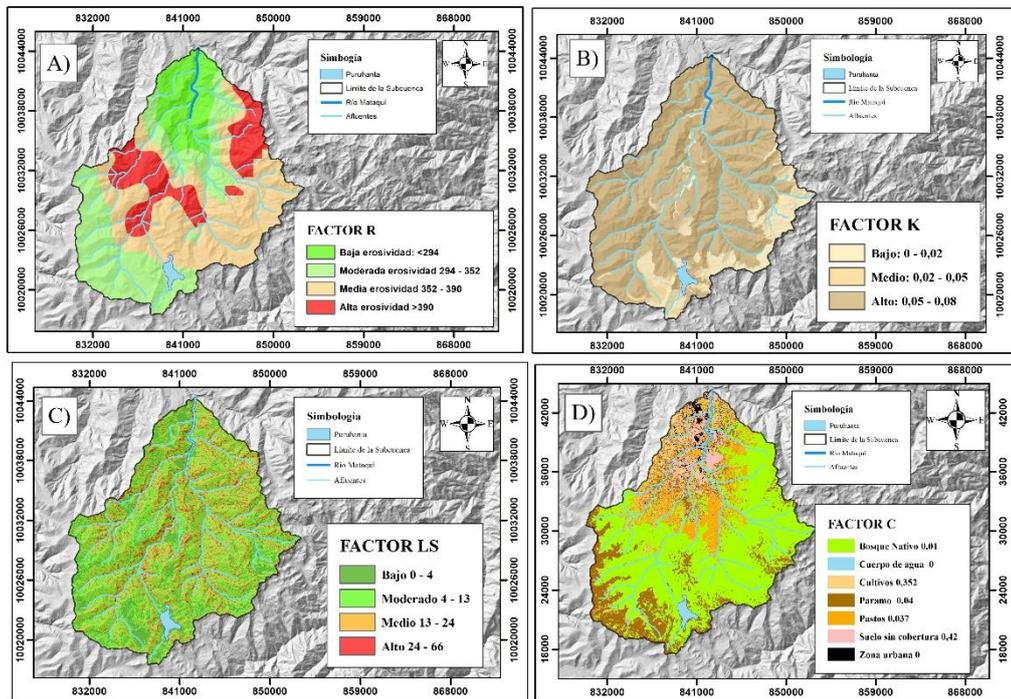
Figura 20. Susceptibilidad a incendios por probabilidad de ocurrencia



4.3 Factores climáticos y biofísicos que influyen en la erosión hídrica

A continuación, se detallan los resultados obtenidos en el cálculo de los factores que forman parte del modelo matemático RUSLE.

Figura 21. Factores modelo RUSLE (R) (K) (LS) (C)



- **Factor de Erosividad de la lluvia (R)**

Los datos de Erosividad de la lluvia son un factor importante a la hora de medir la erosión hídrica. La subcuenca del Río Mataquí refleja datos de Erosividad clasificada en cuatro categorías entre baja a alta (Figura 21A). Las áreas con valores menores a $294 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (baja Erosividad) presenta lluvias con menor intensidad erosiva, por su parte, las zonas con valores mayores a $390 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ presentan mayor efecto erosivo de las lluvias, lo que provoca una erosión hídrica más significativa.

- **Factor de Erodabilidad del suelo (K)**

El factor K brinda información acerca de la susceptibilidad del suelo a sufrir erosión frente a la fuerza erosiva de la lluvia (Piscitelli et al., 2010). La distribución espacial del factor K indica que los valores presentan un rango de 0,01 a 0,08 ton/ha/MJ⁻¹ mm⁻¹ ha⁻¹ (Figura 21B).

El mapa de erodabilidad del suelo indica cuan susceptible a la pérdida de suelo por erosión hídrica debido a la acción de la precipitación. Los valores se encuentran categorizados entre bajo, medio y alto. Los valores más bajos del factor K se encuentran en suelo de la parte alta de la cuenca. Mientras que, los valores más altos se encuentran en zonas de la cuenca media y baja. El valor obtenido de erodabilidad del suelo de 0,01 a 0,08 ton/ha/MJ⁻¹ mm⁻¹ ha⁻¹ que tiene rangos similares a otras cuencas ubicadas en la zona andina (Andrés Ramírez-Ortiz et al., 2009). Según (Rivera-Posada et al., 2014), estos valores se encuentran dentro del rango muy bajo y moderado.

- **Factor topográfico (LS)**

La subcuenca del río Mataquí presenta pendientes alargadas debido a su ubicación en la cordillera de los andes, este factor supone una gran influencia en la erosión. El factor topográfico LS es una medida que presenta una combinación entre el impacto de la pendiente y la longitud de una ladera en la erosión del suelo. A medida que aumenta la inclinación o longitud de una pendiente, también incrementa el riesgo de pérdida en el suelo debido a la erosión. De esta manera se entiende que en terrenos más inclinados y con las laderas largas existe más susceptibilidad a erosión. (Moore y Wilson, 1992).

El área de estudio presenta en su mayoría zonas que son planas con valores bajos de erodabilidad, mientras que los valores altos se pueden evidenciar en laderas de montañas que presentan pendiente montañosas y onduladas, en estas pendientes el suelo es más susceptible a la pérdida de materia orgánica y al desprendimiento de partículas, la longitud de la pendiente es un punto crucial para el cálculo de la erosión. Los valores de la subcuenca del Río Mataquí son de 0 a 66 (Figura 21C), presentando semejanza con la cuenca del Río Ambi donde los valores son de 0 a 58.

- **Factor de Cobertura del suelo (C)**

El factor C corresponde a la relación entre la pérdida del suelo y los tipos de vegetación presentes (Portuguez M., 2015) en la subcuenca del Río Mataquí se identificó 7 tipos de coberturas. La cobertura del suelo en la subcuenca del río Mataquí se encuentra distribuida espacialmente por paramos y bosque nativo en la parte alta, mientras que en la parte media predominan la vegetación arbustiva y los cultivos, en la parte baja de la subcuenca existen cultivos, invernaderos y zonas urbanas (Figura 21D).

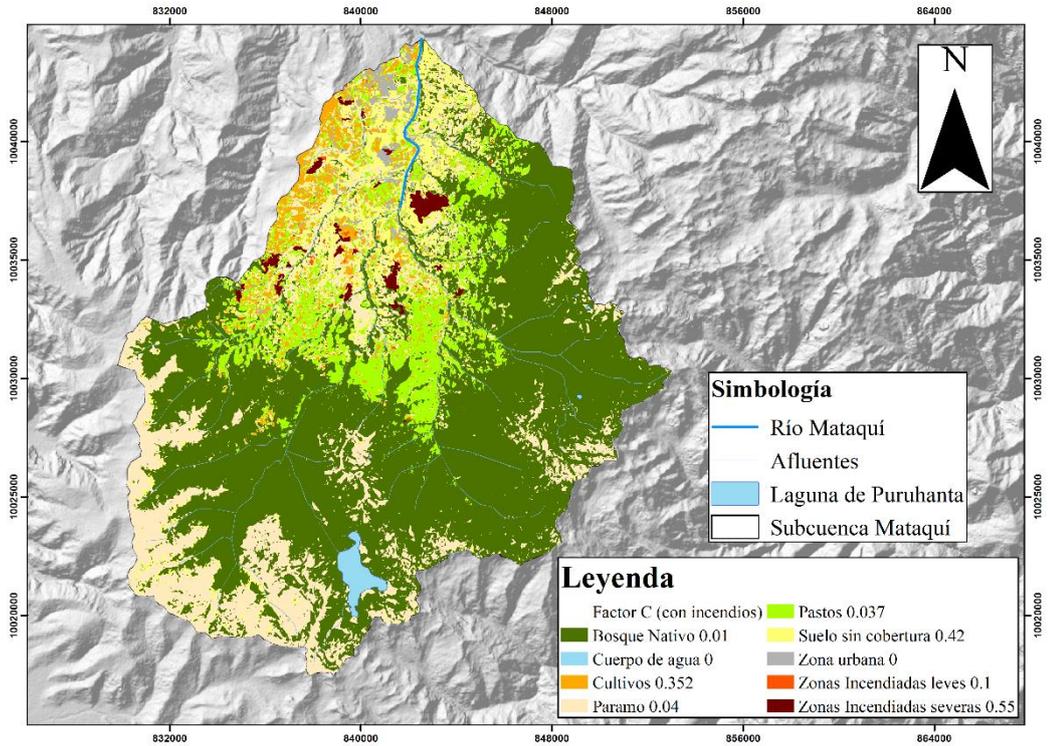
- **Factor de Prácticas de Conservación (P)**

En la subcuenca del río Mataquí no existen prácticas de conservación de suelo efectivas, de esta manera, se tomó en cuenta lo propuesto por Vijith et al. (2018) designando un valor de 1, lo cual representa la ausencia de prácticas de conservación de suelo efectivas. La ausencia de prácticas de conservación de suelo aumenta la susceptibilidad de suelo a sufrir erosión. Suárez et al. (2024), mencionan que, las técnicas como terrazas, barreras vegetales, zanjas de infiltración ayudan a retener la humedad y disminuyen la degradación del suelo disminuyendo la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica.

- **Factor C con zonas incendiadas**

El cálculo del factor C con zonas incendiadas en la subcuenca hidrográfica Mataquí identifico 9 tipos de coberturas, entre ellas destacan zonas con incendios leves y zonas con incendios severos.

Figura 22. Factor C con zonas incendiadas



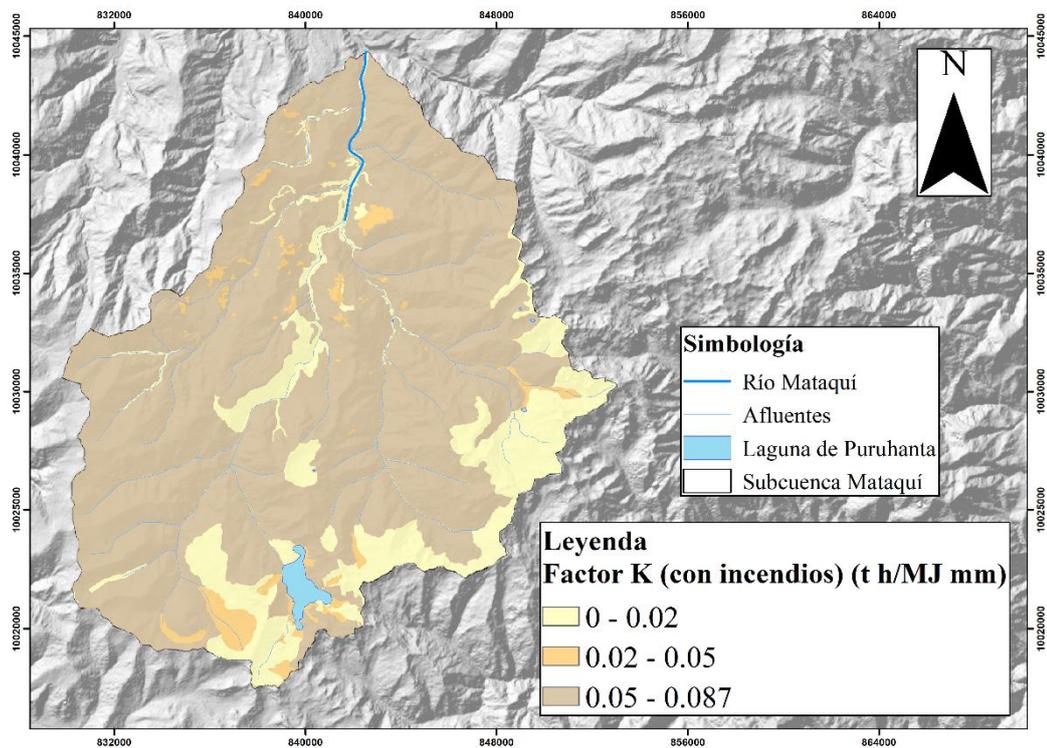
El cálculo del Factor C con zonas incendiadas (Figura 22) se realizó utilizando valores de 0.1 y 0.55 propuestos por Mukharamova et al (2021). El valor asignado depende de la severidad del incendio. Los incendios abarcan tan solo el 1.19% de total de la cobertura en la subcuenca de río Mataquí, sin embargo, los incendios tienen un papel importante en la erosión en las cuencas hidrográficas.

Según Noske et al. (2024) la erosión en las cuencas hidrográficas que se han visto afectadas por incendios aumenta considerablemente como resultado de una gran disponibilidad de sedimentos, siendo un fenómeno que puede acarrear impactos ambientales y sociales a gran escala, los incendios de cobertura vegetal no solo destruyen la vegetación que encuentran a su paso, sino que también alteran las propiedades del suelo, haciéndolo más vulnerable a la erosión hídrica, especialmente durante las lluvias que se presentan luego del incendio.

- **Factor K con zonas incendiadas**

El Factor K representa la erodabilidad del suelo considerando sus propiedades físicas como su estructura, contenido de materia orgánica y permeabilidad (Campaña Franklin, 2015). La distribución espacial del factor k con zonas incendiadas indica que los valores presentan un rango de 0.010 a 0.087 ton/ha/MJ⁻¹ mm⁻¹ ha⁻¹ (Figura 23).

Figura 23. Factor K con zonas incendiadas



La erodabilidad para zonas incendiadas se determinó mediante la aplicación de la ecuación 5. A partir de información de propiedades edáficas de la subcuenca hidrográfica Mataquí (Tabla 11).

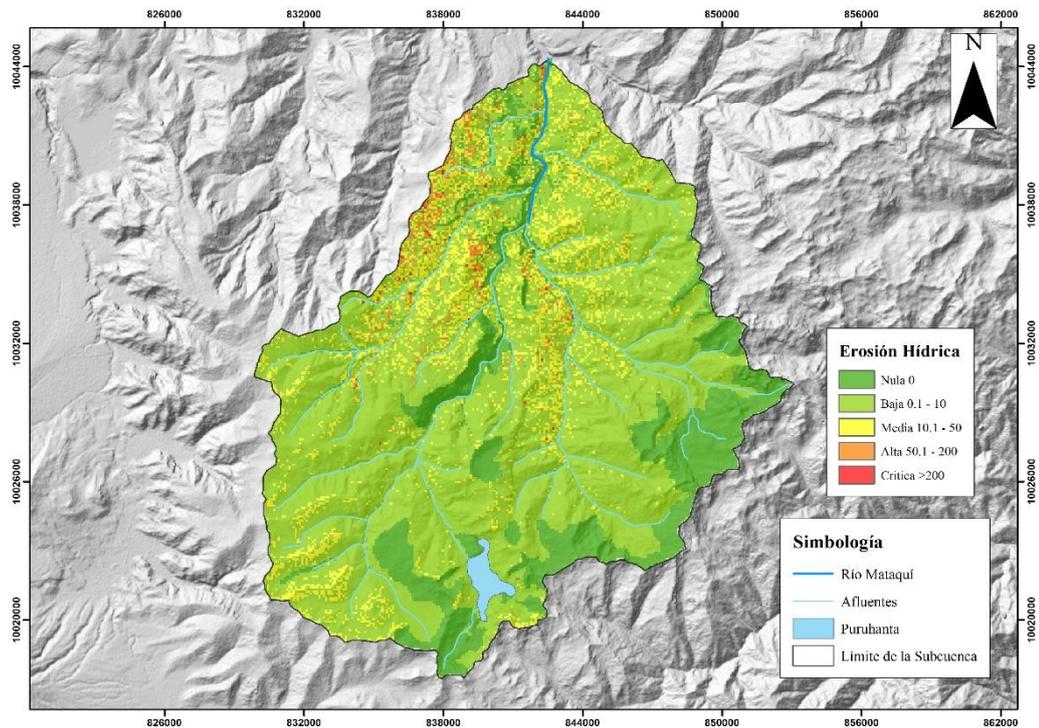
Tabla 11. Reporte análisis de textura

MUESTRA	% MO	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE TEXTURAL
Incendio 1.1	10.89	45.60	49.60	4.80	Franco arenoso
Incendio 1.2	6.05	49.60	42.60	7.80	Franco
Incendio 1.3		51.60	39.60	8.80	Franco
Incendio 1.4		55.60	37.60	6.80	Franco arenoso

4.3.1 Susceptibilidad de la erosión hídrica en la subcuenca Mataquí

El mapa de erosión hídrica muestra la susceptibilidad a la erosión hídrica en la Subcuenca del río Mataquí, calculada utilizando el método RUSLE. Los colores representan diferentes niveles de riesgo: desde zonas con nula erosión (verde claro) hasta áreas con erosión crítica (rojo).

Figura 24. Erosión hídrica en el área de estudio



La subcuenca del río Mataquí presenta erosión hídrica en un rango de 0 a 363 ton/ha/año (Figura 24), con esto se comprende que la erosión se presenta de manera crítica en áreas sin cobertura vegetal, la pendiente del terreno se relaciona directamente con la erosión (Rengifo Ingrit-Yohana et al., 2022). La subcuenca del Río Mataquí presenta cinco rangos con valores que van desde erosión nula hasta erosión crítica, las áreas que presentan rangos de erosión alta y muy alta tienden a presentar una erosión severa en caso de que no se mitigue el problema. En la subcuenca se evidencia mayor presencia de erosión nula y muy baja, esto debido a que los factores del modelo RUSLE presentaron valores bajos, los cuales se

definieron por la precipitación, los tipos de suelo, la pendiente del terreno y la cobertura y uso del suelo.

La subcuenca presenta un valor promedio de erosión de 6.63 ton/ha/año, la subcuenca hidrográfica Mataquí presenta una densidad aparente de 1.384 (g/cm³) por lo tanto existe una pérdida de 0.40 mm de suelo. Según Hudson (1982) es necesario el paso de 300 años para la formación o producción de 25 mm de suelo, por lo que el porcentaje de pérdida de suelo es 474.9% en diferencia a la formación de suelo durante un año presentando un valor de 0.083 mm. Con estos resultados la subcuenca se clasifica en una categoría que corresponde a baja erosión y con zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tolerables (Tabla 8).

4.3.2 Densidad aparente del suelo

El valor de la densidad aparente del suelo ayudó a calcular el valor de la erosión en mm de la subcuenca del río Mataquí para mayor facilidad de interpretación.

Tabla 12. *Densidad aparente del suelo y datos para el calculo*

Muestra	Cilindro húmedo (g)	Cilindro seco (g)	Diámetro (cm)	h (cm)	radio (cm)	área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Cilindro vacío (g)	Suelo seco (g)	Densidad (g/cm ³)
Ca1 Cb1	280.9	259.2	4.75	5.1	2.375	17.721	90.375	92.4	166.8	1.846
Ca1 Cb2	289.7	267.1	4.75	5.1	2.375	17.721	90.375	92	175.1	1.937
Ca1 Cb3	281.5	259.8	4.78	5.07	2.39	17.945	90.982	90.3	169.5	1.863
Ca1 Cb4	287.0	263	4.74	5.04	2.37	17.646	88.936	91	172	1.934
Ca2 Cb1	218.0	207.8	4.77	5	2.385	17.870	89.351	90.5	117.3	1.313
Ca2 Cb2	204.9	193.3	4.78	5	2.39	17.945	89.726	89.8	103.5	1.154
Ca2 Cb3	221.7	211.7	4.78	5	2.39	17.945	89.726	90.3	121.4	1.353
Ca2 Cb4	220.6	210.2	4.78	5.02	2.39	17.945	90.085	90.3	119.9	1.331
Ca3 Cb1	241.5	217.5	4.80	5	2.4	18.096	90.478	91	126.5	1.398
Ca3 Cb2	262.1	231.9	4.78	5.05	2.39	17.945	90.623	91.8	140.1	1.546
Ca3 Cb3	247.8	237.3	4.76	5.05	2.38	17.795	89.866	90.8	146.5	1.630
Ca3 Cb4	243.6	220.3	4.78	5.05	2.39	17.945	90.623	91.6	128.7	1.420
Ca1 Cm1	246.1	224.5	4.72	5.15	2.36	17.497	90.112	92.5	132	1.465
Ca1 Cm2	229.1	206.3	4.75	5.1	2.375	17.721	90.375	92.2	114.1	1.263
Ca1 Cm3	241.8	216.8	4.75	5.05	2.375	17.721	89.489	90.6	126.2	1.410
Ca1 Cm4	219.0	202.5	4.77	5.05	2.385	17.870	90.244	90.4	112.1	1.242
Ca2 Cm1	231.0	209.2	4.77	4.9	2.385	17.870	87.564	90.7	118.5	1.353
Ca2 Cm2	221.9	200.6	4.75	4.9	2.375	17.721	86.831	89.9	110.7	1.275

Ca2 Cm3	233.4	209.1	4.77	4.9	2.385	17.870	87.564	90.8	118.3	1.351
Ca2 Cm4	222.0	201.1	4.72	4.98	2.36	17.497	87.137	90.4	110.7	1.270
Ca3 Cm1	218.4	176.8	4.70	5.05	2.35	17.349	87.615	91.3	85.5	0.976
Ca3 Cm2	221.8	177.3	4.72	5.05	2.36	17.497	88.362	91.3	86	0.973
Ca3 Cm3	222.8	179.6	4.77	5	2.385	17.870	89.351	89.8	89.8	1.005
Ca3 Cm4	209.3	173.1	4.75	5.05	2.375	17.721	89.489	91.8	81.3	0.908
									Densidad aparente subcuenca	1.384

Se puede observar los valores de la densidad aparente para cada cilindro (Tabla 12) que van desde los 0.908 g/cm³ hasta los 1.937 g/cm³. Para un mejor análisis se obtuvo el promedio de la densidad aparente de todas las muestras dando como resultado un valor de 1.384 g/cm³ (Tabla 12).

4.3.3 Validación y evaluación del Modelo RULSE

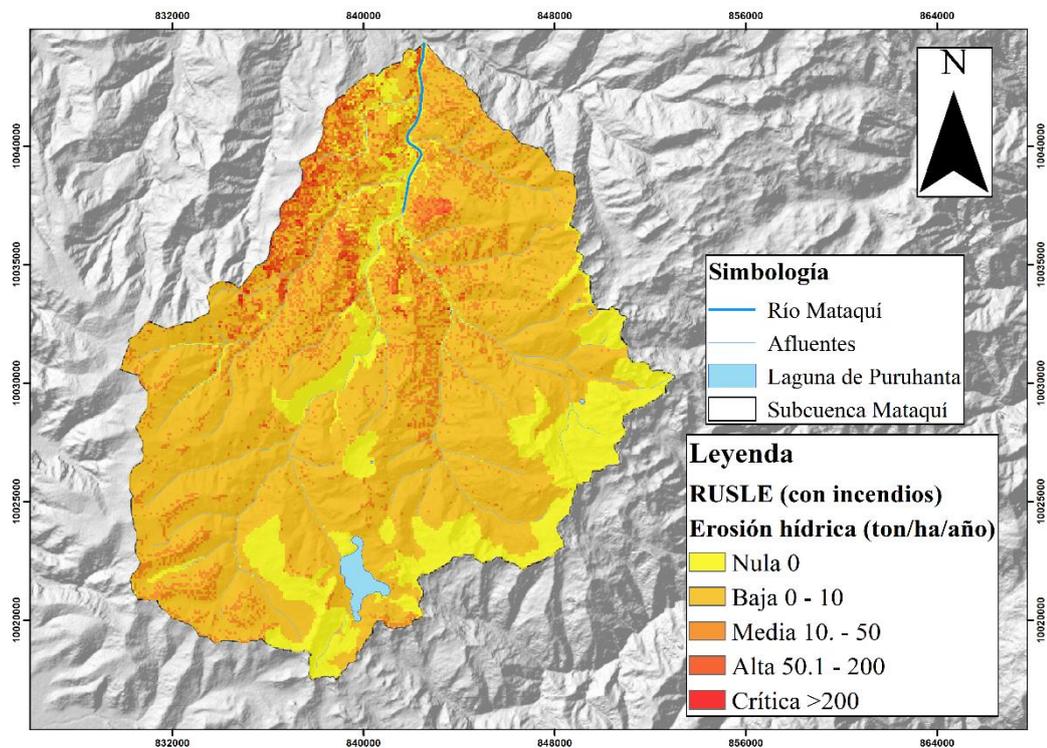
El valor de SDR obtenido fue de 0.18. Según Manoj y Debjyoti (2010) esto se debe principalmente a la fisiografía de la cuenca y al sistema de transporte de sedimentos que influye en la dinámica hídrica. Mientras que el valor de SY fue de 1.18 ton/ha/año. El caudal calculado de la subcuenca fue de 4.55 m³/s. Con el valor obtenido a partir de estos valores se obtuvo el valor del indicador Bias Ratio el cual fue 1.015 lo que muestra que el modelo sobreestima ligeramente la erosión real de la subcuenca. La aplicación del modelo RUSLE suele generar una sobreestimación de la erosión del suelo en cuencas hidrográficas, situación que puede verse evidenciada a través de los valores obtenidos para los indicadores de sesgo (Tsegaye y Bharti, 2021).

El indicador PBIAS obtenido fue de 1.50%, es decir el modelo sobreestima en un 1.50% en comparación con los valores observados en campo. Moriasi et al. (1983), mencionan que los valores de PBIAS < ±15% para sedimentos representa un desempeño muy bueno. El error cuadrático medio fue de 1.05 ton/ha/año. Es decir, existió un rango de error de 1.05 ton/ha/año entre el modelo y los valores observados en campo.

4.4. Efectos de las áreas incendiadas por incendios de cobertura vegetal en la susceptibilidad a erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica Mataquí

El mapa de la erosión hídrica con zonas incendiadas muestra la vulnerabilidad a este tipo de erosión en la subcuenca del río Mataquí, determinado a través del método RUSLE. Los distintos colores en el mapa (Figura 25) reflejan los grados de riesgo, los cuales van desde áreas sin erosión (amarillo) hasta áreas con erosión crítica (roja) (Figura 25).

Figura 25. Erosión hídrica con zonas incendiadas



La erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica Mataquí con zonas incendiadas presenta un rango de valores que va desde 0 a 555 ton/ha/año (Figura 25), la erosión se presenta de manera crítica en áreas donde no existe cobertura vegetal y áreas incendiadas, donde las altas temperaturas generadas por los incendios provocan el fenómeno de repelencia. Esta condición reduce la capacidad de infiltración del suelo, generando un aumento en la escorrentía superficial y haciendo al suelo más sensible a pérdidas por erosión (Fernández y Vega, 2011). La subcuenca hidrográfica del río Mataquí presenta 5 rangos de valores que van

desde erosión nula hasta erosión crítica, las áreas que presentan rangos de erosión alta y muy alta pueden llegar a presentar una erosión severa sino se busca soluciones.

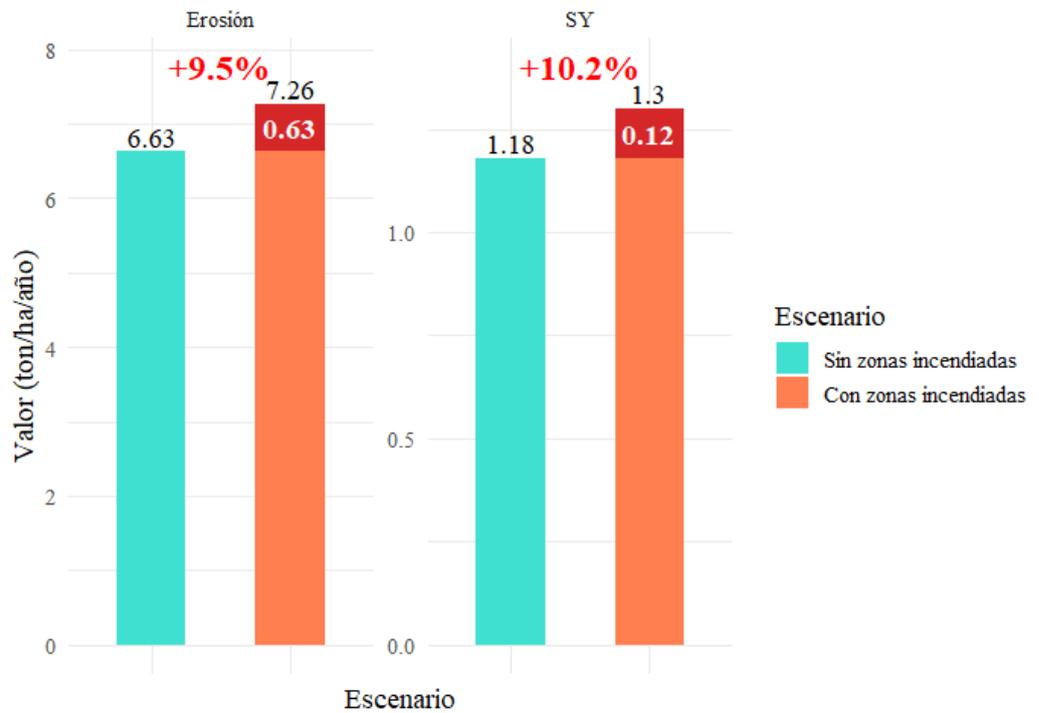
En la subcuenca del río Mataquí el valor promedio de erosión con incendios es de 7.26 ton/ha/año o una pérdida de 0.44 mm de suelo, como se mencionó anteriormente para la formación de 25 mm de suelo se necesitan 300 años (Hudson, 1982). El porcentaje de pérdida de suelo en la subcuenca con incendios es de 530.2% en relación con la formación que presenta un valor de 0.083 por año, con esto se puede entender que la subcuenca con incendios se encuentra en una categoría de erosión baja y está en la clasificación de zonas con niveles de erosión bajos y pérdidas de suelo que pueden ser tolerables (Tabla 8).

El valor promedio de erosión hídrica sin considerar las zonas incendiadas fue de 6.63 ton/ha/año y de 7.26 ton/ha/año considerando las zonas bajo efectos de incendios de cobertura vegetal, esto demuestra que existe un aumento de 0.63 ton/ha/año es decir una variación de 9.50% en la erosión hídrica de la subcuenca (Figura 26). Según Shakesby (2011) el aumento observado en la erosión hídrica tras incendios de cobertura vegetal se explica por la alteración de las propiedades físicas del suelo, como la reducción de la infiltración y la generación de la repelencia al agua. La pérdida de la cubierta vegetal deja el suelo expuesto al impacto de la lluvia, facilitando la remoción de partículas.

Estos datos muestran que sí existe una interacción ambiental entre los incendios de cobertura vegetal y la erosión hídrica ya que existió un aumento del 9.50% en la erosión hídrica con respecto al valor en zonas sin considerar los incendios (Figura 26). Este valor es considerable teniendo en cuenta que, los incendios de cobertura vegetal solo abarcan el 1.19% de la cobertura de la subcuenca. El valor de la carga sedimentaria (SY) de igual manera varió de 1.18 ton/ha/año en zonas sin considerar las zonas incendiadas a 1.30 ton/ha/año considerando los efectos de los de incendios, es decir, una variación de 10.17%

entre ambos valores (Figura 26). Demostrando que, los sedimentos que llegan igual aumentan al considerar las áreas incendiadas.

Figura 26. Evaluación comparativa del promedio de erosión y la producción de sedimentos (SY) en escenarios con y sin zonas incendiadas



CAPÍTULO V

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Los resultados obtenidos en el área de estudio demuestran que los incendios de cobertura vegetal y la erosión del suelo están estrechamente relacionados con causas de origen antrópico y cultural. También, las quemas agrícolas fuera de control se han identificado como la causa que más contribuye a la ocurrencia de incendios de cobertura vegetal con un 30,6%. A esto se suma la gran influencia del cambio climático con un 19% reflejando un aumento de la temperatura, variabilidad de lluvias y la prolongación de épocas de sequía. Por otro lado, se presenta como principal causa de la erosión la deforestación con un valor de 27% la pérdida de cobertura vegetal expone al suelo a agentes erosivos como la lluvia y el viento, la segunda causa de la deforestación es las quemas agrícolas fuera de control con un 19.5% esta práctica usada comúnmente para la preparación de los terrenos se vuelve perjudicial cuando no se maneja de forma adecuada. Los resultados del análisis estadístico permitieron confirmar la hipótesis, al demostrar una asociación estadísticamente significativa entre las causas de los incendios de cobertura vegetal y las causas de la erosión hídrica (V de Cramer = 0.354; $p < 0.001$)
- Para el año 2024 se identificaron un total de 75 incendios de cobertura vegetal, presentados principalmente en la zona baja y media del área de estudio, estos incendios abarcaron un total de 426.93 hectáreas, el incendio de mayor magnitud presentó una extensión de 124 hectáreas. En el análisis la subcuenca hidrográfica del río Mataquí presenta una erosión media de 6.63 ton/ha/año, lo que equivale a una pérdida de 0.40 mm de suelo anualmente, este dato comparado con la tasa de formación natural del suelo de 0.083 mm/año representa una pérdida anual de 474.9% respecto a su

formación lo cual demuestra que el área presenta una erosión en un rango establecido como bajo y pérdidas de suelo tolerable.

- El análisis en la subcuenca hidrográfica evidencia que los incendios de cobertura vegetal intensifican en gran manera los procesos de erosión hídrica, con un valor promedio de erosión de 7.26 ton/ha/año, las zonas que presentan mayor afectación corresponden aquellas donde no existe la presencia de cobertura vegetal y con antecedentes de incendios, donde se genera repelencia al agua en el suelo y se disminuye la infiltración, aumentando la escorrentía, esto incrementa la vulnerabilidad del suelo a la pérdida acelerada por erosión. Los valores de erosión aumentaron en un 9.50% cuando se incluyeron las zonas incendiadas, de igual manera la carga sedimentaria (SY) aumentó en un 10.17% demostrando que sí existe una interacción ambiental entre ambos factores. La subcuenca presenta una pérdida de 0.44 mm de suelo por año, superando ampliamente la tasa de formación de suelo que se encuentra estimada en 0.083 mm/año.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda a las instituciones encargadas de la gestión de los recursos hídricos, que establezcan y se fortalezcan sistemas de monitoreos continuos de sedimentos y de caudales en las cuencas hidrográficas del país. La implementación de información precisa y confiable permitirá evaluar en tiempo real los procesos de sedimentación y erosión. Esta información no solo servirá para el desarrollo de investigaciones sobre los procesos de erosión y sedimentación si no que ayudara en la toma de decisiones informadas. De esta forma se contribuirá una buena gestión ambiental y mitigación de riesgos asociados a estos problemas.
- Es crucial diseñar y ejecutar programas de capacitación que aborden tanto aspectos técnicos como socioeconómicos. Estos programas deben incluir demostraciones prácticas en campo, talleres sobre técnicas de conservación de suelo y agua, y asesoría personalizada a los agricultores. Además, es

fundamental ofrecer incentivos económicos para fomentar la adopción de estas prácticas sostenibles para la preparación del terreno como el compostaje que reduzcan la necesidad de quemas.

- Extender el uso de esta metodología a distintas cuencas hidrográficas permitiría obtener datos actualizados sobre la erosión del suelo. Con esta información, se podrán implementar acciones específicas para proteger los recursos naturales y promover un manejo sostenible de la tierra. Además, se recomienda fomentar procesos de educación ambiental y capacitación comunitaria sobre la importancia de la protección del recurso suelo, ya que su pérdida compromete directamente la productividad.
- Implementar un plan integral de prevención de incendios y restauración del suelo con campañas comunitarias de educación ambiental que generen sensibilización sobre los efectos negativos de las quemas agrícolas no controladas promoviendo alternativas sostenibles para la preparación del terreno.

REFERENCIAS

- Abad Conde-Blanco, E. (2019). *Impacto del cambio de cobertura y uso de suelo e incendios forestales, sobre los recursos hídricos y biodiversidad, en dos subcuencas ganaderas de la Costa Sur de Jalisco, México.*
- Abebe, N., Eekhout, J., Vermeulen, B., Boix-Fayos, C., de Vente, J., Grum, B., Hoitink, T., & Baartman, J. (2023). The potential and challenges of the ‘RUSLE-IC-SDR’ approach to identify sediment dynamics in a Mediterranean catchment. *CATENA*, 233, 107480. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2023.107480>
- Alcaldía de Pimampiro. (2020, August 17). *Incendios forestales.* <https://www.facebook.com/watch/?v=957992244613994&rdid=bUowZP8DYceziqmO>
- Alfonso-Martínez, M. F., & Montealegre-Ramirez, M. F. (2021). *Influencia de la topografía en la severidad de un incendio forestal de bosque seco tropical en la Cuenca Alta del Río Magdalena.* <http://hdl.handle.net/11349/26465>
- Altamirano, J. D., & Ordóñez-Bernal, M. Á. (2021). *Percepción y vulnerabilidad social por incendios forestales por las comunidades de un sector de transición urbano – rural de los cerros del municipio de Cali, Valle del Cauca.* Universidad Católica de Manizales. <https://repositorio.ucm.edu.co/handle/10839/3228>
- Amaya-Villabona, D., & Dolors-Armenteras, P. (2012). Incidencia de incendios sobre la vegetación de Cundinamarca y Bogotá D.C. (Colombia), ENTRE 2001 Y 2010 Fire Incidence on Vegetation in Cundinamarca and Bogota D.C. (Colombia) During the 2001-2010 Period. *Acta Biol. Colomb*, 17(1), 143–158.
- Andreae, M. O., & Merlet, P. (2001). Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 15(4), 955–966. <https://doi.org/10.1029/2000GB001382;WGROU:STRING:PUBLICATION>
- Andrés Ramírez-Ortiz, F., Hincapié-Gómez, ; Edgar, & Sadeghian-Khalajabadi, S. (2009). Erodabilidad de los suelos de la zona central cafetera del departamento de caldas *I. 60*(1), 58–71.
- Arias, A., Benjumea Arias, M. L., & Rodríguez-Lora, V. (2014). Intención de uso del e-learning en el programa de Administración Tecnológica desde la perspectiva del

- modelo de aceptación tecnológica. *Revista Electrónica Educare*, 18(2).
<https://doi.org/10.15359/ree.18-2.13>
- Arias-Muñoz, P., Chuma-Pomasqui, L., Coronado-Cacuango, P., & Jácome-Aguirre, G. (2024). Susceptibility to vegetation cover fires: an evaluation using multi-criteria and radio frequency methods (Cotacachi Cantón, Ecuador). *Geographical Research Letters*, 50(1), 21–39. <https://doi.org/10.18172/cig.5867>
- Arias-Muñoz, P., Saz, M. A., & Escolano, S. (2023). *Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador*. <https://doi.org/10.14198/INGEO.22390>
- Armenteras, D., González, T. M., Ríos, O. V., Elizalde, M. C. M., & Oliveras, I. (2020). Fire in the ecosystems of northern south america: Advances in the ecology of tropical fires in Colombia, Ecuador and Peru[Incendios en ecosistemas del norte de suramérica: Avances en la ecología del fuego tropical en Colombia, Ecuador y Perú]. *Caldasia*, 42(1), 1–16. <https://doi.org/10.15446/caldasia.v42n1.77353>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2018). *Código Orgánico del Ambiente*. www.lexis.com.ec
- Avellaneda, F. G., & Villafuerte, D. E. (2008). *Repositorio de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE: Propuesta de uso del agua en las microcuencas hidrográficas del Cantón Pimampiro en base a su vocación*. <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/816>
- Betancourt, A. C., & Caviedes, I. L. (2018). Metodología de correlación estadística de un sistema integrado de gestión de la calidad en el sector salud. *SIGNOS - Investigación En Sistemas de Gestión*, 10(2), 119–139. <https://doi.org/10.15332/s2145-1389.2018.0002.07>
- Bezak, N., Borrelli, P., Mikoš, M., Jemec Auflič, M., & Panagos, P. (2024). Towards multi-model soil erosion modelling: An evaluation of the erosion potential method (EPM) for global soil erosion assessments. *CATENA*, 234, 107596. <https://doi.org/10.1016/J.CATENA.2023.107596>
- Bowman, D. M. J. S., Balch, J. K., Artaxo, P., Bond, W. J., Carlson, J. M., Cochrane, M. A., D'Antonio, C. M., DeFries, R. S., Doyle, J. C., Harrison, S. P., Johnston, F. H., Keeley, J. E., Krawchuk, M. A., Kull, C. A., Marston, J. B., Moritz, M. A., Prentice,

- I. C., Roos, C. I., Scott, A. C., ... Pyne, S. J. (2009). Fire in the earth system. *Science*, 324(5926), 481–484. <https://doi.org/10.1126/science.1163886>
- Cabascango, C. A. D., & Parra, M. S. J. (2019). *Evaluación de las propiedades físicas y químicas del suelo en áreas con cultivos transitorios de la parroquia Pimampiro, provincia Imbabura*. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9823>
- Campana Franklin. (2015). *Aplicación del modelo RUSLE para el cálculo de erosión hídrica en la microcuenca del río Perlaví*. Universidad Central del Ecuador.
- Casanova-Ruiz, G., Delgado, D., & Panchana, R. (2024). Estimation of sediment volumes due to rainfall erosion using RUSLE model in basins of the province of Manabí, Ecuador [Estimación de volúmenes de sedimentos por erosión hídrica empleando el modelo RUSLE en cuencas de la provincia de Manabí, Ecuador]. *Revista de Teledeteccion*, 2024(63), 1–21. <https://doi.org/10.4995/raet.2024.20147>
- Castro, O., & Coruña, A. (1996). *Cambios en la física del suelo e incrementos de la escorrentía y la erosión tras un incendio forestal*.
- Chartier, M. P., & Rostagno, C. M. (2018). *Evaluación del modelo WEPP para predecir la erosión hídrica en pastizales semiáridos del noreste de la Patagonia*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/58814>
- Código Orgánico Del Ambiente (2017). www.lexis.com.ec
- Colín-García, G., Palacios-Vélez, E., Fernández-Reynoso, D. S., López-Pérez, A., Flores-Magdaleno, H., Ascencio-Hernández, R., & Canales-Islas, E. I. (2023). Modelación hidrológica con el modelo SWAT empleando diferentes distribuciones espaciales del tipo suelo en la cuenca del Río Mixteco. *Terra Latinoamericana*, 41. <https://doi.org/10.28940/TERRA.V41I0.1566>
- Concejo Municipal San Pedro de Pimampiro. (2017). *Ordenanza que Reglamenta la Protección del Ambiente del Cantón San Pedro de Pimampiro*. https://www.pimampiro.gob.ec/images/ordenanzas/ORD_PROTECCION%20_ AMBIENTE.pdf
- Concejo Municipal San Pedro de Pimampiro. (2019). *Ordenanza que Regula la Gestión de los Servicios de Prevención, Protección, Socorro y Extinción de Incendios en el Cantón San Pedro de Pimampiro*. https://www.pimampiro.gob.ec/images/ordenanzas/ORDENANZA_INCENDIOS.pdf

- Conopoima Moreno, Y. D. C. (2023). Deforestation and its degrading effect on the environment[La deforestación y su efecto degradante en el medioambiente]. *Salud, Ciencia y Tecnología - Serie de Conferencias*, 2, 441. <https://doi.org/10.56294/sctconf2023441>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008). Asamblea Nacional del Estado. In *Registro Oficial* (Vol. 449, Issue 20). www.lexis.com.ec
- De Roo, A., Wesseling, C. G., Jetten, V. G., & Ritsema, C. J. (1996). LISEM: A physically-based hydrological and soil erosion model incorporated in a GIS. *HydroGIS* 96. https://www.researchgate.net/publication/40189682_LISEM_A_physically-based_hydrological_and_soil_erosion_model_incorporated_in_a_GIS
- De Santos Loureiro, N., & De Azevedo Coutinho, M. (2001). A new procedure to estimate the RUSLE EI30 index, based on monthly rainfall data and applied to the Algarve region, Portugal. *Journal of Hydrology*, 250(1–4), 12–18. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00387-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00387-0)
- Depietri, Y., & Orenstein, D. E. (2019). Fire-Regulating Services and Disservices With an Application to the Haifa-Carmel Region in Israel. In *Frontiers in Environmental Science* (Vol. 7). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00107>
- Díaz de Rada-Igúzquiza, V. (2002). Tipos de encuestas y diseños de investigación. *Catálogo de Publicaciones de La Universidad Pública de Navarra*, 243. <http://www.unavarra.es/puresoc/es/vidal2.htm>
- Díaz, M. M. A., & Encarnacion, D. G. M. (2018). *Zonificación de áreas propensas a incendios de cobertura vegetal en el cantón Pimampiro, provincia de Imbabura*. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8655>
- Fernández, C., & Vega, J. A. (2011). *Erosión después de incendios forestales*.
- Fierro, R. E. J., & Maldonado, C. C. I. (2023). *Evaluación de la degradación física del suelo en ecosistemas agrícolas de la parroquia Pimampiro* [Universidad Técnica del Norte]. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14288>
- García-Manosalvas, F. N., & Tuquerres-Ipiales, M. C. (2024). *Análisis de las causas socio ambientales de los incendios históricos forestales del cantón Ibarra*. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16167>

- Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H., & Arnold, J. G. (2007). The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions. *Transactions of the ASABE*, 50(4), 1211–1250. <https://doi.org/10.13031/2013.23637>
- González, Mauro E, Lara, Antonio, Urrutia, Rocío, Bosnich, & Juvenal. (2011). *Cambio climático y su impacto potencial en la ocurrencia de incendios forestales en la zona centro-sur de Chile (33° - 42° S)*. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002011000300002>
- Groves, C. (2019). Sustainability and the future: reflections on the ethical and political significance of sustainability. *Sustainability Science*, 14(4), 915–924. <https://doi.org/10.1007/S11625-019-00700-0/METRICS>
- Gutiérrez Caiza, C. (2014). *Hidrología básica y aplicada*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6758>
- Hoyos, N., Acosta, S., & Correa, I. D. (2006). Sistema de información geográfica para el estudio de la erosión litoral en el departamento de Córdoba, Colombia: Herramientas de diseño, implementación y uso. *Gestión y Ambiente*, 9(3), 147–156. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/51958>
- Hudson, N. (1982). *Conservación del suelo* (Reverté, Ed.). https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=u137pQPxYGAC&oi=fnd&pg=PA1&dq=25+mm+de+suelo+en+300+a%C3%B1os&ots=qe3ZLc32Zr&sig=PeFijyzvnTmJllc2l6KdHkv1smo&redir_esc=y#v=onepage&q=25%20mm%20de%20suelo%20en%20300%20a%C3%B1os&f=false
- Jain, M. K., & Kothyari, U. C. (2000). Estimation of soil erosion and sediment yield using GIS. *Hydrological Sciences Journal*, 45(5), 771–786. <https://doi.org/10.1080/02626660009492376;REQUESTEDJOURNAL:JOURNAL:THSJ20>
- Játiva-Yépez, A. W. (2013). *Incidencia de los riesgos naturales y antrópicos que ocasionan los incendios forestales, en el Distrito Metropolitano de Quito*. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/7426>
- Keller, E. A., & Blodgett, R. H. (2007). *Riesgos naturales : procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes*. Pearson Prentice Hall.

- López, M. J. G., & Caselles, V. (1991). Mapping burns and natural reforestation using thematic Mapper data. *Geocarto International*, 6(1), 31–37. <https://doi.org/10.1080/10106049109354290>
- Manoj, K. J., & Debjyoti, D. (2010). Estimation of sediment yield and areas of soil erosion and deposition for watershed prioritization using GIS and remote sensing. *Water Resources Management*, 24(10), 2091–2112. <https://doi.org/10.1007/S11269-009-9540-0>
- Manta, M. I., & et. al. (2018). Evaluation of wildfire danger in the Peruvian Andes: first step for its reduction and adaptation. *Advances in Forest Fire Research 2018*, 44–56. https://doi.org/10.14195/978-989-26-16-506_4
- Marques da Silva, R., Santos, C. A. G., & Medeiros -Silva, A. (2014). Predicting soil erosion and sediment yield in the Tapacurá catchment, Brazil. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 8(1), 75–82. <https://doi.org/10.4090/JUEE.2014.V8N1.075082>
- Mejía-Trejo, J. (2019). *Diseño de cuestionarios y creación de escalas*. https://dca.cucea.udg.mx/sites/default/files/adjuntos/2019_diseno_de_cuestionarios_y_creacion_de_escalas.pdf
- Michalijos, M. P., Geraldi, A., & Barragan, F. (2022). Análisis de la distribución de la precipitación y su incidencia en el peligro de incendio. Estudio de caso: Sierra de la Ventana, Argentina. *Párrafos Geográficos*, 21.
- Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica. (2019). *Prevención y control de incendios una prioridad nacional – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica*. <https://www.ambiente.gob.ec/prevencion-y-control-de-incendios-una-prioridad-nacional/>
- Montorio Llovería, R., Pérez-Cabello, F., García-Martín, A., Vlassova, L., & De la Riva Fernández, J. (2014). *La severidad del fuego: revisión de conceptos, métodos y efectos ambientales*.
- Moore, I. D., & Wilson, J. P. (1992). *Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation*. www.swcs.org
- Mora Aliseda, J., Horcajo Romo, A. I., Castro Serrano, J., & Garrido Velarde, J. (2024). Evolución de los incendios forestales en España y Extremadura. ¿Correlación con el Cambio Climático? *Anales de Geografía de La Universidad Complutense*, ISSN

- 0211-9803, Vol. 44, N° 1, 2024, Págs. 191-215, 44(1), 191–215.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9297552&info=resumen&idioma=FRE>
- Mora-Gil, J. E. (2020). *Incendios forestales: causas e impactos*.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Liew, M. W. Van, Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (1983). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3).
- Mukharamova, S., Saveliev, A., Ivanov, M., Gafurov, A., & Yermolaev, O. (2021). Estimating the Soil Erosion Cover-Management Factor at the European Part of Russia. *ISPRS International Journal of Geo-Information 2021*, Vol. 10, Page 645, 10(10), 645. <https://doi.org/10.3390/IJGI10100645>
- Nearing, M. A., Foster, G. R., Lane, L. J., & Finkner, S. C. (1989). Process-based soil erosion model for USDA-water erosion prediction project technology. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 32(5), 1587–1593. <https://doi.org/10.13031/2013.31195>
- Noske, P. J., Nyman, P., Lane, P. N. J., Rengers, F. K., & Sheridan, G. J. (2024). Changes in soil erosion caused by wildfire: A conceptual biogeographic model. *Geomorphology*, 459, 109272. <https://doi.org/10.1016/J.GEOMORPH.2024.109272>
- ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible | Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/common-agenda/sustainable-development-goals>
- Organización de las Naciones Unidas. (1992). *Convenio Sobre la Diversidad Biológica*. <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (1996). *Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación*. https://www.unccd.int/sites/default/files/2022-02/UNCCD_Convention_text_SPA.pdf
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *El Acuerdo de París | Naciones Unidas*. United Nations. <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>
- Pazmiño, D. (2019). Peligro de incendios forestales asociado a factores climáticos en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 7(1), 10–18. <https://doi.org/10.29166/REVFIG.V1I1.1800>

- Pérez, H., Anrango, M. J., Villagrán, G., Ortiz, D., Chela Lizeth, & Fernández, L. (2020). *Análisis de la deforestación en la erosión hídrica del suelo y sedimentación de la microcuenca del Río Blanco, Carchi*. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10583>
- Piscitelli, M., Varni, M., Sfeir, A., & Ares, G. (2010). Valores de erodabilidad (factor K-USLE) para suelos representativos de la cuenca alta del arroyo Azul (partido de Azul- Buenos Aires). *Revista de La Facultad de Agronomía, ISSN-e 1669-9513, ISSN 0041-8676, Vol. 109, N°. 1, 2010, Págs. 17-22, 109(1), 17–22*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5718160&info=resumen&idioma=SPA>
- Portuguez M., D. M. (2015). Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río siguas utilizando Geoinformatica. *Anales Científicos, 76(2), 324*. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i2.797>
- Pourrut, P. (1995). *El agua en el Ecuador : clima, precipitaciones, escorrentía* (Vol. 7). Colegio de Geógrafos del Ecuador.
- Prado-Hernández, J., Rivera-Ruiz, P., León-Mojarro, B. de, Carrillo-García, M., & Martínez-Ruiz, A. (2017). Calibración de los modelos de pérdidas de suelo USLE y MUSLE en una cuenca forestal de México: caso El Malacate. *Agrociencia (1405-3195), 51, 57–79*. <https://doi.org/10.16/CSS/JQUERY.DATATABLES.MIN.CSS>
- Quimbiulco-Andrango, P. M., & Suarez-Burgos, A. J. (2024). *Análisis de las causas socio ambientales de los incendios históricos forestales del cantón Otavalo*. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/16146>
- Ramos, R. M. P., Cobeña Andreina Alcívar, Cedeño Luna Andreina Alcívar, & Manrique-Toala Tayron Omar. (2022). Usos tradicionales del fuego en las actividades agrícolas de la parroquia Convento, cantón Chone, Manabí, Ecuador . *CFORES, 10*. <https://orcid.org/0000-0002-8638-6383>
- Ramos-Rodríguez, M. P., Medranda-Mendieta, J. A., Manrique-Toala, T. O., Grás-Rodríguez, R., Estévez-Valdés, I., Ramos-Rodríguez, M. P., Medranda-Mendieta, J. A., Manrique-Toala, T. O., Grás-Rodríguez, R., & Estévez-Valdés, I. (2020). Comportamiento histórico de los incendios forestales en el Cantón Rocafuerte, provincia Manabí, Ecuador, en el periodo 2016 - 2019. *Revista Forestal*

Mesoamericana Kurú, 17(41), 37–46.
<https://doi.org/10.18845/RFMK.V17I41.5282>

Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool D.K, & Yoder, D. C. (1997). *Predicting soil erosion by water : a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. U.S. Dept. of Agriculture, Agricultural Research Service.

Rengifo Ingrit-Yohana, Muñoz-Gomez Fernando-Andrés, & Toro-Trochez Oscar-Andrés. (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), 29–44.
<https://doi.org/10.18684/RBSAA.V20.N2.2022.1738>

Rivera-Posada, J. H., Lal, R., Édgar Amézquita-Collazos, ;, Mesa-Sánchez, Ó., Chaves-Córdoba, B., & Rivera, R. (2014). *Predicción de la erodabilidad en algunos suelos de ladera de la zona cafetera colombiana*. 61(4), 344–357.
<https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/508>

Rodriguez-Trejo, D. A. (2012). Génesis de los incendios forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y Del Ambiente*, 18(3), 357–373.
<https://doi.org/10.5154/R.RCHSCFA.2011.12.091>

Sabuco-Cárdenas, P. (2013). La problemática de los incendios forestales y bases para su teledetección en el Perú. *Apuntes de Ciencia & Sociedad, ISSN 2225-5141, ISSN-e 2225-515X, Vol. 3, N°. 2, 2013, 3(2), 5*.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5042998&info=resumen&idioma=SPA>

Salgado-Vargas, M. A., & Baeza-Freer, A. C. (2024). Percepción de la sustentabilidad en el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Estudio de caso en la comuna Concepción, Chile. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 7, e370. <https://doi.org/10.46380/rias.v7.e370>

San Martín, R., Otlé, C., & Sörensson, A. (2023). Fires in the South American Chaco, from dry forests to wetlands: response to climate depends on land cover. *Fire Ecology*, 19(1), 57. <https://doi.org/10.1186/s42408-023-00212-4>

Santillán, J.-, Juan, J., Central, U., & Ecuador, D. (2023). Altos niveles de erosión hídrica en una microcuenca tropical calculado mediante el modelo USLE. *FIGEMPA:*

- Investigación y Desarrollo*, 15(1), 26–39.
<https://doi.org/10.29166/REVFIG.V15I1.4269>
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2023). *SitRep No. 57 – Incendios Forestales*.
<https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2023/11/SITREP-Nro.-57-Incendios-Forestales-01012023-al-16112023.pdf>
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (2024). *Incendios Forestales 2024*.
<https://www.gestionderiesgos.gob.ec/wp-content/uploads/2024/01/SITREP-Nro-02-Incendios-Forestales-01012024-al-31012024-1.pdf>
- Secretaría Nacional de Planificación. (2021). *Plan-de-Creación-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado*.
<https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/Plan-de-Creacio%CC%81n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado.pdf>
- Secretaría Nacional de Planificación. (2024). *Plan Nacional de Desarrollo 2024-2025*.
<https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/2024/02/PND2024-2025.pdf>
- Serrada-Hierro, R. (2011). *Universidad Politécnica de Madrid escuela universitaria de ingeniería técnica forestal Apuntes de Selvicultura Apuntes de Selvicultura Apuntes de Selvicultura Apuntes de Selvicultura*.
- Servicios para el Desarrollo. (2022). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Pimampiro 2030*. www.pimampiro.gob.ec
- Shakesby, R. A. (2011). Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions. *Earth-Science Reviews*, 105(3–4), 71–100.
<https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2011.01.001>
- Suárez, A. J. C., Bazurto, E. E. F., González, R. R. V., & Camacho, E. J. A. (2024). Manejo y conservación de suelos en el Ecuador como medida de mitigación al cambio climático. *RECIMUNDO*, 8(2), 422–436.
[https://doi.org/10.26820/recimundo/8.\(2\).abril.2024.422-436](https://doi.org/10.26820/recimundo/8.(2).abril.2024.422-436)
- Tálamo, A., Bermudez, R., Lucas, :, Garibaldi, A., & Chavez, A. (2016). Respuesta edáfica a lluvia y fuego soil erosion and runoff in response to simulated rainfall and wildfires in dry mountain forests. *Ciencia del Suelo*.
- Thomas, J., Joseph, S., & Thrivikramji, K. P. (2018). Assessment of soil erosion in a tropical mountain river basin of the southern Western Ghats, India using RUSLE

and GIS. *Geoscience Frontiers*, 9(3), 893–906.
<https://doi.org/10.1016/J.GSF.2017.05.011>

Tsegaye, L., & Bharti, R. (2021). Soil erosion and sediment yield assessment using RUSLE and GIS-based approach in Anjeb watershed, Northwest Ethiopia. *SN Applied Sciences*, 3(5). <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04564-x>

Vijith, H., Hurmain, A., & Dodge-Wan, D. (2018). Impacts of land use changes and land cover alteration on soil erosion rates and vulnerability of tropical mountain ranges in Borneo. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 12, 57–69.
<https://doi.org/10.1016/J.RSASE.2018.09.003>

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses – A Guide to Conservation Planning (No. 537). *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(12), 7034–7044.

Wondzell, S. M., & King, J. G. (2003). Postfire erosional processes in the Pacific Northwest and Rocky Mountain regions. *Forest Ecology and Management*, 178(1–2), 75–87. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(03\)00054-9](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(03)00054-9)

ANEXOS

Anexo 1. Formato de la encuesta realizada a la población del cantón Pimampiro

ENCUESTA

Objetivo: Identificar las causas sociales de los incendios de cobertura vegetal y la erosión.

1) Género

- M ()
- F ()

2) Edad

- 15-30
- 31-45
- 45 EN ADELANTE

3) Educación

- No tiene ()
- Primaria ()
- Secundaria sin finalizar ()
- Secundaria finalizada ()
- Universitaria ()
- Postgrado ()

4) ¿A qué tipo de actividades económicas se dedica usted?

- Agricultura ()
- Ganadera ()
- Comercio ()
- Construcción ()
- Servidor Público ()
- Empleado Privado ()
- Otro ()

5) ¿Sabe usted qué es un incendio forestal o un incendio de cobertura vegetal?

- SI ()
- NO ()

Si la respuesta es sí, explique

6) ¿Conoce usted, si en su sector han existido incendios de cobertura vegetal en los últimos años?

- SI ()
- NO ()

Si la respuesta es sí, ¿cuántos aproximadamente en el último año?

7) ¿Cuáles consideraría usted que son las razones para que en su sector se realicen quemas agrícolas?

- Costumbres de los antepasados ()
- Preparación del terreno para la próxima siembra ()
- Otras ()
- Desconozco ()

8) ¿Cuáles considera usted que son las causas de los incendios de cobertura vegetal en su sector?

- Quemas agrícolas fuera de control ()
- Cambio climático ()
- Basura abandonada en terrenos y quebradas ()
- Agricultura intensiva ()
- Deforestación ()
- Rayos o relámpagos ()
- Otras ()
- Ninguna o desconoce ()

9) ¿Conoce usted sobre las sanciones legales existentes a las personas que causan incendios de cobertura vegetal?

- Desconocía totalmente ()
- Desconocía parcialmente ()
- Ni conocía ni desconocía ()
- Algo Conocía ()
- Sabía/conocía totalmente del tema ()

10) ¿Estaría de acuerdo con que se definan las zonas de riesgo de incendio de cobertura vegetal en su comunidad o sector?

- Totalmente en desacuerdo ()
- Parcialmente en desacuerdo ()
- Ni de acuerdo ni desacuerdo ()
- Parcialmente de acuerdo ()
- Totalmente de acuerdo ()

11) ¿Sabe usted qué es la erosión?

- SI ()
- NO ()

Si la respuesta es sí, explique

12) ¿Conoce usted si en su sector el suelo está erosionado?

- Desconocía totalmente ()
- Desconocía parcialmente ()
- Ni conocía ni desconocía ()
- Algo Conocía ()
- Sabía/conocía totalmente del tema ()

13) ¿Considera Usted que los incendios de cobertura vegetal pueden ser una causa de la erosión del suelo en su sector?

- SI ()
- NO ()

Si considera, no considera y por qué

14) ¿Cuáles considera usted serían las causas de la erosión del suelo?

- Quemadas agrícolas fuera de control ()
- Cambio climático ()
- Basura abandonada en terrenos y quebradas ()
- Agricultura intensiva ()
- Deforestación ()
- Rayos o relámpagos ()
- Otras ()
- Ninguna o desconoce ()

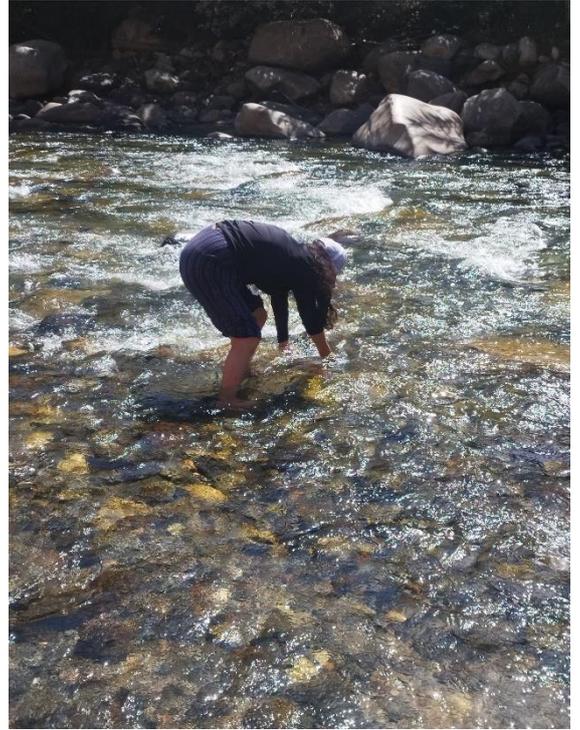
15) Si usted es agricultor ¿estaría dispuesto a implementar técnicas de conservación de suelo en sus actividades diarias?

- SI ()
- NO ()

16. En caso de que su respuesta sea afirmativa, ¿Cuáles serían las técnicas de conservación de suelo que estaría dispuesto a aplicar?

- Aplicación de mulch ()
- Cultivos en terrazas ()
- Enmiendas orgánicas ()
- Otras ()

Anexo 2. Muestreo de agua



Anexo3. Muestreo de suelo



Anexo4. Zonas incendiadas



Anexo 5. Reconocimiento del área de estudio



Anexo 6. Análisis de muestras en laboratorio



Anexo 7. Toma de encuestas en el área de estudio



Anexo 8. Resultados de los análisis de laboratorio de muestras de suelo.

LABONORT

LABORATORIOS NORTE

Juan Hernández y Jaime Roldos(M.Mayorista) Ibarra-Ecuador. Telf. cel. 0999591050

REPORTE ANÁLISIS DE TEXTURA

DATOS DEL PROPIETARIO
 NOMBRE : DANIELA BETANCOURT
 CIUDAD : Pimampiro
 TELÉFONO : 0960248058
 E-MAIL : daniela23betancourt@gmail.com

DATOS DE LA PROPIEDAD
 PROVINCIA : Imbabura
 CANTÓN : Pimampiro
 PARROQUIA :
 SITIO :

DATOS DE MUESTRA
 SITIO :
 MUESTRA : Suelos

DATOS DE LABORATORIO
 No REPORTE : R 12050-51-52-53-54
 No MUES.LAB.: L 12050-51-52-53-54
 FECHA DE INGRESO : 2025 01 14
 FECHA DE REPORTE : 2025 01 17

RESULTADOS:

MUESTRA	# CAMPO	% MO	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE TEXTURAL
12050	Sin incendio	4,10 M	59,60	33,60	6,80	Franco arenoso
12051	Incendio 1,1	10,89 A	45,60	49,60	4,80	Franco arenoso
12052	Incendio 2,1	6,05 A	49,60	42,60	7,80	Franco
12053	Incendio 3,1		51,60	39,60	8,80	Franco
12054	Incendio 4,1		55,60	37,60	6,80	Franco arenoso

Métodos :

Textura: Bouyoucos(análisis granulométrico por densimetría).

Materia orgánica(%MO): Walkley y Black

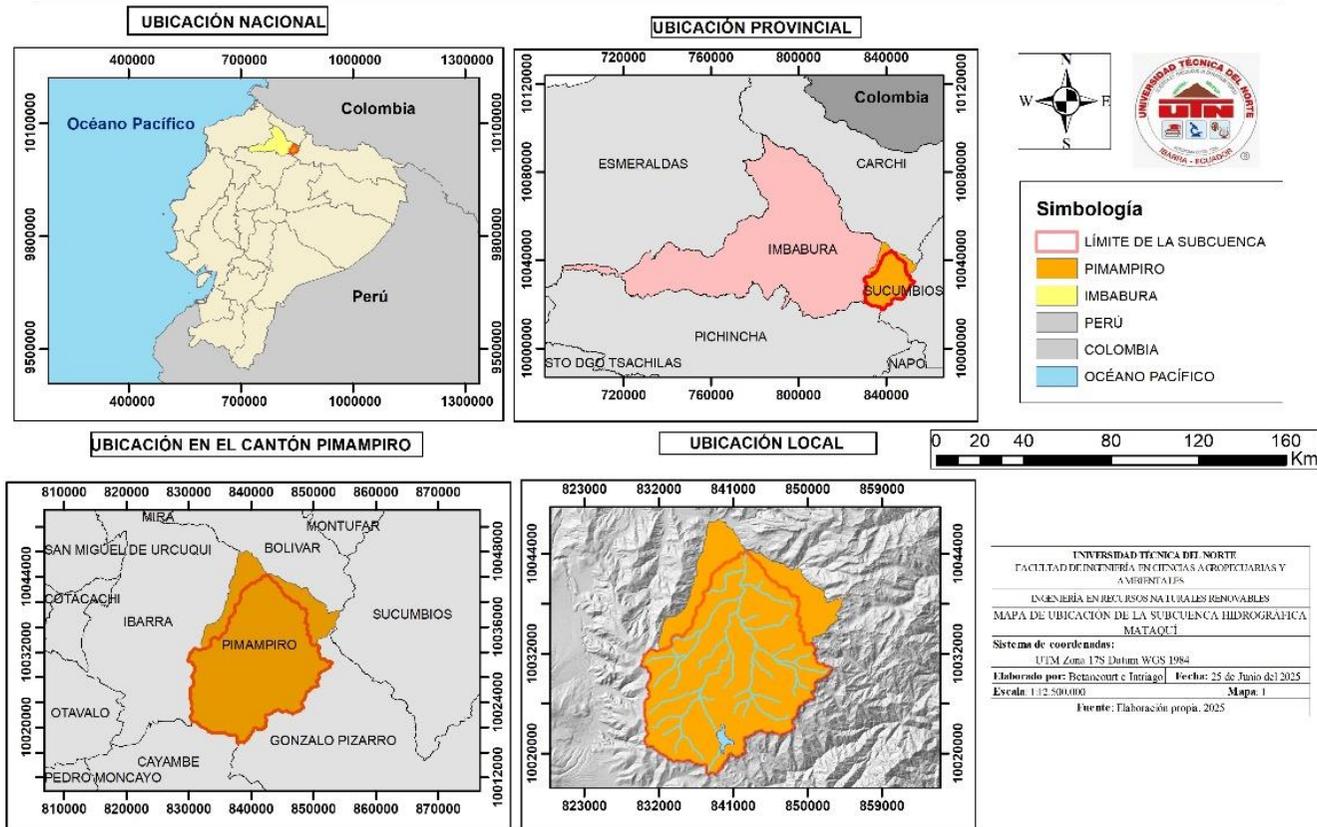
Contenido %MO: A= alto; M=medio; B= bajo

Dr. Quím. Edison M. Miño M.
RESPONSABLE DE LABONORT

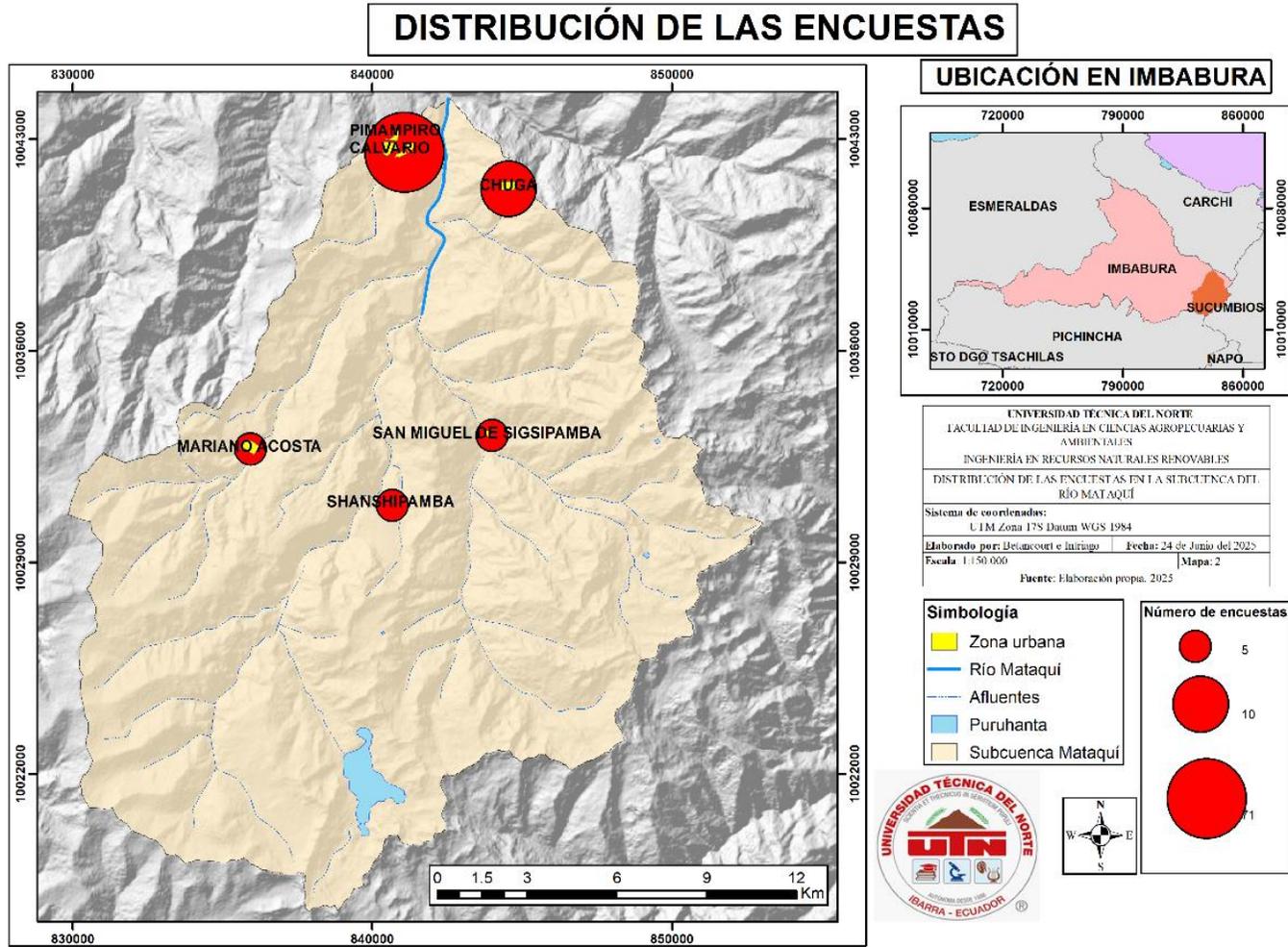


Anexo 9. Mapa de ubicación de la subcuenca hidrográfica Mataquí

UBICACIÓN DE LA SUBCUENCA HIDROGRÁFICA MATAQUÍ

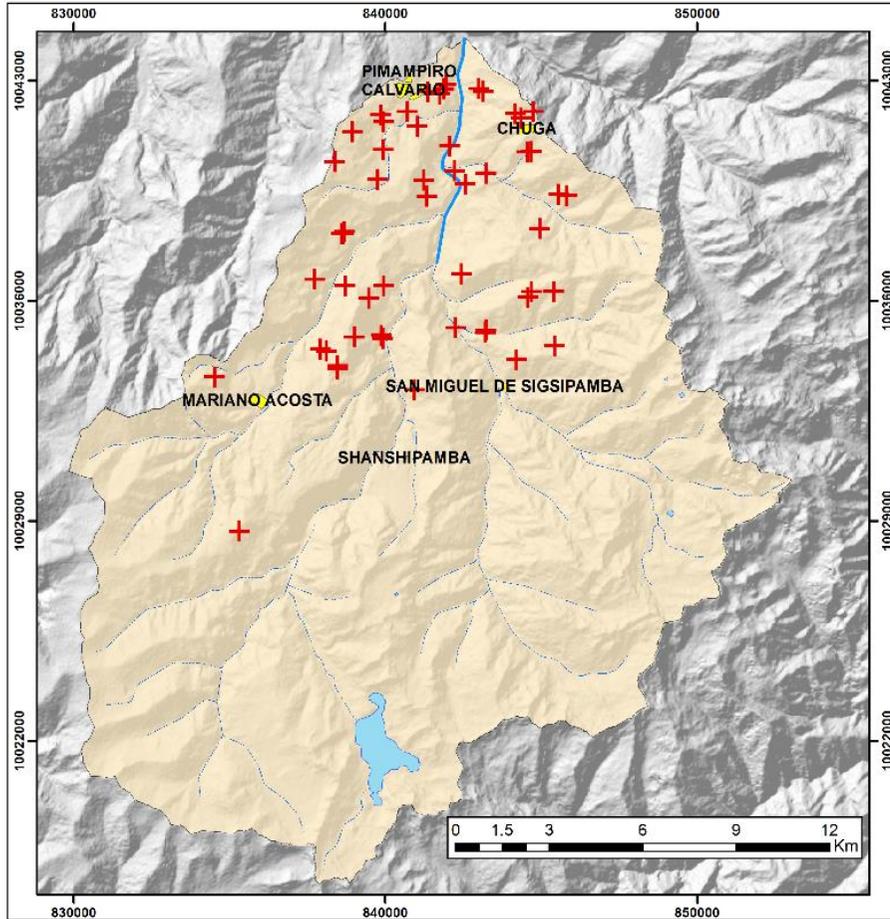


Anexo 10. Mapa de distribución de encuestas en el área de estudio

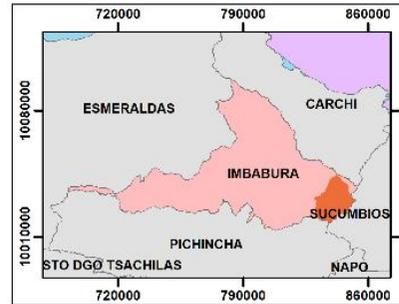


Anexo 11. Mapa de incendios en la subcuenca Mataquí 2020-2024

INCENDIOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO MATAQUÍ AÑO 2020-2024



UBICACIÓN EN IMBABURA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
 INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 INCENDIOS EN LA SUBCUENCA DEL RÍO MATAQUÍ AÑO 2020-2024

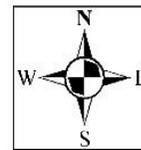
Sistema de coordenadas:
 UTM Zona 17S Datum WGS 1984

Elaborado por: Betancourt e Intriago Fecha: 24 de Junio del 2025
 Escala: 1:150,000 Mapa: 3

Fuente: Elaboración propia, 2025

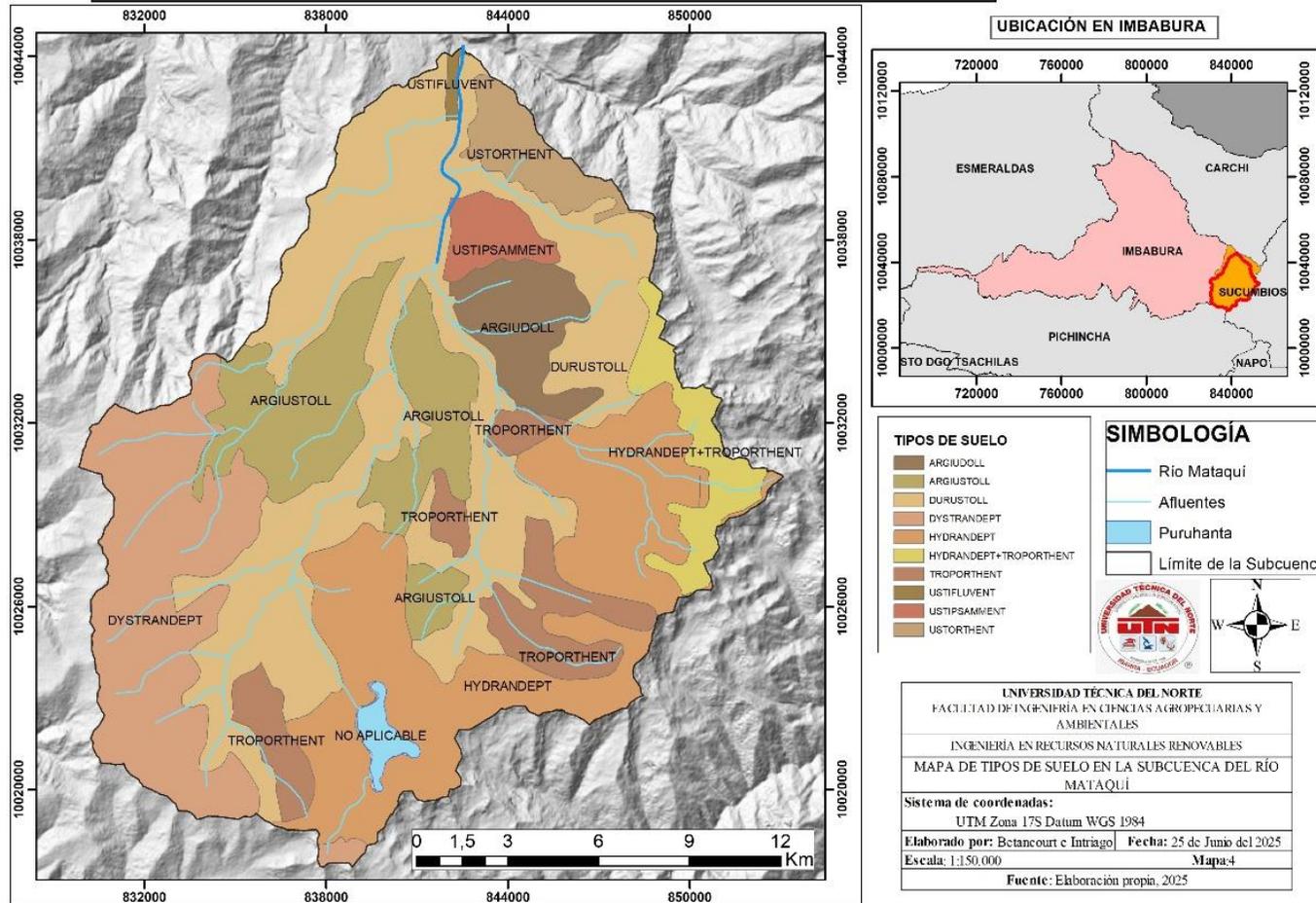


- Simbología**
- + Incendios 2020-2024
 - Zona urbana
 - Río Mataquí
 - Afluentes
 - Puruhanta
 - Subcuenca Mataquí

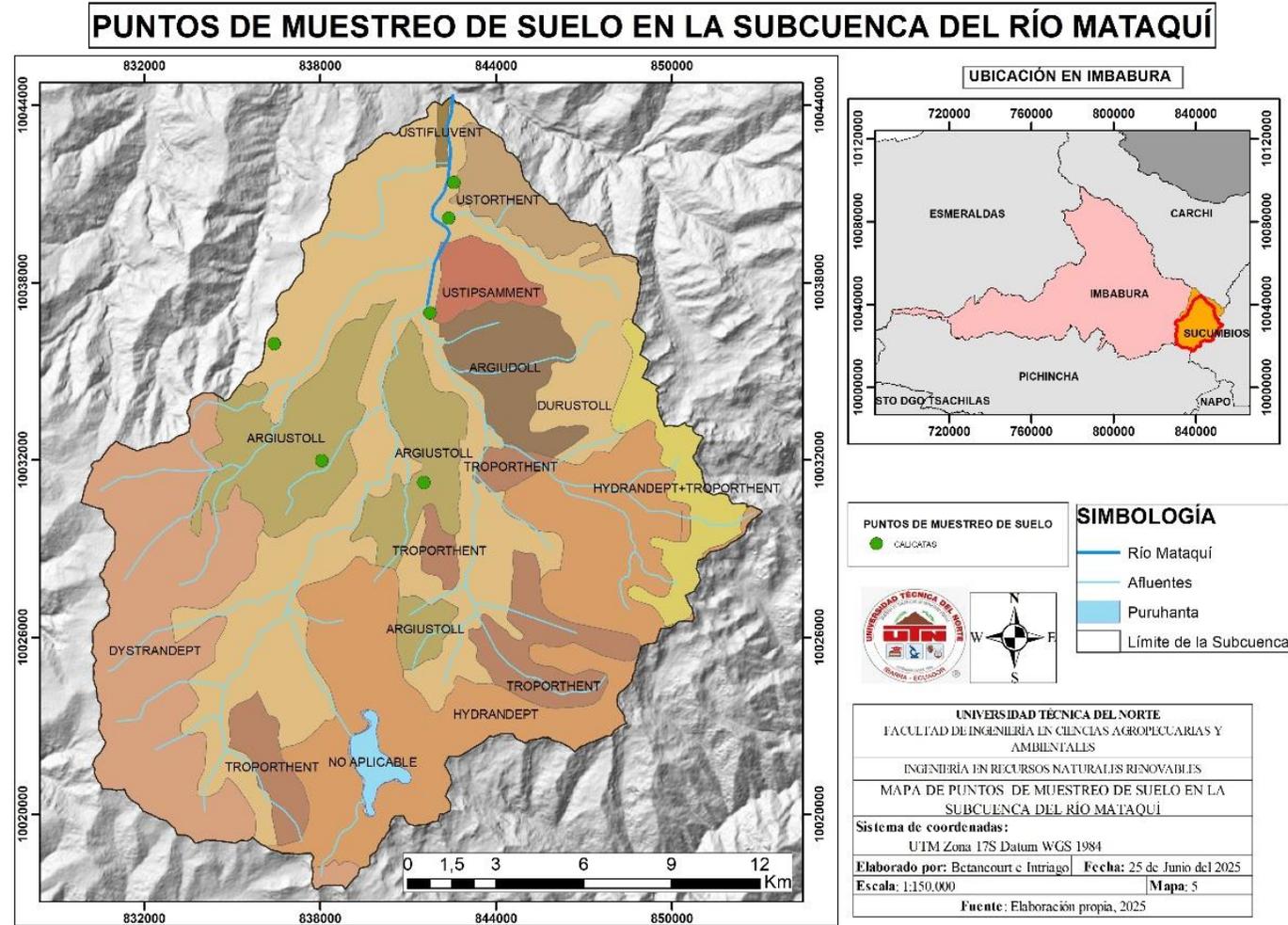


Anexo 12. Mapa de tipos de suelo

TIPOS DE SUELO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO MATAQUÍ

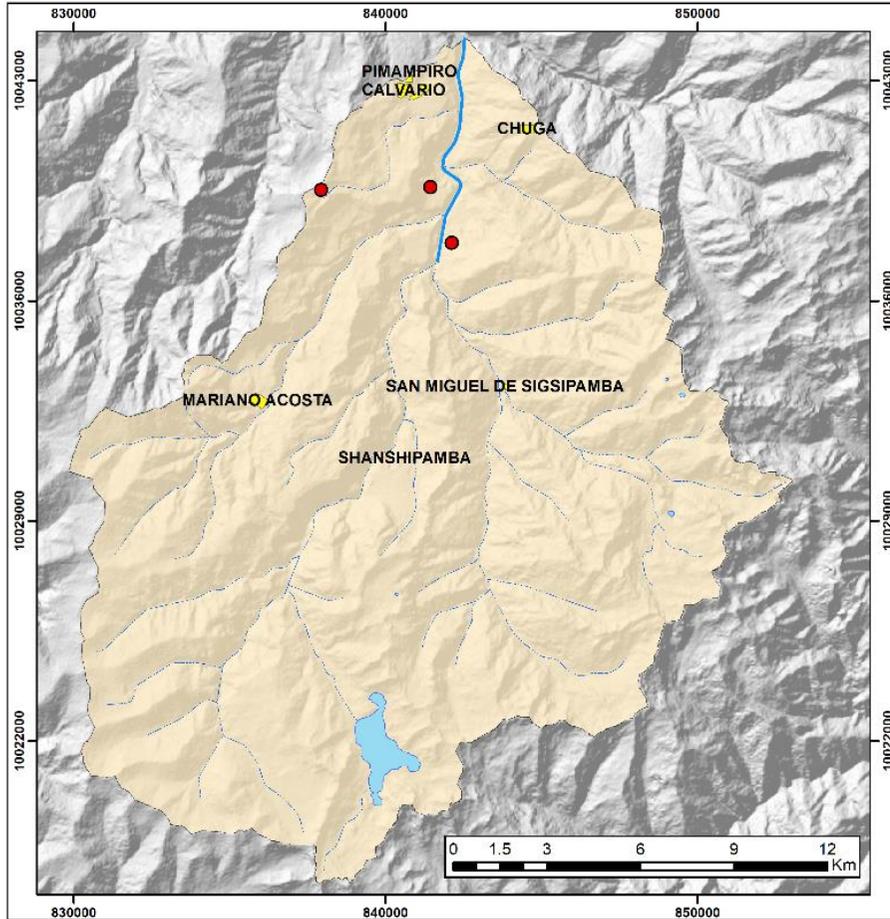


Anexo 13. Mapa de puntos de muestreo de suelo

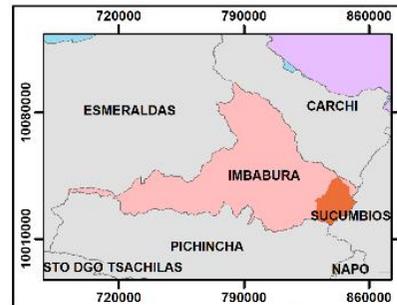


Anexo 14. Mapa de puntos de muestreo de suelo incendiado

PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO INCENDIADO



UBICACIÓN EN IMBABURA



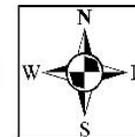
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
 INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 PUNTOS DE MUESTREO DE SUELO INCENDIADO

Sistema de coordenadas:
 UTM Zona 17S Datum WGS 1984

Elaborado por: Betancourt e Intriago Fecha: 24 de Junio del 2025
 Escala: 1:150,000 Mapa: 7

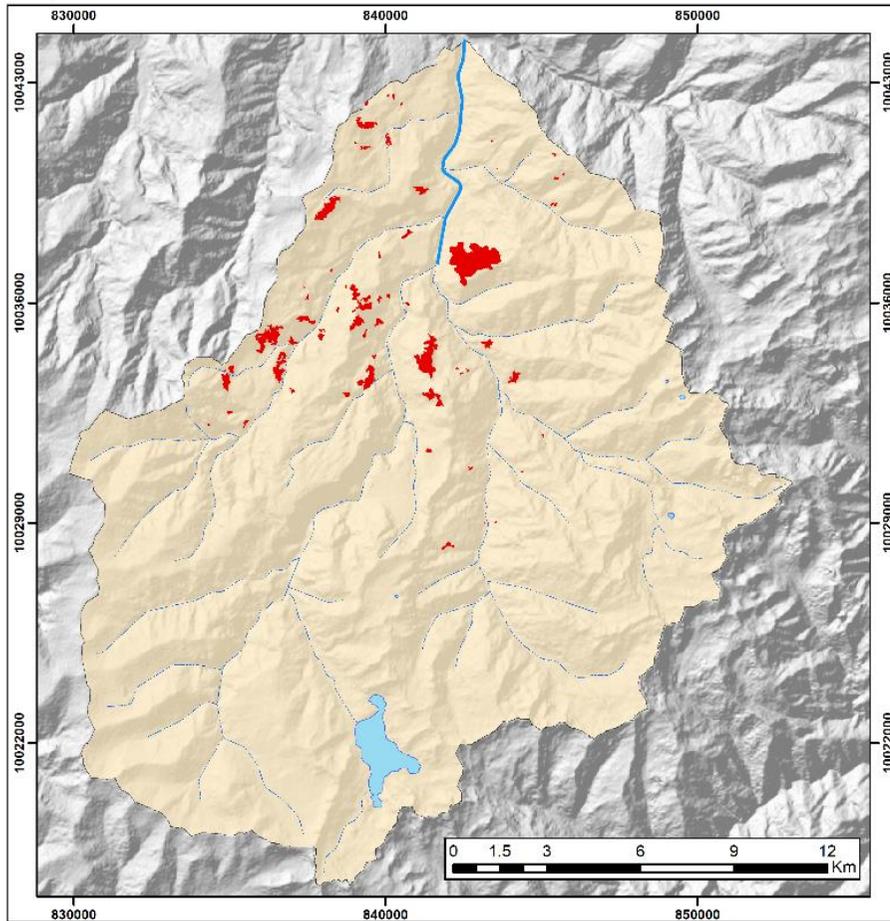
Fuente: Elaboración propia, 2025

- Simbología**
- Zona urbana
 - Río Mataquí
 - Afluentes
 - Puruhanta
 - Subcuenca Mataquí
 - Muestreo suelo incendiado

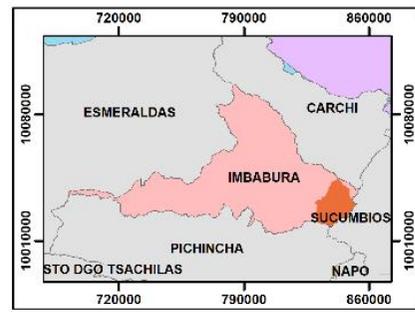


Anexo 15. Mapa de cicatrices de incendios del año 2024

CICATRICES DE INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL DEL AÑO 2024



UBICACIÓN EN IMBABURA



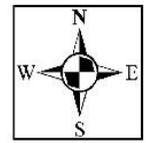
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
 FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
 INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 CICATRICES DE INCENDIOS DE COBERTURA VEGETAL DEL AÑO 2024

Sistema de coordenadas:
 UTM Zona 17S Datum WGS 1984

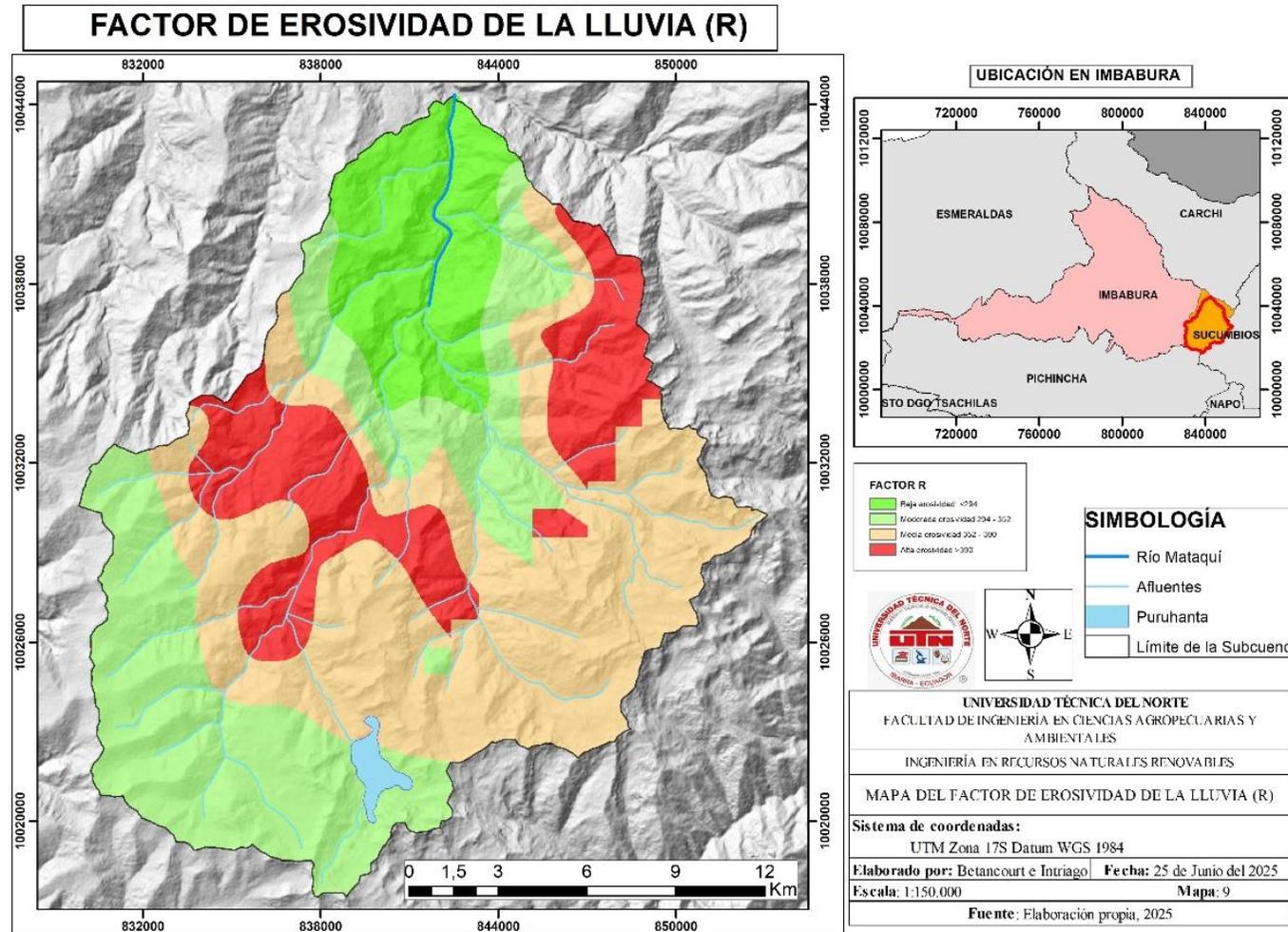
Elaborado por: Betancourt e Intrigo Fecha: 24 de Junio del 2025
 Escala: 1:150.000 Mapa: 8

Fuente: Elaboración propia, 2025

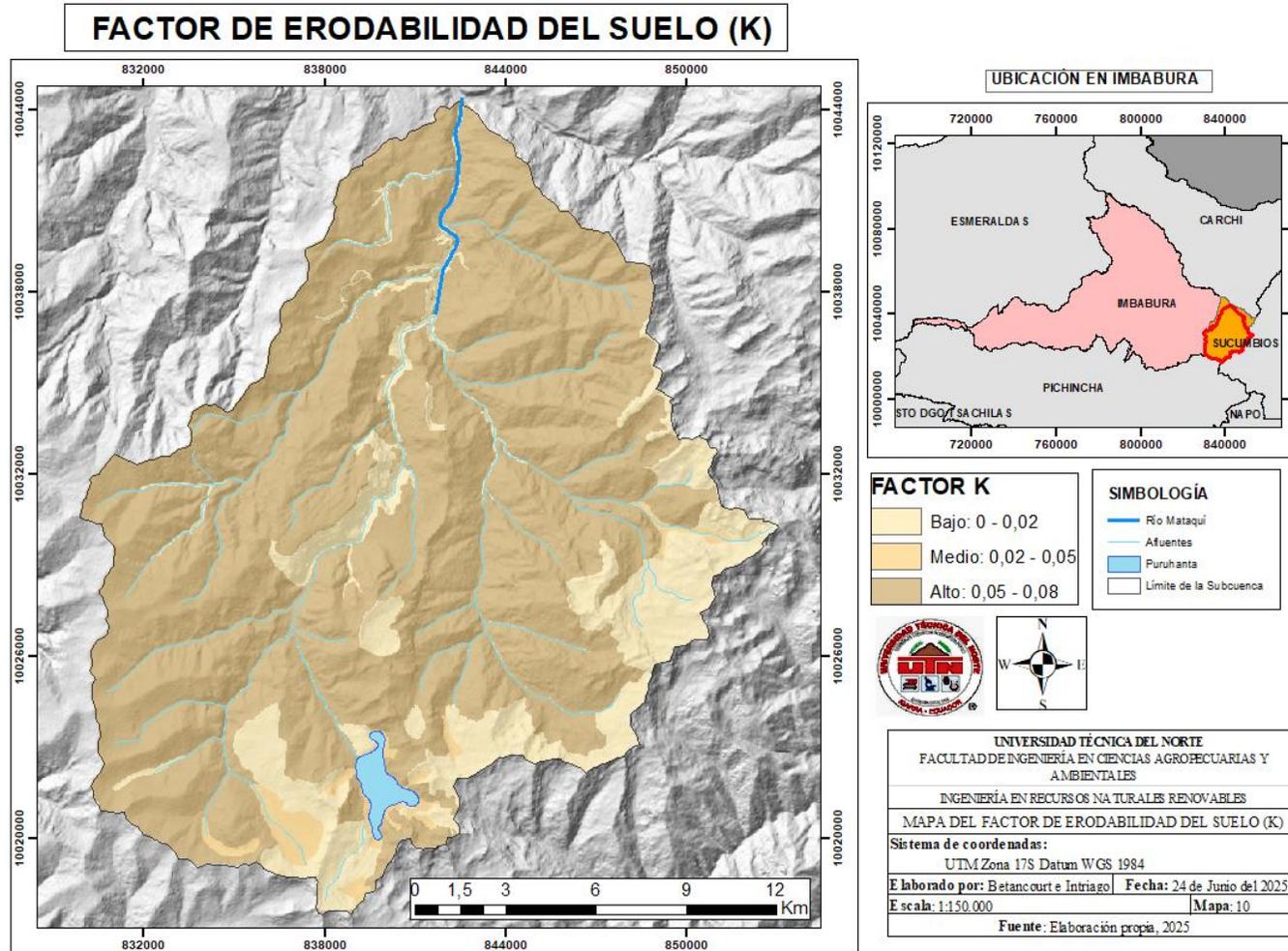
- Simbología**
- Cicatrices de incendios
 - Río Mataquí
 - Afluentes
 - Puruhanta
 - Subcuenca Mataquí



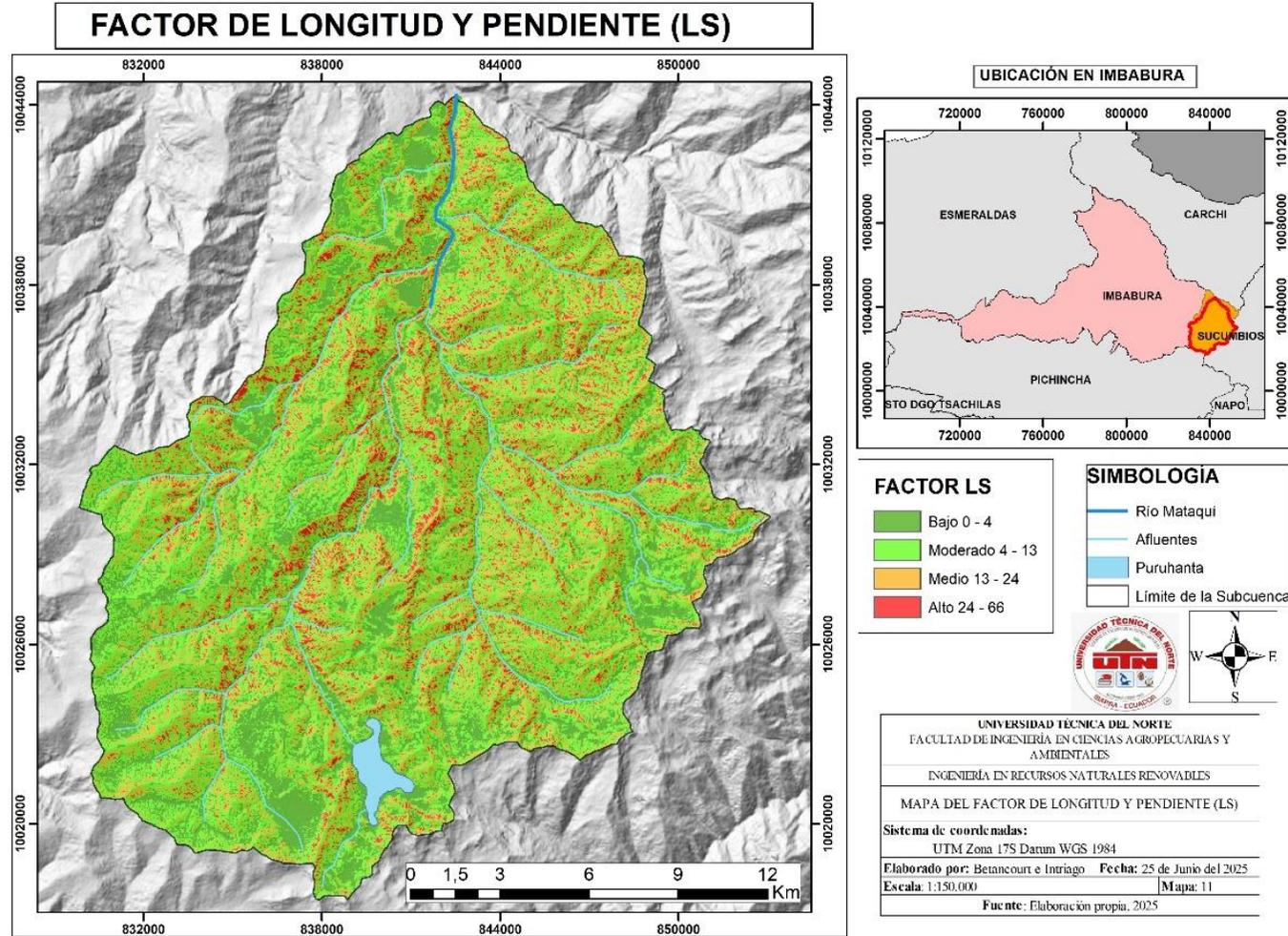
Anexo 16. Mapa del factor de erosividad de la lluvia



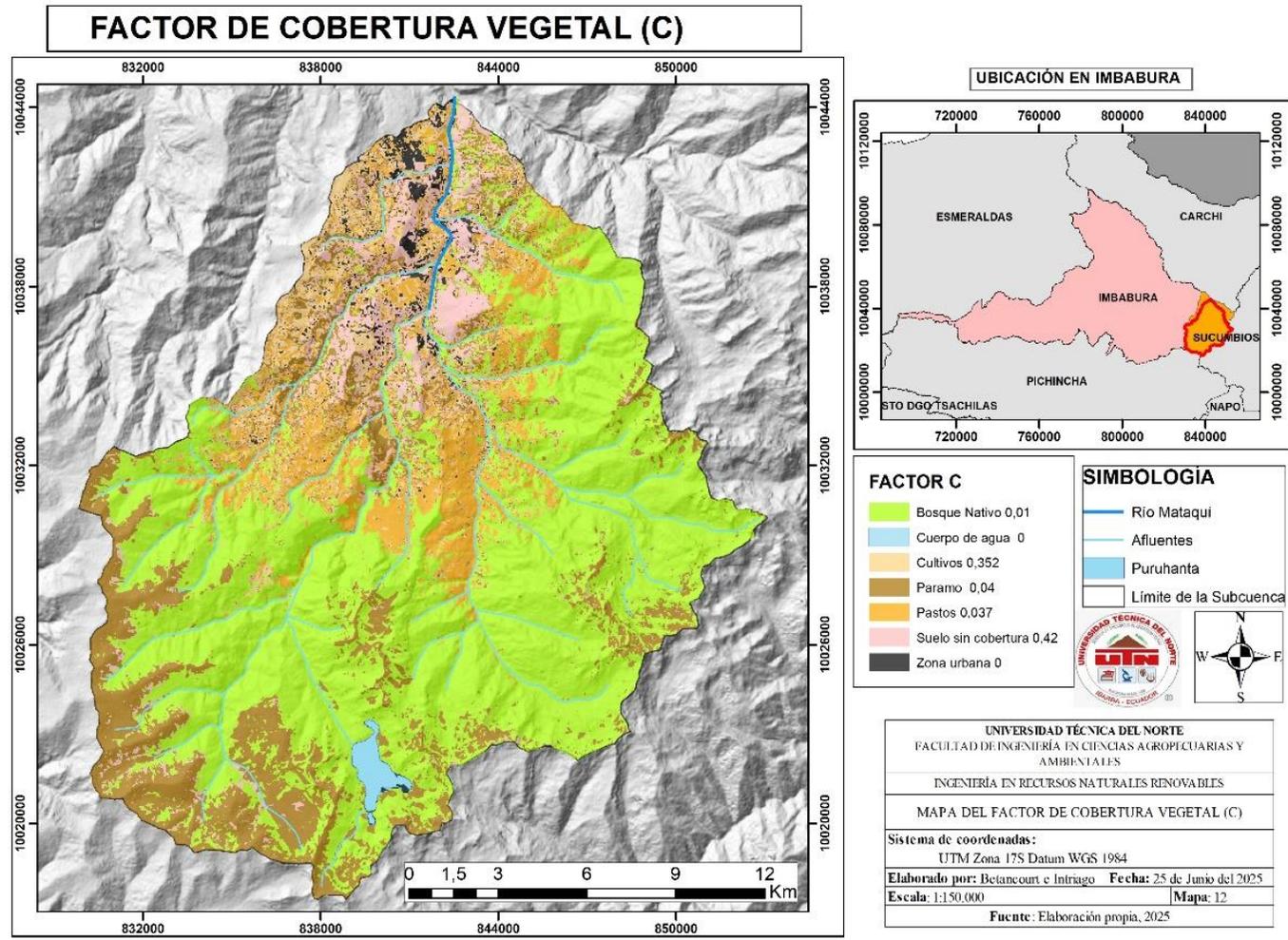
Anexo 17. Mapa del factor de erodabilidad del suelo



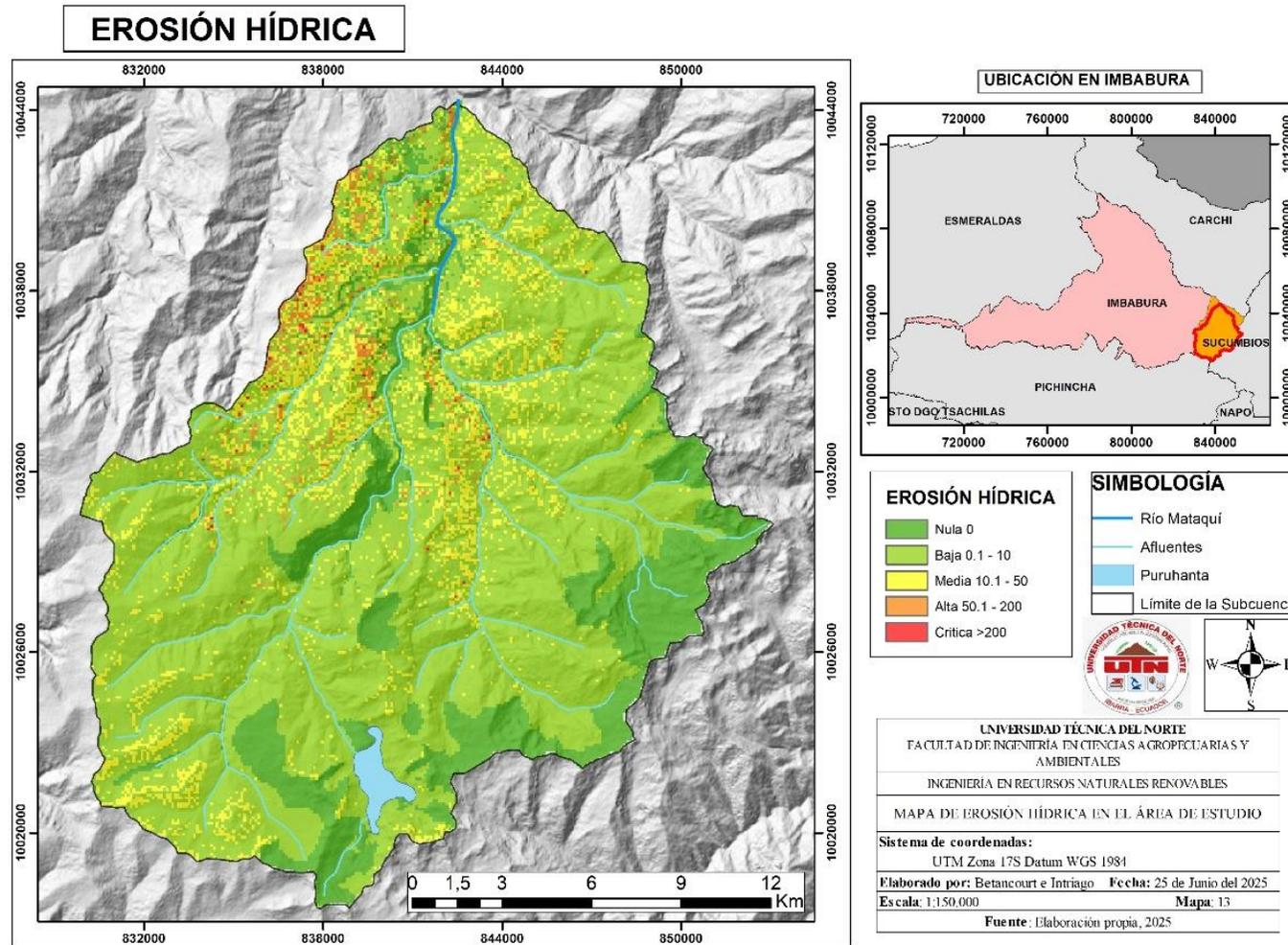
Anexo 18. Mapa del factor de longitud y pendiente



Anexo 19. Mapa del factor de cobertura vegetal

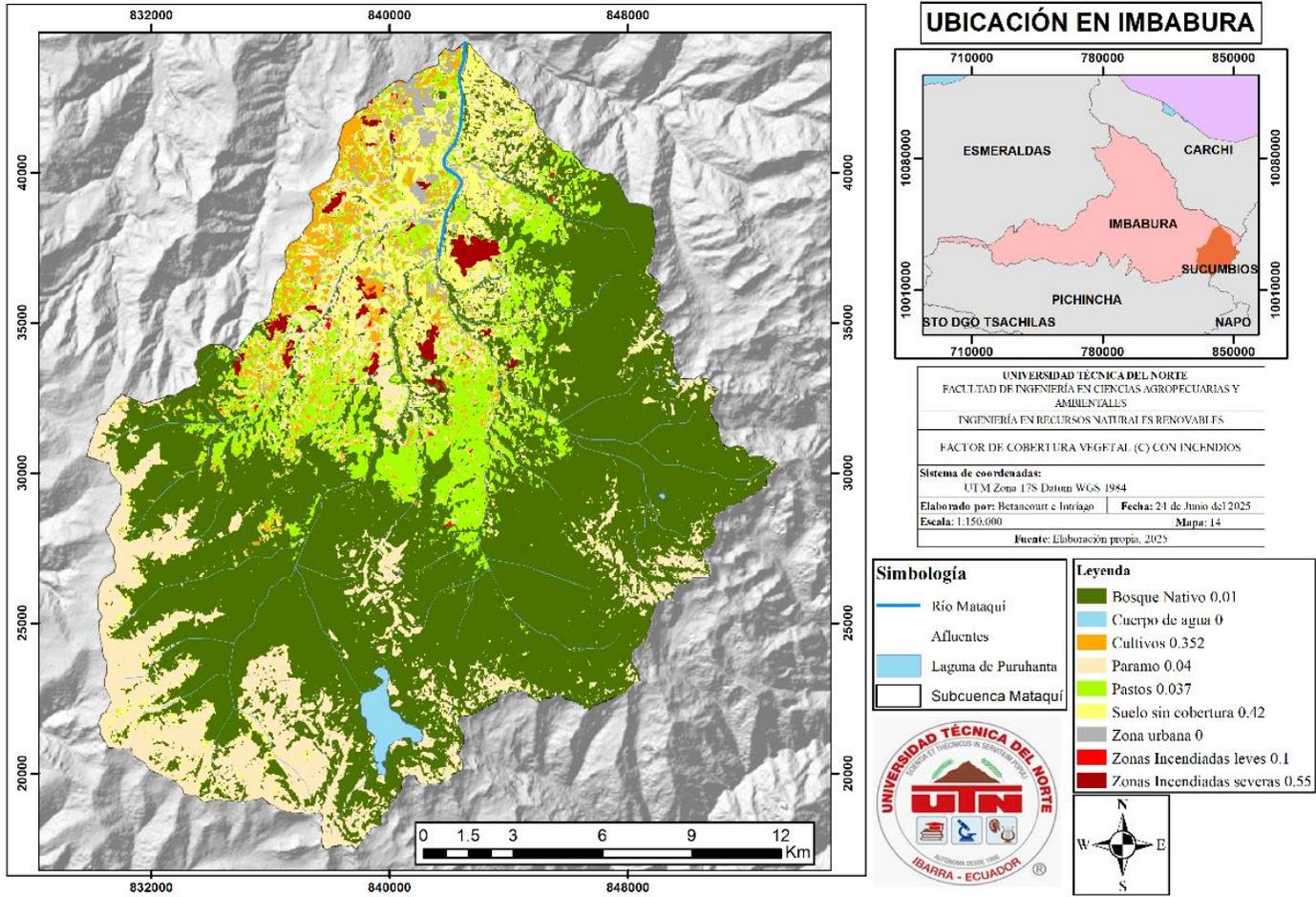


Anexo 20. Mapa de erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica Mataquí



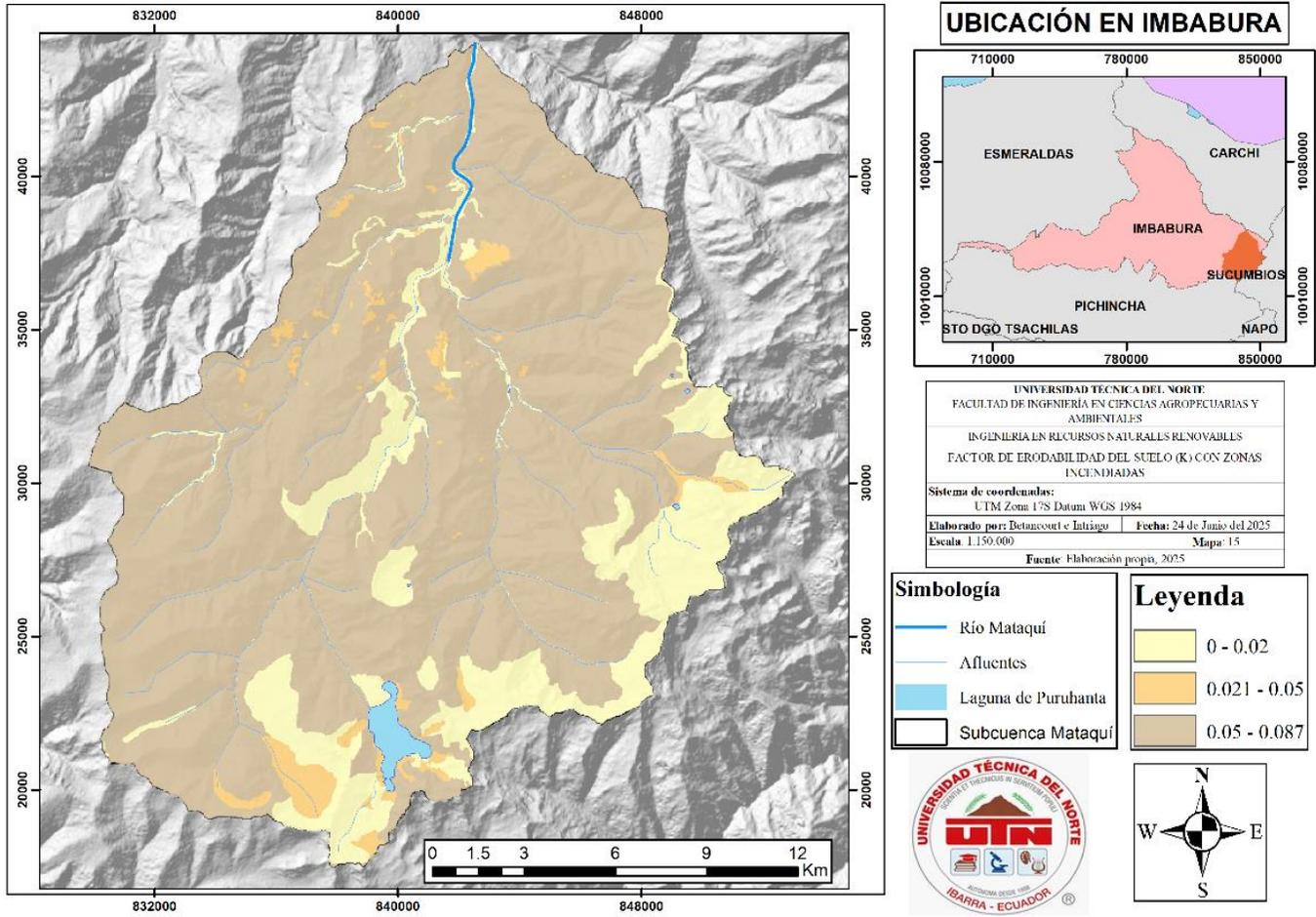
Anexo 21. Mapa del factor de cobertura vegetal con zonas incendiadas

FACTOR DE COBERTURA VEGETAL (C) CON INCENDIOS



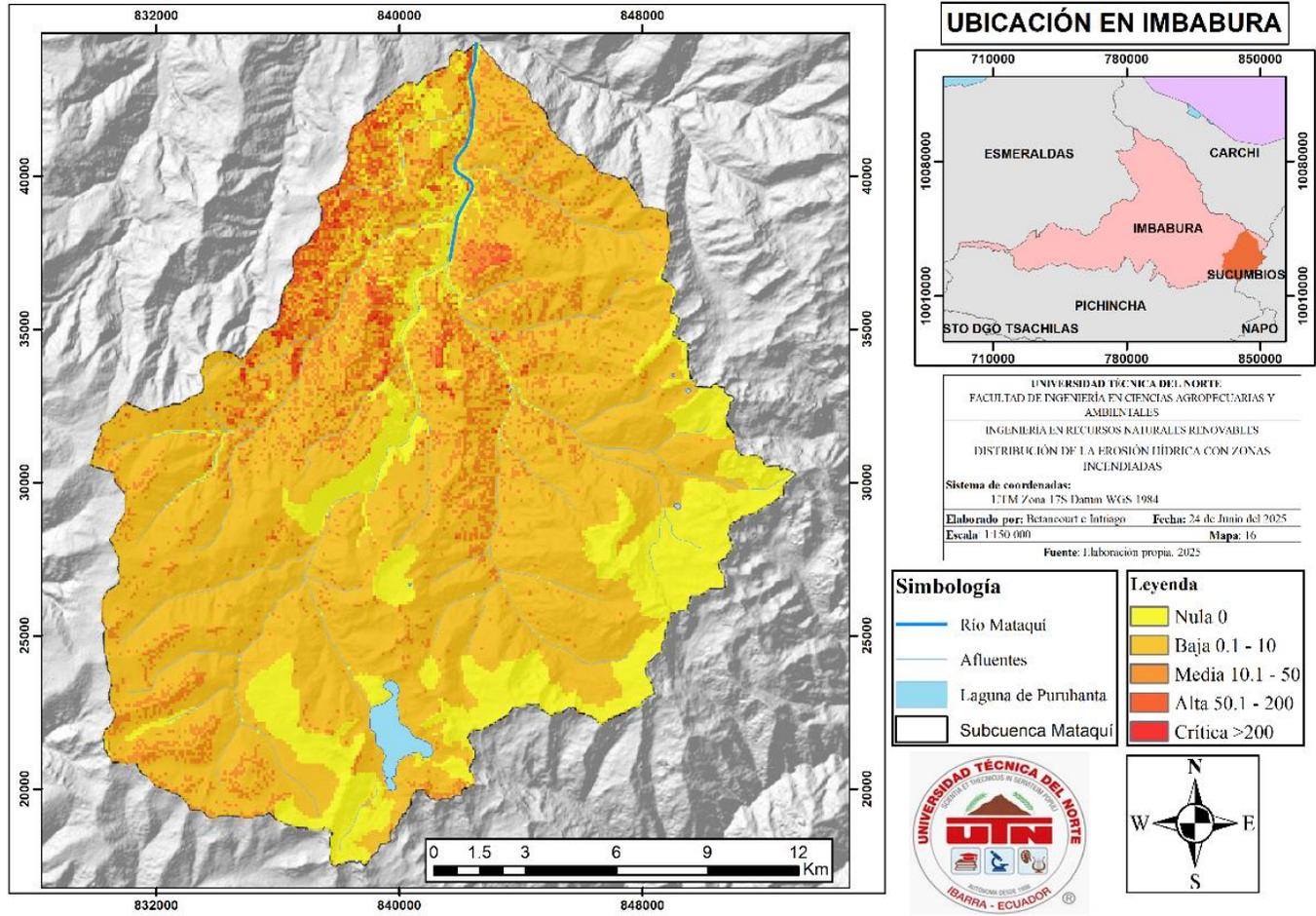
Anexo 22. Mapa del factor de erodabilidad del suelo con zonas incendiadas

FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO (K) CON ZONAS INCENDIADAS

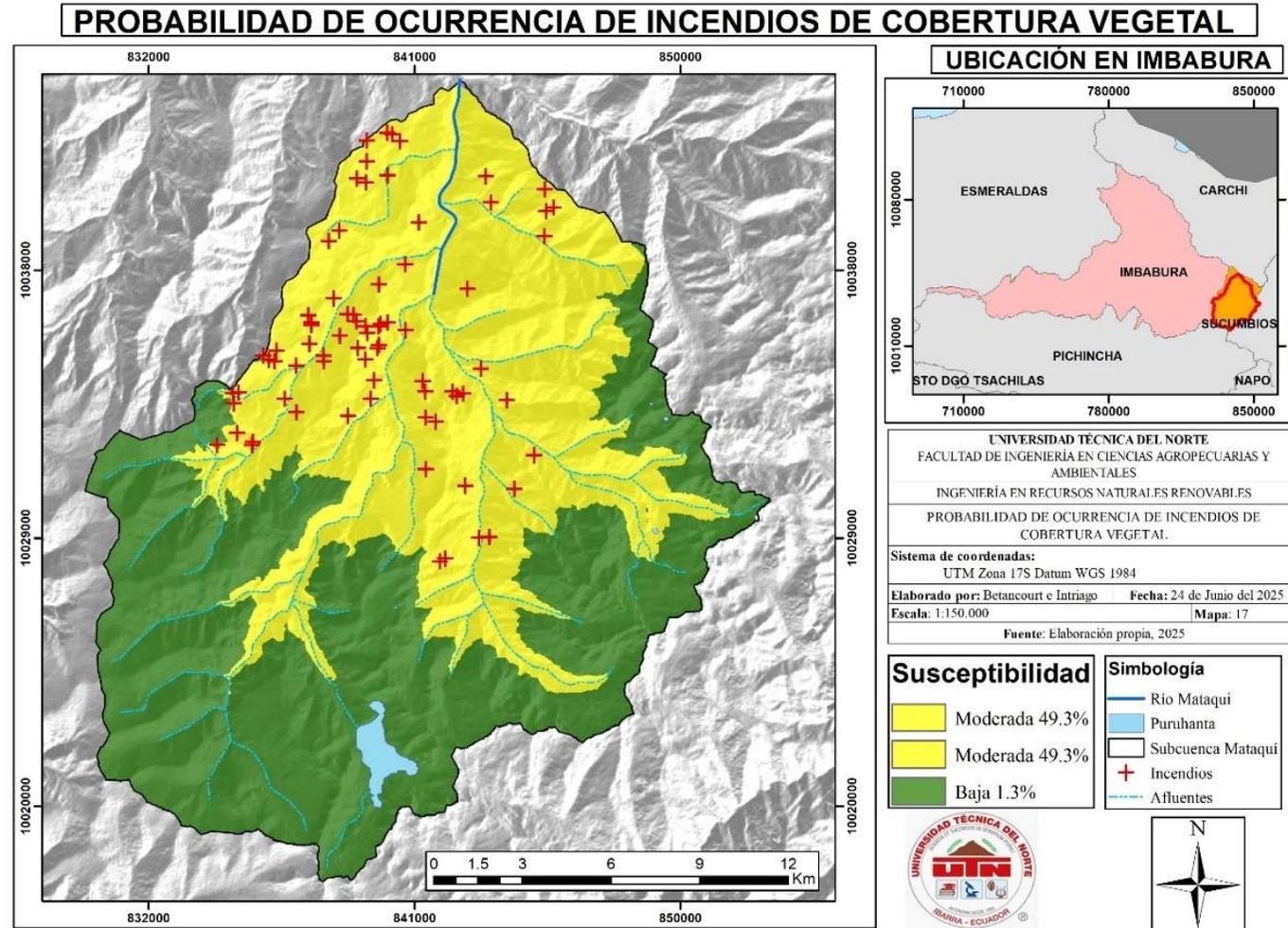


Anexo 23. Mapa de la erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica Mataquí con zonas incendiadas

DISTRIBUCIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA CON ZONAS INCENDIADAS



Anexo 24. Mapa de probabilidad de ocurrencia de incendios de cobertura vegetal



Anexo 25. Mapa de textura superficial del suelo

