



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
SEDE MANABÍ
CARRERA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

TEMA:

**“ESTIMACIÓN DE RIESGO DE EROSIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO
BURRO APLICANDO EL MODELO CORINE Y USLE”**

PREVIO AL TÍTULO DE:
INGENIERO HIDRÁULICO

AUTOR:

VÍCTOR HUGO VÉLEZ ESPINOZA

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN:

ING. ANDY GILER ORMAZA, M.SC

AGOSTO, 2022

PORTOVIEJO – ECUADOR

Certificación del Trabajo de Titulación

En mi calidad de director de tesis, certifico haber revisado el presente manuscrito de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, cumpliendo con los requisitos establecidos por la Dirección de Investigación; en consecuencia, es apto para su presentación y sustentación.

“ESTIMACIÓN DE RIESGO DE EROSIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO BURRO APLICANDO EL MODELO CORINE Y USLE”.

Ing. Andy Giler Ormaza, M.Sc.

C.I.: _____

TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Aprobación del Tribunal

El jurado examinador aprueba el presente manuscrito de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí.

Ing. Andy Miguel Giler Ormaza
Primer Lector

Ing. José Alarón Loor, M.Sc.
Segundo Lector

Ing. Jesús Chavarría Párraga
Tercer Lector

Declaración de Originalidad

Este manuscrito no contiene ningún tipo de material que ha sido aceptado para la obtención de un título universitario en otra institución, excepto en forma de información de soporte que ha sido debidamente citada en mi trabajo. Este trabajo es de total responsabilidad del autor, quien declara bajo juramento que ninguna sección de esta tesis infringe los derechos de autor de nadie.

Portoviejo, agosto 2022

f. _____

Víctor Hugo Vélez Espinoza
C.I: 131186005-8
Dir.: Portoviejo, Manabí, Ecuador
e-mail: vhve1200@outlook.com
Telf.: +593 99 224 7858

Declaración de Derechos de Autor

Autorizo a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador a distribuir este manuscrito de investigación en medios físicos y electrónicos con el fin de promover la divulgación de los resultados a la comunidad científica y a la sociedad en general. Adicionalmente, autorizo el uso de los contenidos de esta investigación como bibliografía para fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, citando como fuente de información al autor de este trabajo.

Víctor Hugo Vélez Espinoza

C.I.: 131186005-8

Dedicatoria

Mi tesis de grado de la carrera de Ingeniería Hidráulica se la dedico con cariño y amor propio; a mi querida abuelita Lcda. Shirley Merchán Toala, que, con su esfuerzo, dedicación, sabios consejos y humildad, me guió y me supo conducir hasta el final de mi carrera.

A mis padres que siempre han estado apoyándome en los momentos malos y buenos, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

Víctor Hugo Vélez Espinoza

Autor

Agradecimientos

Agradezco a Dios por bendecirme la vida, por guiarme a lo largo de mi existencia, ser el apoyo y fortaleza espiritual en aquellos momentos de dificultad y debilidad.

Gracias a mi abuelita Lcda. Shirley Merchán Toala y mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradezco a mis docentes de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de mi profesión, de manera especial, al Ing. Andy Giler Ormaza, M.Sc., tutor de mi proyecto de investigación quien ha guiado con paciencia y rectitud como docente, y por su valioso aporte para mi investigación.

Víctor Hugo Vélez Espinoza

Autor

Resumen

El objetivo de esta investigación mixta fue estimar el peligro en la cuenca por la destrucción del río Burro, Manabí, por lo tanto, permita generar planos mediante pérdidas potenciales del terreno en el interior de la zona estudiada. Primero, se implementó una investigación descriptiva-explorativa mediante Sistemas de Información Geográficos (SIG) para procesar parámetros físicos e hídricos de la zona. Luego, se analizaron los datos cuantitativos y cualitativos mediante los modelos *Coordination of Information on the Environment (CORINE)* y *Universal Soil Loss Equation (USLE)*, y se realizaron los cálculos de erosión potencial y real basándose en estructura, profundidad, periodicidad, variables climáticas, pendientes y uso de la tierra, desde noviembre de 2021 hasta septiembre de 2022. Los resultados del Índice de *Fournier* obtienen un valor de 60,69 indicando categoría 2, con nivel bajo de precipitaciones que ocasiona erosión. El Índice de *Bagnouls-Gaussen (BGI)* obtiene un valor de 558,07 que representa un nivel de aridez muy alto, donde las precipitaciones reflejan sequías. Aplicando el método *USLE* se comprueba, mediante el mapa de grado por su desgaste, donde el total del río Burro tiene 38,62 km² de área superficial, representando una erosión de 10,12% y altos niveles de erosión hídrica. Además, se encuentran pérdidas anuales de suelo mayores a 200 ton/ha. Estos hallazgos pueden ayudar a desarrollar escenarios de manejo y brindar opciones a los responsables de la formulación de políticas para controlar los peligros por la erosión del suelo de la manera más eficiente.

Palabras clave: erosividad, suelo, cobertura, aridez

Abstract

The main objective of this mixed research study was to assess soil erosion risk in the *Burro* River Basin in Manabí, in order to generate erosion risk maps with potential and current soil loss models in the area under study. First, a descriptive-exploratory research study was implemented by using Geographic Information Systems (GIS) to process physical and water parameters of this river basin. Then, quantitative and qualitative data were analyzed using the Coordination of Information on the Environment (CORINE) and Universal Soil Loss Equation (USLE) models, while erosion potential and current erosion risks were calculated in terms of structure, depth, periodicity, climatic variables, slopes and land use from November 2021 through September 2022. The Modified Fournier Index findings reveal a value of 60.69 that indicates category 2, with low levels of precipitation that cause erosion. The Bagnouls-Gaussen Aridity Index (BGI) findings show a value of 558.07, which represents very high levels of aridity, where rainfall reflects droughts. From the USLE method, it is confirmed, through the map of soil erosion risk levels, that the *Burro* River Basin has a total surface area of 38.62 km², which represents soil erosion of 10.12%, presenting high levels of water erosion. Furthermore, there are annual losses due to soil erosion greater than 200 tons/ha. These findings may help develop management skills and provide authorities with options to control soil erosion hazards in the most efficient way.

Keywords: erosivity, soil, vegetation cover, aridity

Tabla de Contenidos

Certificación del Trabajo de Titulación	ii
Aprobación del Tribunal	iii
Declaración de Originalidad	iv
Declaración de Derechos de Autor	v
Dedicatoria	vi
Agradecimientos	vii
Resumen.....	viii
Abstract	ix
Tabla de Contenidos	x
Índice de Tablas	xi
Índice de Figuras.....	xi
Índice de Gráficos	xii
Introducción	1
Materiales y Métodos.....	4
Resultados	12
Estimación cualitativa de la erosión real con el modelo CORINE.....	12
Estimación cuantitativa de la erosión con el modelo Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Universal Soil Loss Equation – USLE).....	19
Discusión.....	32
Conclusiones	35
Referencia Bibliográfica	36
Anexos	41

Índice de Tablas

Tabla 1 Índice de clases de aridez.(European Environment Agency, 1994)	7
Tabla 2 Precipitaciones mensuales del cantón Manta del período 2012 hasta el 2021.	13
Tabla 3 Temperaturas mensuales del cantón Manta del período 2012 hasta el 2021.....	14
Tabla 4 Cálculo del Índice de Fournier Modificado del período 2012 hasta el 2021.....	15
Tabla 5 Cálculo del Índice de aridez Bagnouls-Gaussen (BGI) del período 2012 hasta el 2021.....	17
Tabla 6 Valores medios anuales a largo plazo del factor R-USLE.....	20
Tabla 7 Cálculo del Índice de aridez Bagnouls-Gaussen (BGI) del período 2012 hasta el 2021.....	22

Índice de Figuras

Figura 1.: Ubicación del área de estudio del río Burro en Ecuador.	4
Figura 2.: Mapa del factor R de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí.	21
Figura 3.: Mapa del factor K de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí.	23
Figura 4.: Mapa del factor LS de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí.	24
Figura 5.: Mapa del factor C de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí.	25
Figura 6.: Mapa del factor P de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí.....	26
Figura 7.: Delimitación de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí.	27
Figura 8.: Mapa de pendiente del suelo de la cuenca del río Burro.....	28
Figura 9.: Mapa de áreas erosionadas del suelo de la cuenca del río Burro.	29
Figura 10.: Mapa del tipo de suelo de la cuenca del río Burro.	30
Figura 11.: Mapa de la vegetación existente de la cuenca del río Burro.	31

Índice de Gráficos

Gráfico 1.: Diagrama CORINE.....	6
Gráfico 2.: Índice de Fournier de la Cuenca del río Burro.	16
Gráfico 3.: Índice de aridez Bagnouls-Gausсен vs. Índice de Fournier de la Cuenca del río Burro.....	18

INTRODUCCIÓN

El suelo es uno de los principales componentes del ecosistema. Son saludables ya que brindan múltiples servicios y protegen los hábitats, que a su vez sustentan la actividad social y económica, humana. Apoyan y nutren las plantas para la producción general de provisiones y bioenergía; ya que es de vital importancia para la retención e infiltración del líquido vital. Ayudando a recargar los acuíferos, además de suministrar agua en buenas condiciones y disminuir los efectos por las crecidas y sequías (Burbano, 2016). Dado que, la tierra es un recurso necesario para la producción de muchos bienes básicos. Su manejo solo puede ser sostenible si los servicios ecosistémicos se mantienen o mejoran sin afectar las funciones del suelo o la biodiversidad que hace posible estos servicios (FAO, 2015).

Detener y revertir la degradación de la tierra es una alta prioridad si queremos lograr el uso sostenible del suelo, para 2019, la Perspectiva del Medio Ambiente Mundial del PNUMA enfatizó que “Continuando por el camino actual, será difícil lograr el objetivo de neutralidad en la degradación de la tierra adoptado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (Río+20)”. Además, establece que las evaluaciones basadas en datos satelitales muestran que los focos de degradación de la tierra cubren alrededor del 29% de la superficie terrestre mundial (*UN Environment*, 2019). Además, Keesstra *et al.* (2018) especifica que existe una presión cada vez mayor sobre la tierra, y debido al uso inadecuado, los recursos de la tierra se están degradando rápidamente, lo que creará una presión aún mayor sobre la tierra restante. Esto exige un nuevo enfoque sostenible para el uso y la gestión de la tierra, es decir, los suelos sanos y la tierra sana son esenciales para lograr muchos de los objetivos sociales en el marco de los ODS.

Es una de las iniciales formas del deterioro del suelo, con graves consecuencias en la estabilidad y productividad de las laderas, y se requieren estudios de erosión para predecir posibles variaciones de tales fenómenos, también en escenarios de cambio climático (Maruffi *et al.*, 2022). El método de evaluación de riesgo de erosión del suelo de Coordinación de Información sobre el Medio Ambiente (CORINE) basado en SIG determinados en base a datos meteorológicos y erosividad, este método permite establecer los niveles de potencial de erosión independientes de su situación real de uso de la tierra dentro del método CORINE y establecer las diferencias anuales reales de cobertura vegetal (Aydin y Tecimen, 2010).

Cabe recalcar que la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es ampliamente utilizado a nivel mundial, sin duda su alto grado de flexibilidad y accesibilidad de datos, extensa literatura científica y comparabilidad de resultados, permiten adaptar el modelo a casi todo tipo de condiciones y regiones del mundo. Sin embargo, el enfoque USLE es un enfoque de modelado empírico con limitaciones significativas que ya se han abordado en las primeras publicaciones, ya que no hay simulación de la deposición del suelo (sedimentación) y que en la mayoría de los casos no existen suficientes datos medidos para determinar rigurosamente los factores únicos para todas las situaciones y escenarios necesarios (Alewell *et al.*, 2019).

En varios estudios que utilizan el modelo USLE, las cuencas hidrográficas se han subdividido en celdas de una cuadrícula regular para predecir la magnitud y distribución espacial de la erosión en software GIS (Kothyari y Jain, 1997). En los conceptos de modelado de todos los algoritmos de tipo USLE, la erosión del suelo se define como la pérdida de suelo se refiere a la cantidad de sedimento es así como llega al final de la superficie en una vertiente que se encuentra percibiendo una disminución neta de suelo por erosión hídrica (Nearing *et al.*, 2017). Los modelos de simulación pueden ser un método eficaz para investigar la erosión, especialmente cuando el modelo está integrado con un sistema de información geográfica (SIG). Para generar estos mapas en SIG, se debe calcular el grado de erosividad, los cuales se componen de dos indicadores climáticos, que es el Índice estructurado llamado Fournier, donde manifiesta el vínculo mediante su precipitación promedio y mensual (Giler *et al.*, 2021).

El índice de aridez de *Bagnouls-Gaussen* que relaciona la temperatura promedio con la precipitación mensual y proporciona una medida de la presión del agua de la vegetación. La cobertura de vegetación aumenta a medida que aumenta la profundidad del suelo y disminuye la sequía. Para ello, se definió a partir de datos meteorológicos históricos reportados por la estación meteorológica, quienes recopilan y publican datos de precipitación, mediante pluviómetros, los cuales brindan información con mayor precisión, en los que se utilizaron para formar capas en el software SIG y poder evaluar como es el suelo en esa zona de acuerdo con los métodos de CORINE. (Estación meteorológica 841170 del Aeropuerto Eloy Alfaro de Manta, 2022)

Por otra parte, el autor Campos (2017), menciona la diferencia entre erosión potencia y erosión efectiva, de ellos la erosión potencial es aquella cuando el suelo no presenta cobertura vegetal y

no existen prácticas que puedan incidir en la zona de estudio; es decir al realizar el cálculo se establece cual es la erosión potencial del suelo mediante la fórmula basada en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), manejando los resultados determinando los factores R, K y LS y se asume que $C= 1$ y $P= 1$ se obtiene la erosión potencial, la cual se calcula mediante cualquier sitio de la tierra pues existe información disponible en los mapas que se generan a través de los Sistemas de Información Geográficas. Mientras que la erosión es aquella cuando se toma el manto vegetal, de ahí que, cuando se evalúa la valoración de C y P se calculan de forma específica.

La presente investigación mantiene el objetivo de estimar el riesgo de erosión en la cuenca del río Burro aplicando modelos CORINE y USLE, en consecuencia, a lo mencionado se suscribieron actividades objetivas específicas como realizar la estimación cualitativa de erosión real con el modelo CORINE y estimar de forma cuantitativa la erosión con el modelo USLE. Por ello el método CORINE y USLE son eficaces para investigar la erosión especialmente cuando estos modelos están integrados con un sistema de información geográfica, debido al quebranto potencial real del territorio en un área de estudio, ya que permite incluir, procesar y modelar información sobre la precipitación, estructura de la superficie, pendiente y uso del suelo, así como datos espaciales y alfanuméricos para crear mapas de erosión.

METODOLOGÍA

Este estudio abordó los aspectos de estimación de peligrosidad por la erosión en la cuenca del Río Burro aplicando aquellos modelos CORINE y USLE, utilizando los datos cuantitativos y semi-cualitativo mediante las herramientas del Sistema de Información Geográfico (SIG).

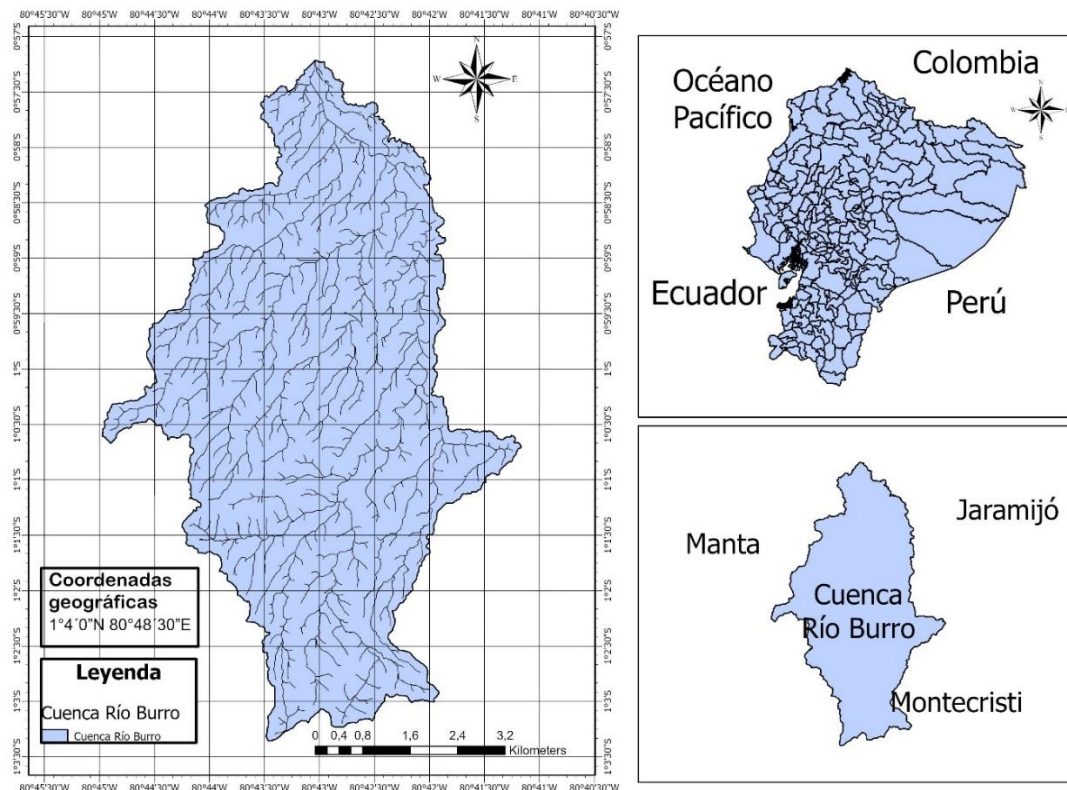
Población y muestra

La población es toda el área de la cuenca del Río Burro correspondiente a 60 km² y se trabajó con toda la población como muestra.

Objeto de estudio

El sitio de estudio se analizó mediante las herramientas SIG evaluando los parámetros físicos e hídricos de la zona por medio de archivos con formato tipo *shape* para proceder a la ejecución de las herramientas digitales.

Figura 1.: Ubicación del área de estudio del río Burro en Ecuador.



Se indagaron las imágenes ráster correspondientes al sitio de indagación y se analizó los valores obtenidos en las herramientas SIG. Además de ello, se hizo uso de bases conceptuales de estadística básica para el análisis de los valores hídricos de la zona, con datos de precipitaciones y temperaturas de diez años.

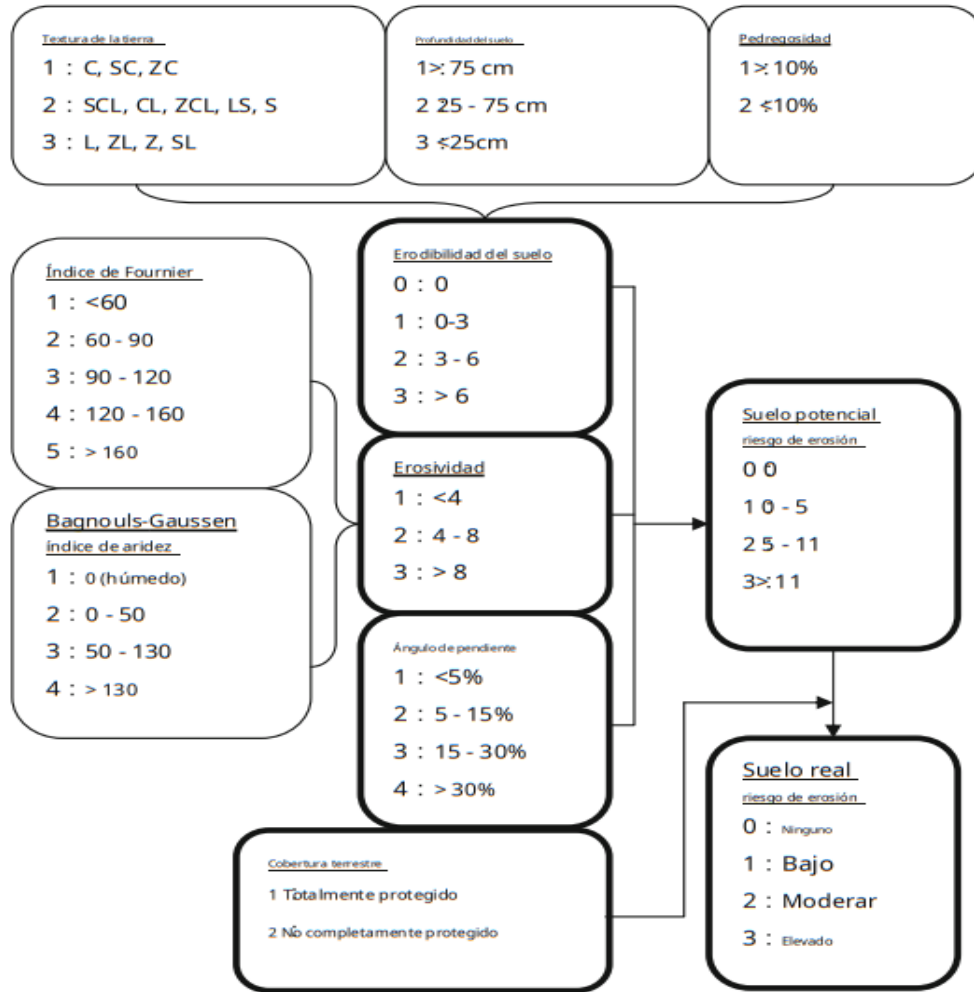
Para estimar la erosión real de la cuenca del río Burro por medio del método CORINE, se utilizaron datos de la estación meteorológica: 841170 (Estación Meteorológica del Aeropuerto Eloy Alfaro de Manta, SEMT) ubicada en las coordenadas latitud: -0.95; longitud: -80.68 y altitud: 13, esto a causa de la escasez de información del cantón Manta, por parte del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Los ítems y fórmulas que se emplearon son las siguientes:

Valoración de Riesgos Corine, Erosión del Suelo Corine.

Según el modelo de Coordinación de la Información sobre el Medio Ambiente (1992), establece que, puede predecir la erosión del suelo con espacio explícito, es un modelo empírico. CORINE es un método cartográfico semi cualitativo que implica el diseño y superposición de mapas temáticos de varias capas, y puede presentar la heterogeneidad espacial del riesgo de erosión del suelo (SER) dentro de un entorno SIG. Tiene una gran ventaja de estructura simple y también es fácil de aplicar con GIS.

El modelo CORINE identificó correctamente las áreas del Mediterráneo que tienen el mayor riesgo de erosión. (CORINE, 1992). Tiene una gran ventaja de estructura simple y también es fácil de aplicar con GIS. Además, se estimó la erosión real en base a los datos facilitados por la estación meteorológica: código 841170 (Estación Meteorológica del Aeropuerto Eloy Alfaro de Manta, SEMT).

Gráfico 1.: Diagrama CORINE.



Fuente: Adaptado de Aydin y Tecimen (2010)

Los factores de erosión del suelo son variables de precipitación y sequías, ya que son: índice de Fournier (FI) de precipitación y de aridez *Bagnouls-Gaussien* (BGI) como de sequía se incorporan a los cálculos. Así FI se calcula por medio de la fórmula correspondiente: (Aydcin y Tecimen, 2010)

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} \frac{P^2 i}{P}$$

Donde:

P_i: precipitación media mensual (mm).

P: precipitación media anual (mm).

El modelo CORINE MFI: en la cual jerarquiza en cinco tipos donde (1) muy baja, (2) baja, (3) moderada, (4) alto, (5) muy alto. Considerando que la FI establece un rango admisible de variabilidad en las precipitaciones (Aydin y Tecimen, 2010).

Sin embargo, el índice de Fournier acepta que varíen las precipitaciones, no discurre la aridez del clima, ni es considerada por ausencia del vapor de agua, sin embargo, hace que disminuya la cobertura vegetal e incremente la desertificación (European Environment Agency, 1994).

Por lo tanto, mediante el cálculo de la erosividad, se aplicó otra ecuación de índice climático, y de aridez *Bagnouls-Gaussen* (BGI) donde se ejemplifica en la fórmula determinada:

$$BGI = \sum_{i=1}^{12} (2Ti - Pi) * ki$$

Donde:

T_i precipitación media mensual

P_i es la precipitación total del mes >

K_i representa la proporción del mes durante la cual $(2Ti - Pi) > 0$

Tabla 1

Índice de clases de aridez. (European Environment Agency, 1994)

Clase aridez	Rango	Descripción
1	0	(húmedo)
2	0 - 50	(húmedo)
3	50 - 130	(seco)
4	> 130	(muy seco)

Nota. Extraído de Aydin y Tecimen (2010)

Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (*Universal Soil Loss Equation*).

El Modelo de estimación de la erosión del suelo tiene mayor aprobación y extensa aplicación (Almorox, 1994). Basada en la tecnología empírica mediante el proceso evolutivo, sigue en fase de evolución mediante el avance de diversos acontecimientos (Laflen *et al.*, 2003). El USLE considera seis factores correspondientes a:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A= pérdida anual de suelo (t/ha*año).

R = Erosividad de la lluvia (hJ*cm/m²*h*año).

K = Erodabilidad del suelo (ton*h*m²/ha* hJ*cm).

LS = longitud de la pendiente en metros y gradiente (adimensional).

C = Factor cobertura (adimensional).

P = Prácticas de conservación del suelo (adimensional).

Cálculo de erosividad de la lluvia (factor R)

Según Ibáñez *et al.* (2012) este coeficiente manifiesta la capacidad de la lluvia que causa erosión. De acuerdo a esta potencia puede descomponer la superficie en partículas separadas, luego son trasladadas por medio de chorros o corrientes de agua. Al igual que otras variables que describen el clima local (como la precipitación), el componente R es anual, se comprueba sumando mediante datos Ri en cantidad anual. El cálculo Ri se resuelve basándose en la energía e intensidad de la precipitación de la zona:

$$R = \sum Ri, \text{ siendo } i = n^{\circ} \text{ de tormentas ocurridas en un año}$$

$$Ri = EI30 \text{ siendo}$$

R= factor erosividad

E= energía cinética de la tormenta

I30= intensidad máxima registrada durante un intervalo de lluvia de una duración de 30'

E= f(I) (ecuación de carácter empírico), donde

E es la energía cinética de la lluvia

I es la intensidad de la precipitación (mm/h)

I factor R reconoce las cualidades físicas de la lluvia: a mayor tamaño de gota incremento de masa y aceleración caída; a mayor volumen y velocidad, incrementa la energía cinética; aunque, a mayor energía cinética de impacto mayor desagregación; y, por último, a mayor descomposición disminución de tierra (Ibáñez *et al.*, 2012).

Factor Erodabilidad del suelo (factor K).

Es el resultado de la superficie ya que precisa fuerza, en otras palabras, la capacidad de la superficie al erosionarse (Sharpley y Williams, 1990). Se obtiene por medio de regresión que tiene relación K mediante distintas características, como la estructura forma, porosidad, materia orgánica y profundidad.

La ecuación es: $K = 0,1317 f_{csand} f_{cl-si} - si \text{ forgc } f_{hisand}$

$$f_{csand} = \left(0,2 + 0,3 \cdot \exp \left[-0,256 \cdot m_s \cdot \left(1 - \frac{m_{sild}}{100} \right) \right] \right)$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{sild}}{m_c + m_{sild}} \right)^{0,3}$$

$$f_{orgc} = \left(1 - \frac{0,0256 \cdot orgC}{orgC + \exp[3,72 - 2,95 \cdot orgC]} \right)$$

$$f_{csand} = \left(1 - \frac{0,7 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp[-5,51 + 22,9 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)]} \right)$$

Donde:

f_{csand} : Es un factor que da bajos factores de erosividad del suelo para suelos con alto contenido de arena gruesa y altos valores para suelos con poca arena.

f_{cl-si} : Es un factor que da bajos factores de erosionabilidad del suelo para suelos con altas proporciones de arcilla y limo. La fragua es un factor que reduce la erosionabilidad del suelo para suelos con alto contenido de carbono orgánico, y esta arena es un factor que reduce la erosión del suelo en suelos con contenidos de arena extremadamente altos.

Ms: Es el porcentaje de contenido de arena (0.05 – 2 mm de diámetro de partículas)

Msild: Es el porcentaje de contenido de limo (0.002 – 0.05 mm de diámetro de partículas)

Me: Es el porcentaje de contenido de arcilla (<0.002 mm de diámetro de partículas)

Y orgC es el porcentaje de contenido de carbono orgánico de la capa.

Factor topográfico (factor L y factor S)

Esta cohesiona con dos cuantificaciones diferentes: la extensión de la pendiente (L) y su ángulo (S). LS incorpora la correlación de desgaste del territorio, por componente de espacio en una pendiente definitiva x en relación con la pérdida proporcionada en una precipitación del 9% y de 22,13 metros de largo. Se desarrolla con más dificultad para resolver cuando no se emplea la USLE a nivel de zonas, es decir que los territorios son semejantes en ambos (Cevallos et al., 2020)

$$LS = (\text{Flujo acumulado} * \text{tamaño de la celda} / 22.13)^{0.4} * (\text{sin pendiente} / 0.0896)^{1.3}$$

La capa ráster queda indicada mediante un conjunto de celdas y el tamaño es la distancia de la dimensión de una parte de las celdas (Burciaga, 2010).

Factor cobertura del suelo (C).

Para el desarrollo del factor vegetación preexisten tabulaciones (Mancilla, 2008). Wischmeier y Smith (1978) formularon valores de 0 y 1 para este parámetro de acuerdo al prototipo del follaje y la categoría de cobertura.

Factor prácticas de conservación del suelo.

Considera datos entre 0 y 1. Sus prácticas adjuntas en esta expresión son: las curvas de nivel, las siembras y los terrados. Ya que personifica la correspondencia actualizada mediante las pérdidas de suelo dando lugar bajo una fija habilidad de preservación y pérdida, que acontecen en el área (Ferran, 2007).

Para lograr el cumplimiento de los objetivos ya planteados se llevaron a cabo los siguientes pasos:

- Obtención de información bibliográfica pertinente de la zona de estudio.
- Análisis técnico de los antecedentes.
- Obtención y generación de imágenes de elevación digital de la zona de estudio.
- Uso de las herramientas del Sistema de Información Geográfico (SIG): *ArcGIS*, *Global Mapper*, *Google Earth Pro* para la obtención y generación de datos hídricos y morfométricos de la zona de estudio.
- Uso de los modelos CORINE y USLE para determinación de la erosión de los suelos.
- Análisis numérico y estadístico descriptivo de la información obtenida.
- Redacción de discusión y conclusiones.

RESULTADOS

Estimación cualitativa de la erosión real con el modelo CORINE.

El estudio fue realizado sobre la cuenca del río Burro del cantón Manta, provincia de Manabí. Está constituido por la superficie de drenaje de 44,47 km² y está conformada por una serie de esteros pequeños, desembocando en el Océano Pacífico con el nombre de Estero Seco al noreste de la ciudad de Manta. La altitud de la cuenca es de 305 metros sobre el nivel del mar.

Tabla 2

Precipitaciones mensuales del cantón Manta del período 2012 hasta el 2021.

Precipitaciones Anuales (mm)														
Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma	Promedio P Mensual/Año
2012	123,8	159,2	129,4	7	4,4	0	0	0	0	0	0	3,6	427,40	35,62
2013	125,8	58,9	144,5	87,7	0	0	0	0	0	0	0	0	416,90	34,74
2014	49,5	26,3	0	10	4,3	0	0	0	0	0	0	17,2	107,30	8,94
2015	4,8	45,5	7,6	17	8,8	0	0	0	0	0	0	6,3	90,00	7,50
2016	111,3	100,5	36,1	16,9	0	0	0	0	0	0	0	0	264,80	22,07
2017	104,9	114,54	43,18	41,15	47,5	2,54	7,87	0	0	2,54	0	6,35	370,57	30,88
2018	2,79	92,94	34,29	2,29	7,87	0	0,25	0	0	0	0	28,96	169,39	14,12
2019	46,22	128,2	67,83	7,11	1,27	1,52	0	0	0	0	0,25	0	252,40	21,03
2020	4,07	44,2	12,19	15,5	4,32	0	0	0	0	0	0	0,76	81,04	6,75
2021	123,95	39,87	67,06	9,65	13,47	0	0	0	0	0,51	0	39,11	293,62	24,47

Fuente: Estación meteorológica del Aeropuerto Eloy Alfaro de Manta, SEMT (código 841170), 2022.

Elaboración: Propia del autor.

En la tabla 2, se muestran los resultados de precipitaciones en Manta, la temporada más seca se presentó en los meses junio a noviembre de los años 2012 al 2016 y 2020. Los meses con menor precipitación en Manta fueron agosto y septiembre de la última década; el año con menor precipitación se mostró en el 2020, se evidencian precipitaciones de 81,04 milímetros; mientras, la precipitación máxima fue en el año 2012 con 427,40 milímetro de precipitación.

Tabla 3

Temperaturas mensuales del cantón Manta del periodo 2012 hasta el 2021.

Temperaturas (*C)														
Años	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Suma	Media
2012	25,7	26	26,7	26,9	26,8	26,1	24,4	23,3	23,3	23,1	23,6	25	300,90	25,08
2013	25,2	25,3	25,4	25	24	23,6	22,7	22,6	23,2	23,2	22,9	24,4	287,50	23,96
2014	25,8	25,9	26	25,9	25,9	25,8	24,4	24,1	23,4	24,2	24,3	25	300,70	25,06
2015	26	26,1	26,4	26,8	27	26,8	26,1	24,7	25,5	25,3	25,5	26,8	313,00	26,08
2016	26,8	26,3	26,7	26,5	26,7	26	24,9	24,2	24,4	23,7	23,7	25,1	305,00	25,42
2017	26,5	26,7	26,5	26,1	26,2	25,1	23,9	23,8	23,9	23,9	23,4	24,7	300,70	25,06
2018	25,7	25,6	26	25,8	25,5	24,1	27,3	23,8	23,7	23,7	24,8	25,5	301,50	25,13
2019	26,2	26,5	26,7	26,2	26,3	25,4	23,7	22,9	22,9	23,5	24,7	25,5	300,50	25,04
2020	26,6	27,2	26,9	26,6	26,3	25,4	23,7	23	23,7	24,2	23,8	24,6	302,00	25,17
2021	26	26,7	26,4	26,3	24,9	24,6	24	23,6	24,3	23,7	23,4	24,4	298,30	24,86

Nota. Estación meteorológica del Aeropuerto Eloy Alfaro de Manta, SEMT (código 841170), 2022.

En la tabla 3, se presentan los datos de las temperaturas en Manta, estos tienen comportamiento de temperaturas de 21 °C a 28 °C y raramente disminuye a 20 °C o aumenta a 30 °C. Los meses con mayores temperaturas en Manta fueron enero, febrero, marzo y abril de la última década; el año con temperaturas más bajas se presentó en el 2013 de 23,96 C° de temperatura promedio anual; mientras, las temperaturas máximas se mostraron en el año 2015 con 26,08 C° de promedio anual.

La erosividad por la lluvia, se determinó por Fournier como el índice de precipitación, usando averiguaciones de precipitaciones totales anuales y mensuales de registros existentes del 2012 y 2021. El rastreo de Fournier es esencial en el desarrollo del mapa que manifiesta el factor.

Tabla 4

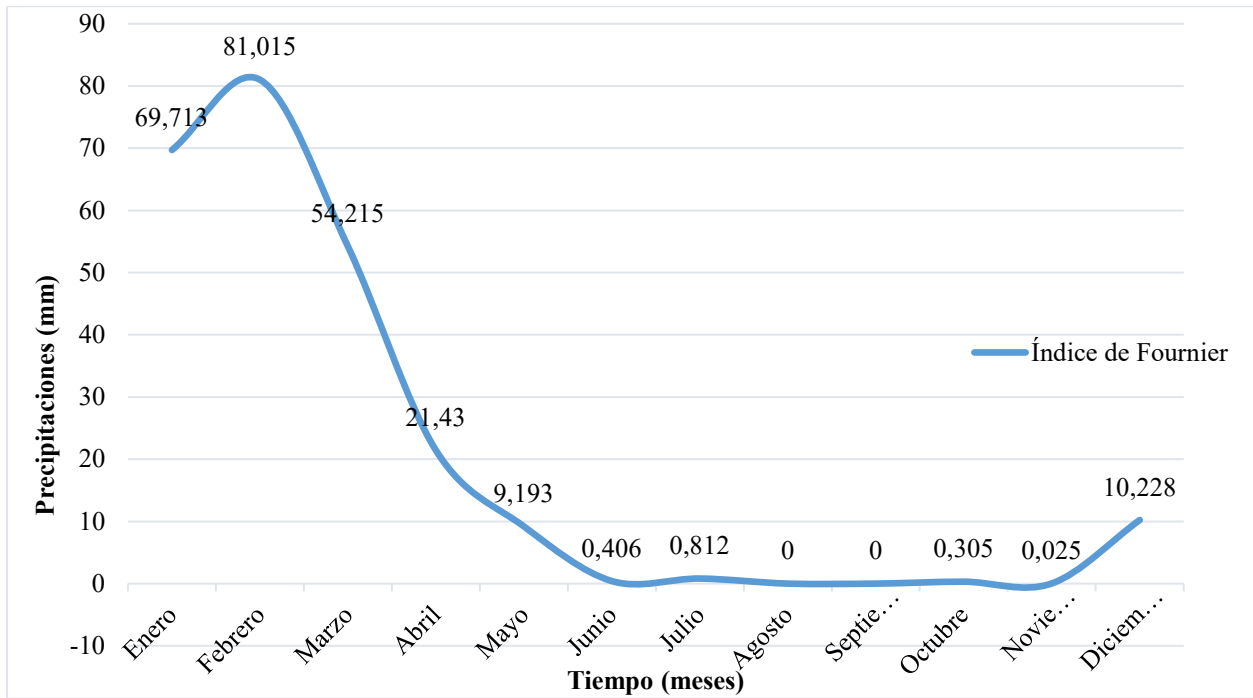
Cálculo del Índice de Fournier Modificado del periodo 2012 hasta el 2021.

Índice de Fournier														
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem bre	Octu bre	Noviem bre	Diciem bre	$\Sigma(Pi^2/Pa)$	Categoría 2
Pi²/ Pa	19,65	26,54	11,88	1,86	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	60,69	2 BAJA

Nota. En el Índice de Fournier Pi es la precipitación inicial, mientras Pa está representado por la precipitación anual.

En la tabla 4, se demuestra la aplicación del cálculo en base a Fournier, se obtuvo el siguiente valor de erosión: 60,69 indica categoría 2 (60 – 90), que representa un nivel bajo, ya que son nulas las precipitaciones, en varias franjas no se encontrará la capa vegetal, lo que ocasionará erosión.

Gráfico 2.: Índice de Fournier de la cuenca del río Burro.



Fuente: Elaboración propia del autor.

De acuerdo al gráfico 2, se muestra la representación gráfica como resultado del cálculo del Índice de Fournier, se obtuvo una erosividad de lluvia baja.

Tabla 5

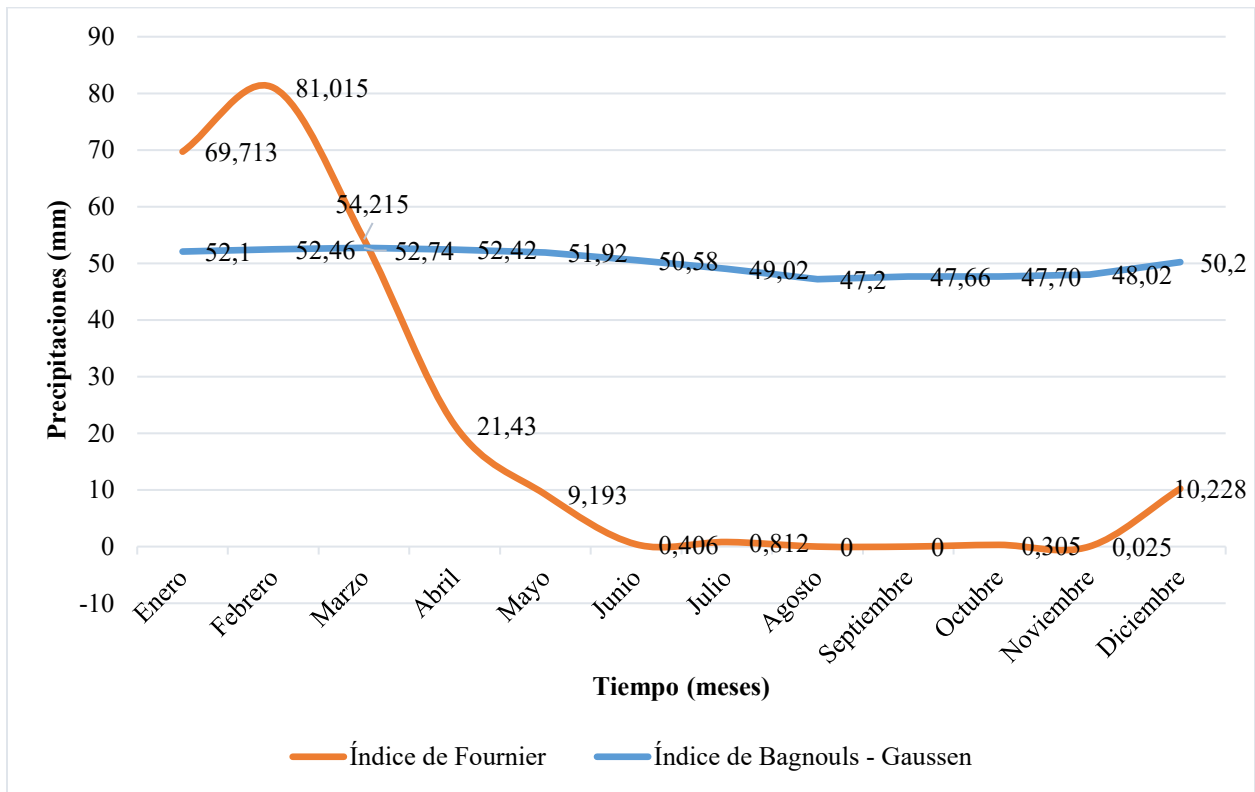
Cálculo del Índice de aridez Bagnouls-Gaussen (BGI) del periodo 2012 hasta el 2021.

Índice de <i>Bagnouls - Gaussen</i>														
	Ener o	Febre ro	Marz o	Abril	May o	Junio	Julio	Agos to	Septiem bre	Octubre	Noviem bre	Dicie mbre	K	
(2Ti-Pi)	34,48	23,90	51,26	83,41	94,64	100,75	97,22	94,4	95,32	95,09	96,01	90,17	0,58333333 3	
	Ener o	Febre ro	Marz o	Abril	May o	Junio	Julio	Agos to	Septiem bre	Octubre	Noviem bre	Dicie mbre	<math>\Sigma(2Ti- Pi) *K</math>	Clase 4
(2Ti-Pi) *K	20,12	13,94	29,90	48,66	55,21	58,77	56,72	55,07	55,60	55,47	56,01	52,60	558,07	4 MUY SECO

Nota. En el índice de *Bagnouls – Gaussen*, Ti representa a la temperatura inicial,

En la tabla 5, se demuestra la aplicación del cálculo en base a la ecuación de *Bagnouls-Gaussen* (BGI), por el que se obtuvo el siguiente valor de aridez: 558,07 indica clase de aridez 4 (>130), que representa un nivel de aridez muy seco donde las precipitaciones son casi nulas, reflejando sequías y ausencia de cobertura vegetal.

Gráfico 3.: Índice de aridez Bagnouls-Gaussen vs. Índice de Fournier de la cuenca del río Burro.



Fuente: Elaboración propia del autor.

Luego de emplear el método *Bagnouls-Gaussen* de aridez, en el gráfico 3 se puede visualizar que el clima en la zona del cantón Manta es muy seco manifestando que la precipitación es súper baja de acuerdo con la categoría de deterioro.

Estimación cuantitativa de la erosión con el modelo Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Universal Soil Loss Equation – USLE).

El USLE se aplicó en un software para determinar la pérdida promedio anual de suelo y su distribución en el área de estudio. El USLE predice la pérdida de suelo para un sitio dado como producto de seis factores principales cuyos valores en un lugar particular pueden expresarse numéricamente. El USLE es adecuado para predecir el promedio a largo plazo de las pérdidas de suelo.

Como resultado de la investigación de la erosión, aplicando el procedimiento USLE, se comprobó mediante el plano de niveles de erosión que en total la cuenca del río Burro tiene 38,62 km², de los cuales corresponden 3,91 km², lo que representa una erosión de 10,12%, presentando bajos niveles de erosión hídrica. Cabe recalcar que se verificó que las pérdidas potenciales de erosión mostraron niveles graves a muy graves, cuyos valores presentaron afectación del área de la cuenca.

Cálculo de erosividad de la lluvia (factor R)

Sumar los valores de todas las energías específicas multiplicadas por la intensidad de la lluvia durante 30 minutos dará los valores de IE del evento. El factor anual R se calcula sumando todos los valores de EI disponibles para el año. Con base en los valores promedio anuales a largo plazo del factor R para la demarcación hidrográfica de Manabí (tabla 6), se construyó un ráster del factor R utilizando SIG (Fig. 2

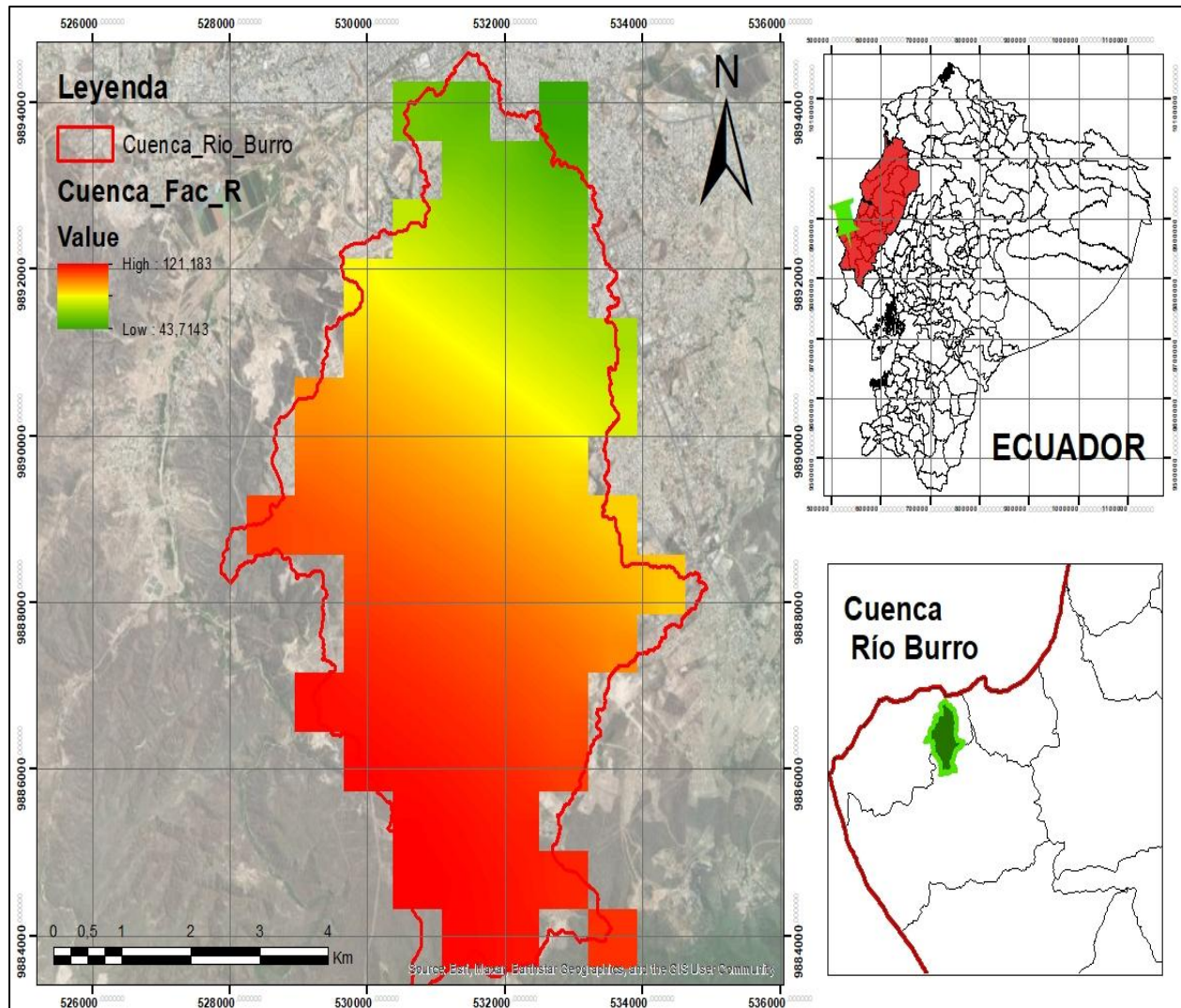
Tabla 6*Valores medios anuales a largo plazo del factor R-USLE.*

Nº	ESTACIÓ N	Coordenadas UTM del código de la estación meteorológica (WGS1984, 17S)		Precipitación media anual a largo plazo, mm	Factor R- USLE, MJ mm/ ha h)
		X	Y		
1	M005	559523	9884982	528	77,07
2	M006	671167	9878373	2156,7	2042,4
3	M026	684860	9947353	2768,8	3587,5
4	M047	529608	9896745	397,2	38,41
5	M074	535232	9894995	270,2	14,53
6	M160	671939	9968948	2650,3	3251,41
7	M162	599186	9922067	1233,4	569,67
8	M163	588400	9937145	1190,7	525,18
9	M165	561350	9905400	454,1	53,4
10	M166	587791	9845734	1657,2	1122,19
11	M167	580800	9977125	778,8	194,88
12	M168	605098	9993552	1036,9	381,07
13	M169	540911	9836412	990,6	342,63
14	M171	566617	9823940	1308,6	652,99
15	M296	587159	9909725	847,6	237,9
16	M297	579744	9926307	705,8	154,41
17	M298	568607	9871041	859,8	246,03
18	M446	593441	9959038	767,5	188,3
19	M447	564710	9858637	1024,3	370,39
20	M448	541813	9872580	378,4	34,08
21	M449	545983	9860943	530,1	77,79
22	M450	521785	9875161	443,1	50,3
23	M451	551325	9836471	994,6	345,86
24	M452	605084	9896272	1472,6	856,52
25	M453	534613	9883481	609,9	109,03
26	M454	578716	9883443	891,3	267,69
27	M455	540758	9847496	459	54,83
28	M456	582963	9969540	480,3	61,23
29	M457	529325	9850844	416	43,07
30	M458	554628	9823913	1131,9	467,12
31	M459	545421	9825480	1671,5	1144,48
32	M462	588084	9896706	1058,6	399,87
33	M464	585361	9885407	1234,5	570,84
34	MA29	589006	9876563	1287,8	629,35
35	COMP	507285	9883367	579	96,24

36	COMP	549661	9795165	949	309,98
37	COMP	624697	10054669	2035	1790,55

Nota. Extraído del estudio de Campos *et al.*, (2017).

Figura 2.: Mapa del factor R de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí.



Factor Erodabilidad del suelo (factor K).

Existen varios métodos para la estimación indirecta del factor de erosión del suelo. Entre ellos, la ecuación de Sharpley-Williams (1990). Como resultado al proceso de esta información se obtuvieron los siguientes valores donde ms, msilt y mc son la proporción de arena, limo y arcilla contenida en el suelo, %; orgC es el contenido de carbono orgánico. Los datos proporcionados en la siguiente tabla son otorgados por la FAO (2017). En la figura 3 se presentan los resultados del factor k. Los mayores conocimientos se obtienen en el sureste y el oeste de la demarcación.

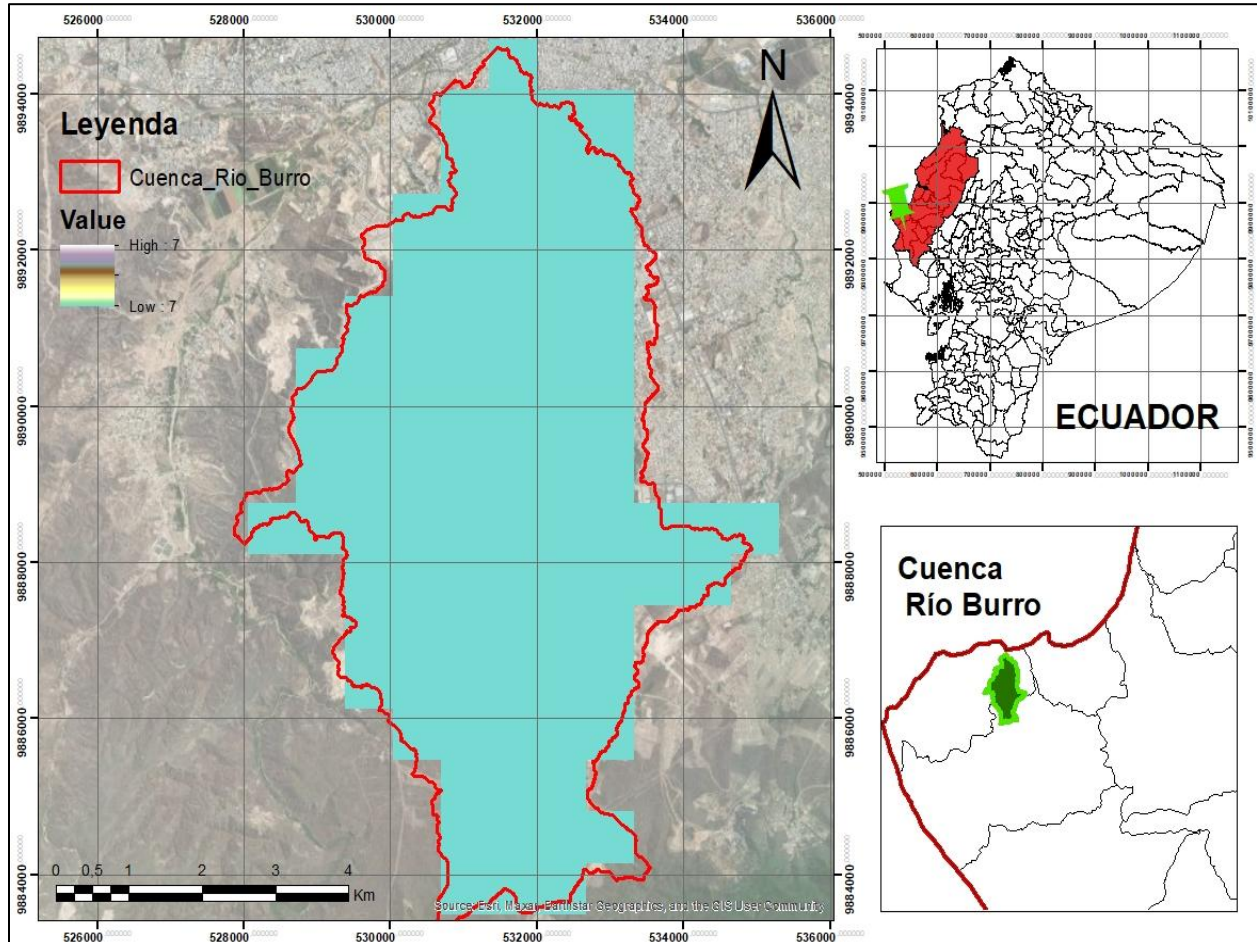
Tabla 7

Cálculo del Índice de aridez Bagnouls-Gaussen (BGI) del período 2012 hasta el 2021.

Soil unit symbol	sand % topsoil	silt % topsoil	clay % topsoil	OC % topsoil	FcSand	F cl - si	F orge	F hsand	K USLE	K
ND	38,9	17,6	43,6	1,57	0,2000819	0,6880633	0,8009555	0,9999114	0,1103	0,0145
BK	81,6	6,8	11,7	0,44	0,2	0,7406298	0,990605	0,718479	0,1054	0,0139
TV	64,5	26,2	9,3	1,4	0,2000015	0,9128972	0,8303976	0,9823557	0,1489	0,0196
ZG	47,8	8,5	43,8	0,38	0,2000041	0,5797959	0,993131	0,9994194	0,1151	0,0152
VP	25,1	12,2	62,7	0,68	0,2010641	0,5801809	0,9727176	0,9999954	0,1135	0,0149
BK	81,6	6,8	11,7	0,44	0,2	0,7406298	0,990605	0,718479	0,1054	0,0139
VP	25,1	12,2	62,7	0,68	0,2010641	0,5801809	0,9727176	0,9999954	0,1135	0,0149
BK	81,6	6,8	11,7	0,44	0,2	0,7406298	0,990605	0,718479	0,1054	0,0139
LC	64,3	12,2	23,5	0,63	0,2000002	0,7246153	0,9777019	0,9830338	0,1393	0,0183
KL	36,7	40,3	23,1	2	0,2010995	0,8729005	0,7633743	0,9999445	0,134	0,0176

Nota. En la columna símbolo de la unidad de suelo se muestran los códigos de los suelos del estudio establecido por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017).

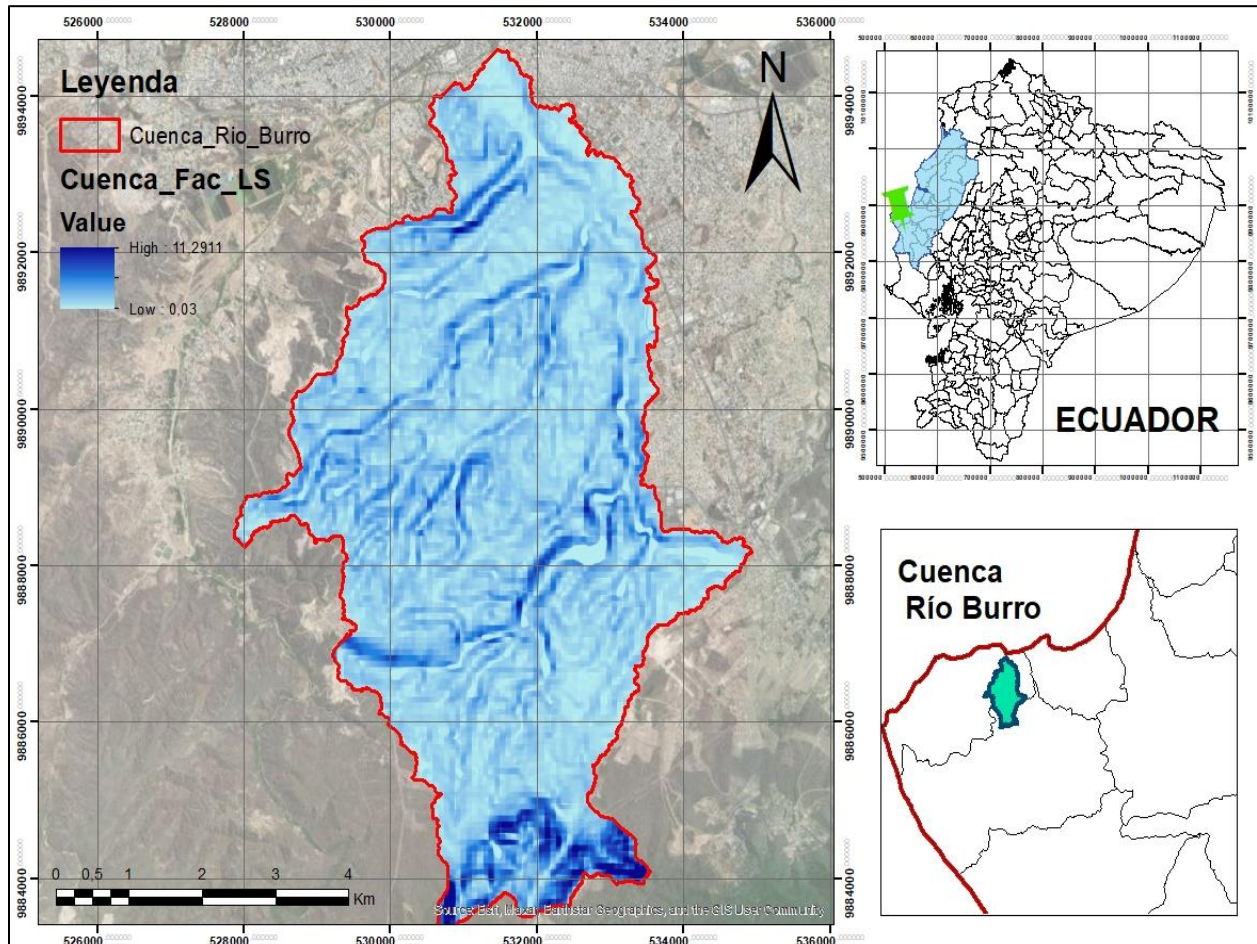
Figura 3.: Mapa del factor K de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí.



Factor topográfico (factor L y factor S)

Cabe mencionar que la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación- FAO (2017), hace énfasis en que los datos variables del suelo se toman del mapa mundial desarrollado por la misma. Factor de terreno LS. La determinación de los factores L y S se realiza mediante SIG según las fórmulas mencionadas en la metodología de la presente investigación. El producto de los rásteres L y S da el ráster de relieve LS. Los mayores desniveles del terreno se dan en el sur, al norte y al este de la demarcación. De acuerdo con el proceso (Fig. 4), el ráster resultante corresponde a la erosión hídrica potencial.

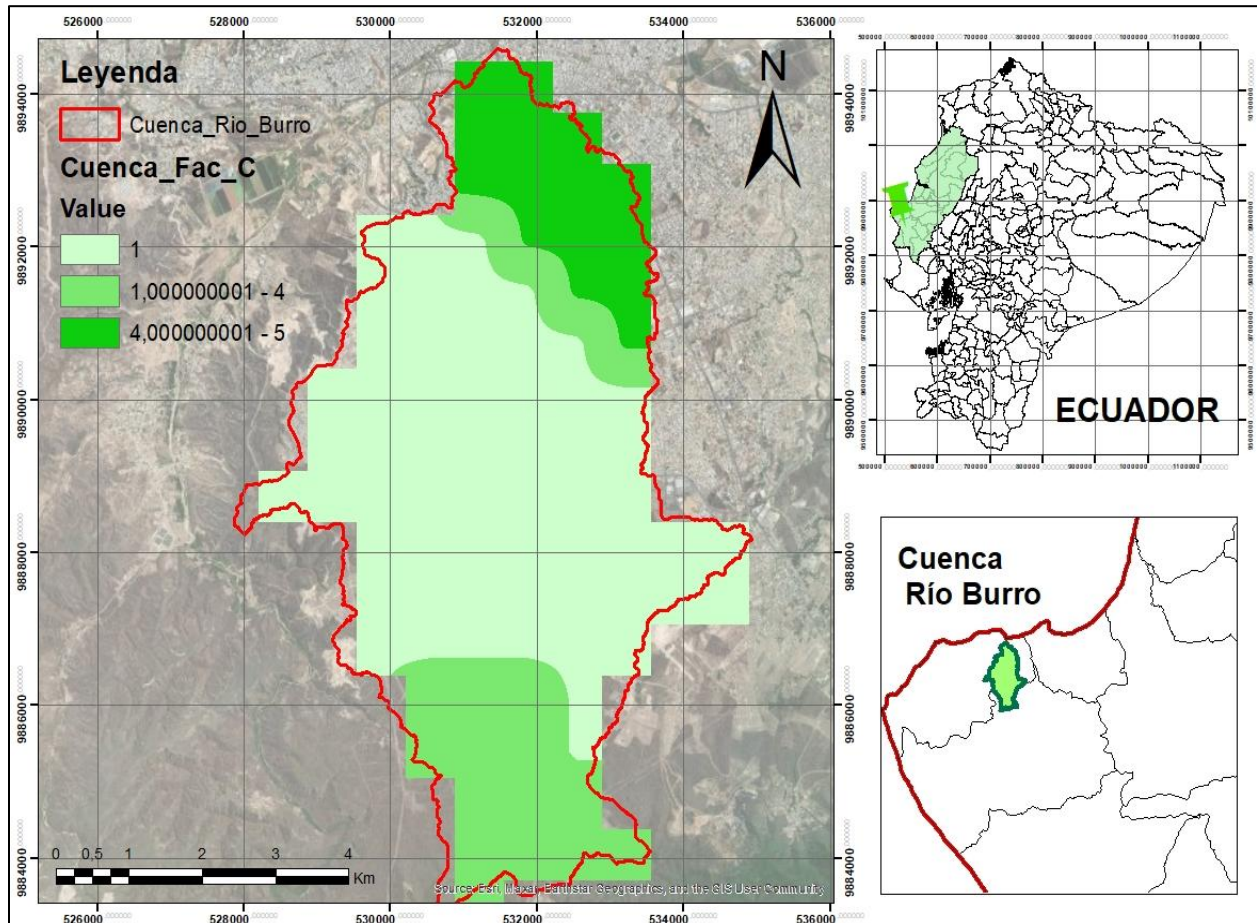
Figura 4.: Mapa del factor LS de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí.



Factor cobertura del suelo (factor C).

La cobertura del suelo del Cantón Manta está poco alterada, pero dados los proyectos petrolíferos, la superficie directa e indirecto cubrirá un área de un tercio en el sitio de mejor estado de conservación, posterior perjudicará la dinámica de las especies y al equilibrio del ecosistema produciendo la pérdida de la flora y fauna por la afectación los servicios ecosistémicos como el recurso hídrico, esto repercutirá a la calidad de vida de la comunidad. En mención al gráfico 5 se puede apreciar que predomina el bosque natural – pastos plantados, en segundo lugar, presenta bosque natural (imperera en la zona de Montecristi), posteriormente se visualiza vegetación arbustiva en el sitio.

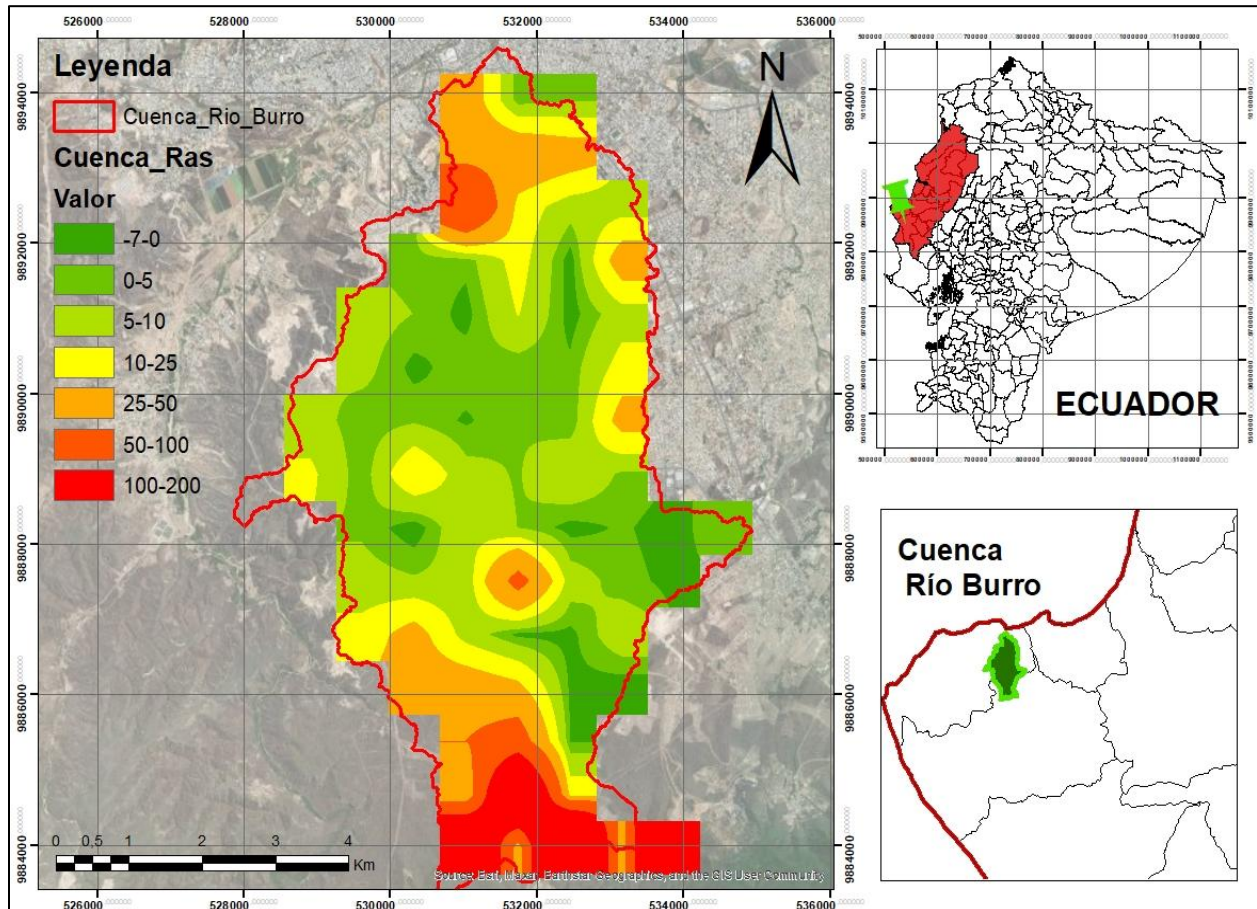
Figura 5.: Mapa del factor C de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí.



Prácticas para la conservación del suelo (Factor P).

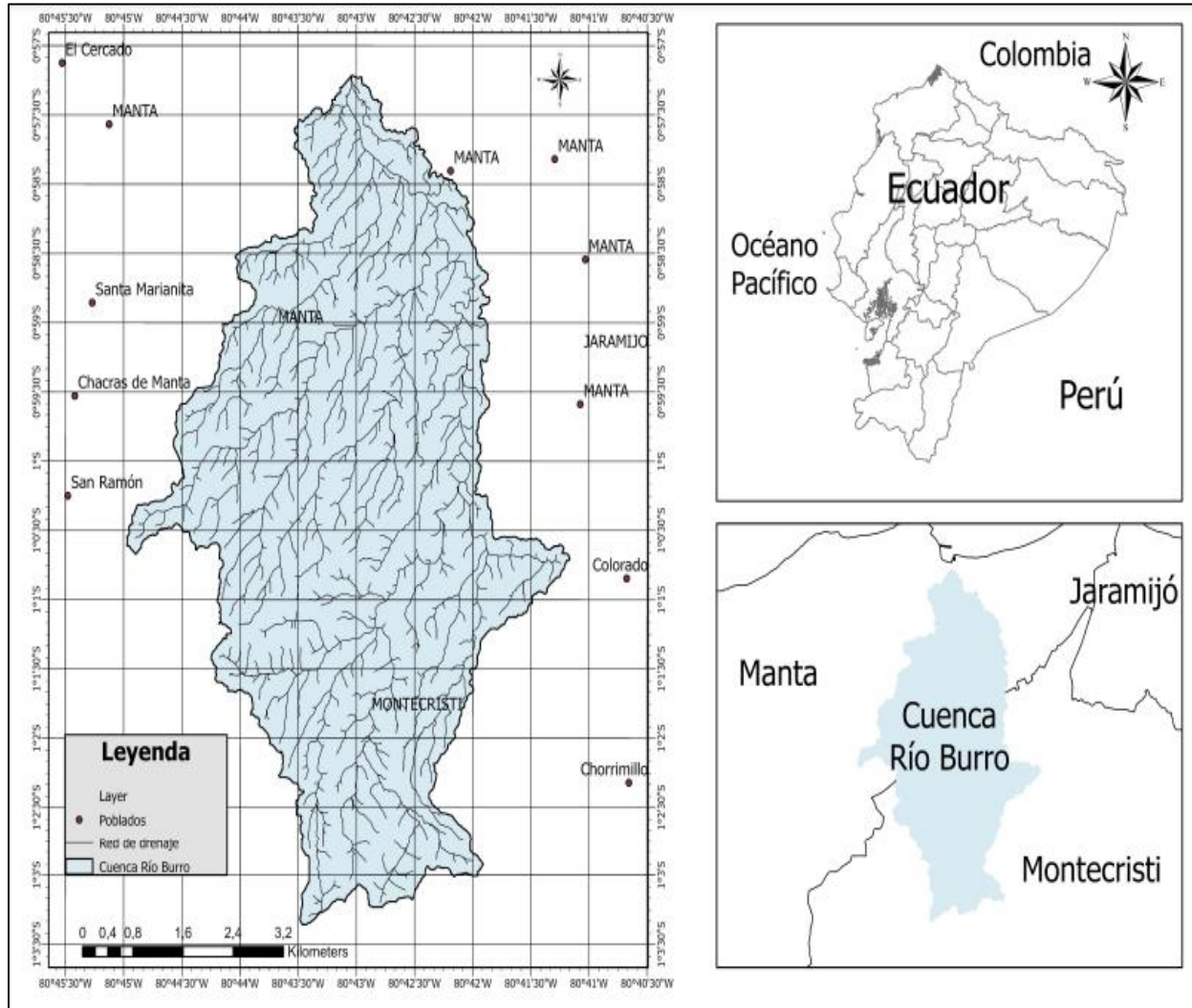
Tiene que ver con las prácticas que el hombre realiza con la finalidad de disminuir la erosión del suelo, es decir a la manipulación, tareas de reforestación, cultivos sostenibles, arado de suelo, entre otras prácticas que puedan impactar en la conservación del suelo. Cuando P toma valores cercanos a cero, establece que el suelo no está deteriorado debido a las prácticas mecánicas de conservación; y cuando tiende al valor de 1, menciona que tiene la erosión máxima por la intervención de actividades antrópicas. La zona sur de la cuenca del río Burro presenta una erosión en su condición fuerte a severa, y su tasa promedio anual es de 50 a 200 ton/ha/año, por otra parte, en la zona norte se evidencia una erosión en su condición ligera a severa, y su tasa promedio anual es de 10 a 50 ton/ha/año. Finalmente, se aprecia en la zona centro de la cuenca una erosión incipiente.

Figura 6.: Mapa del factor P de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí.



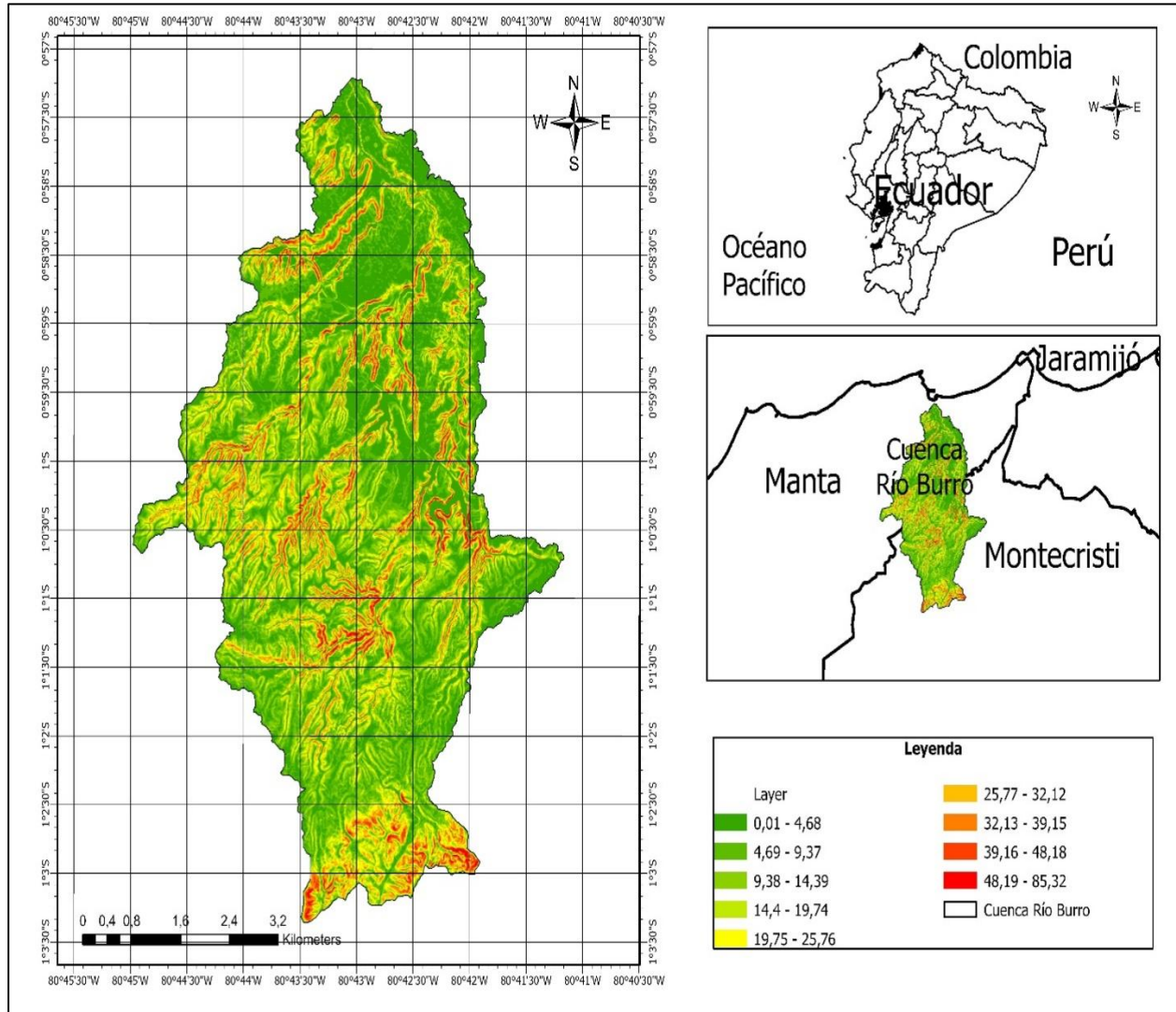
La cuenca del río Burro se encuentra dentro de la categoría de cuencas pequeñas, debido a que su área superficial es de $38,62 \text{ km}^2$, cuenta con un perímetro de $51,61 \text{ km}$ y una longitud axial cuya distancia es $11,25 \text{ km}$, la cual corresponde a la distancia entre la desembocadura y el punto más lejano de la cuenca. En la figura 7 se presenta la zona territorial que abarca la cuenca del río Burro y sus límites correspondientes.

Figura 7.: Delimitación de la cuenca del río Burro, Manta, Manabí.



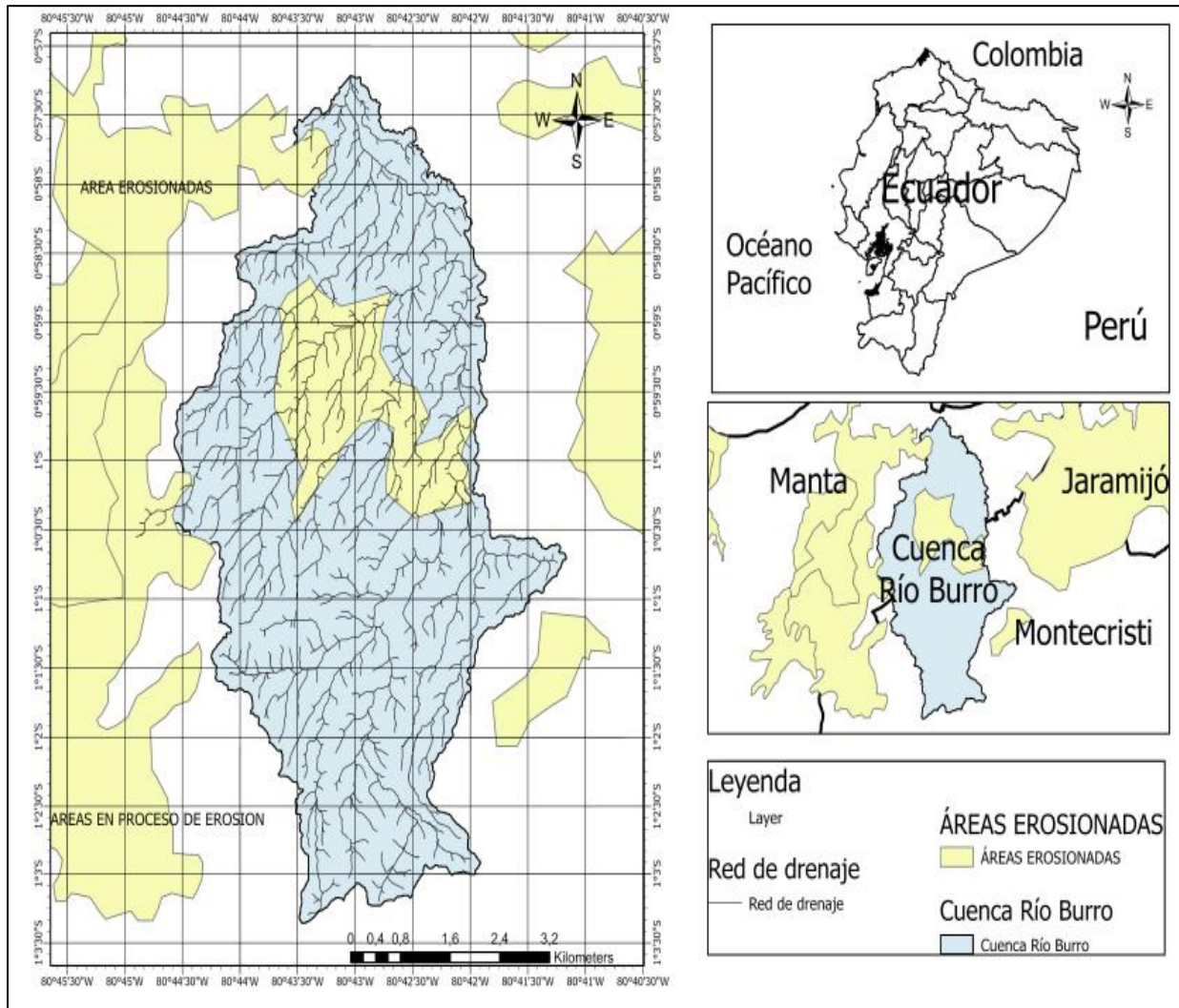
La imagen 8, menciona que la pendiente de la superficie de la cuenca del río Burro, donde indica que el 84% es llano, mientras que el 10 % es ondulado y el 6% del área total tiene mucha pendiente, con una inclinación de 13,35%, de acuerdo al rango de pendiente (%) del estudio realizado por Zhicay (2020), indica que la cuenca es ligeramente inclinada a moderadamente empinada, que equivale a un rango 8 – 15 (%).

Figura 8.: Mapa de pendiente del suelo de la cuenca del río Burro.



El gráfico 9, se muestra las áreas erosionadas de la cuenca del río Burro, una vez obtenidos los resultados de las categorías de los Índices de *Fournier* y *Bagnouls-Gaussen*, aplicando la valoración de las pérdidas de suelo causadas por la erosión hídrica, en donde se aplicó el modelo CORINE, los hallazgos evidenciaron una erosividad de categoría 2 (rango de 4 – 8), se identificó la zona de clase alta.

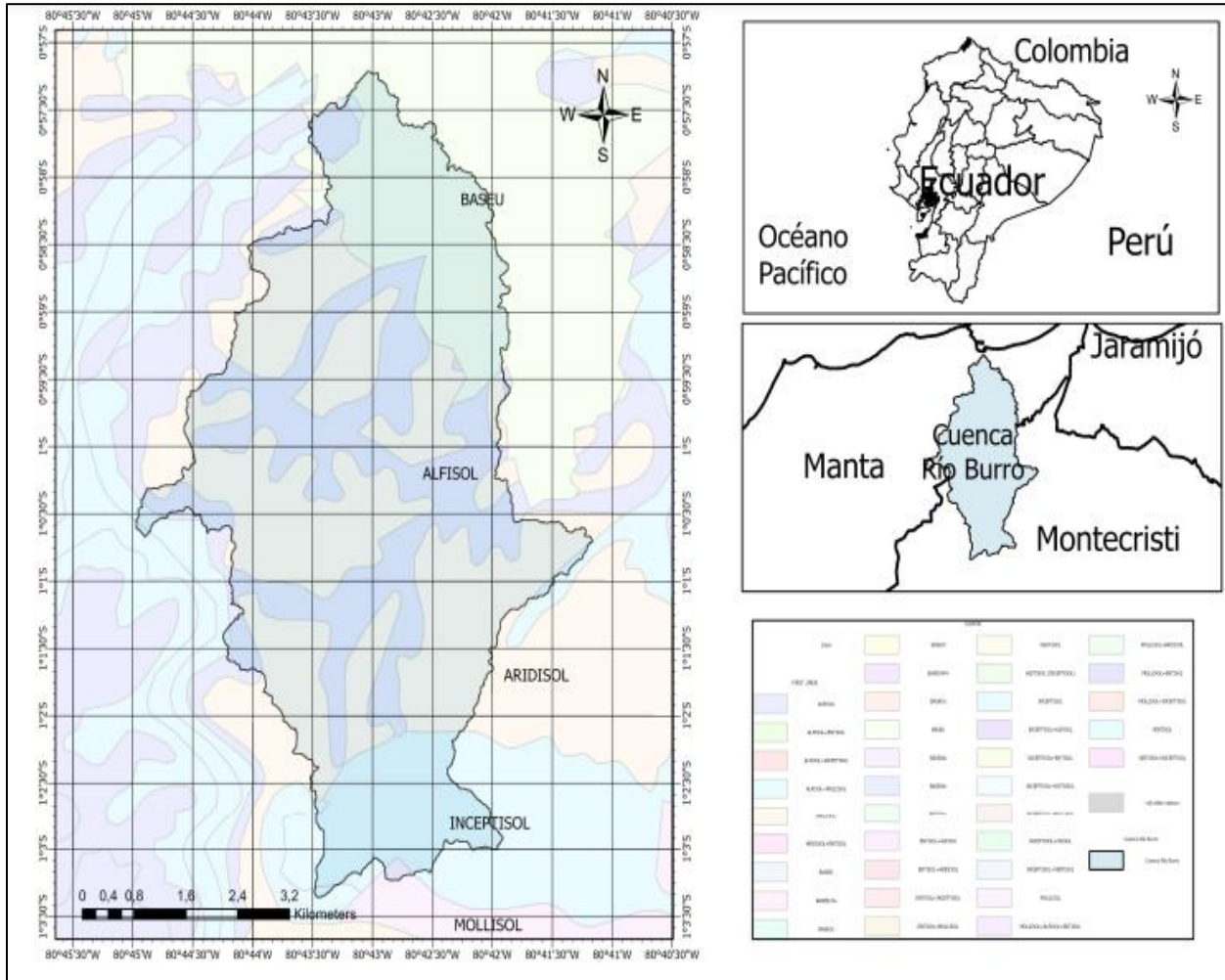
Figura 9.: Mapa de áreas erosionadas del suelo de la cuenca del río Burro.



Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAGAP (2002).

En la figura 10, se aprecia el mapa del tipo de suelo de la cuenca del río Burro, de acuerdo al estudio realizado por Vines (2018), indica que la ciudad de Manta presenta varios tipos de suelo tales como suelos franco arenosos, limosos y/o arcillo limosos; por tal razón indica que el tipo de suelo del cantón es irregular, por ello implica vulnerabilidad a eventos adversos de tipos naturales y antrópicos, además se concluye que es muy variable; por otra parte el río Burro posee un tipo de suelo arcilloso; en la cual existen viviendas en los alrededores, por lo que el aprovechamiento de la tierra es residencial.

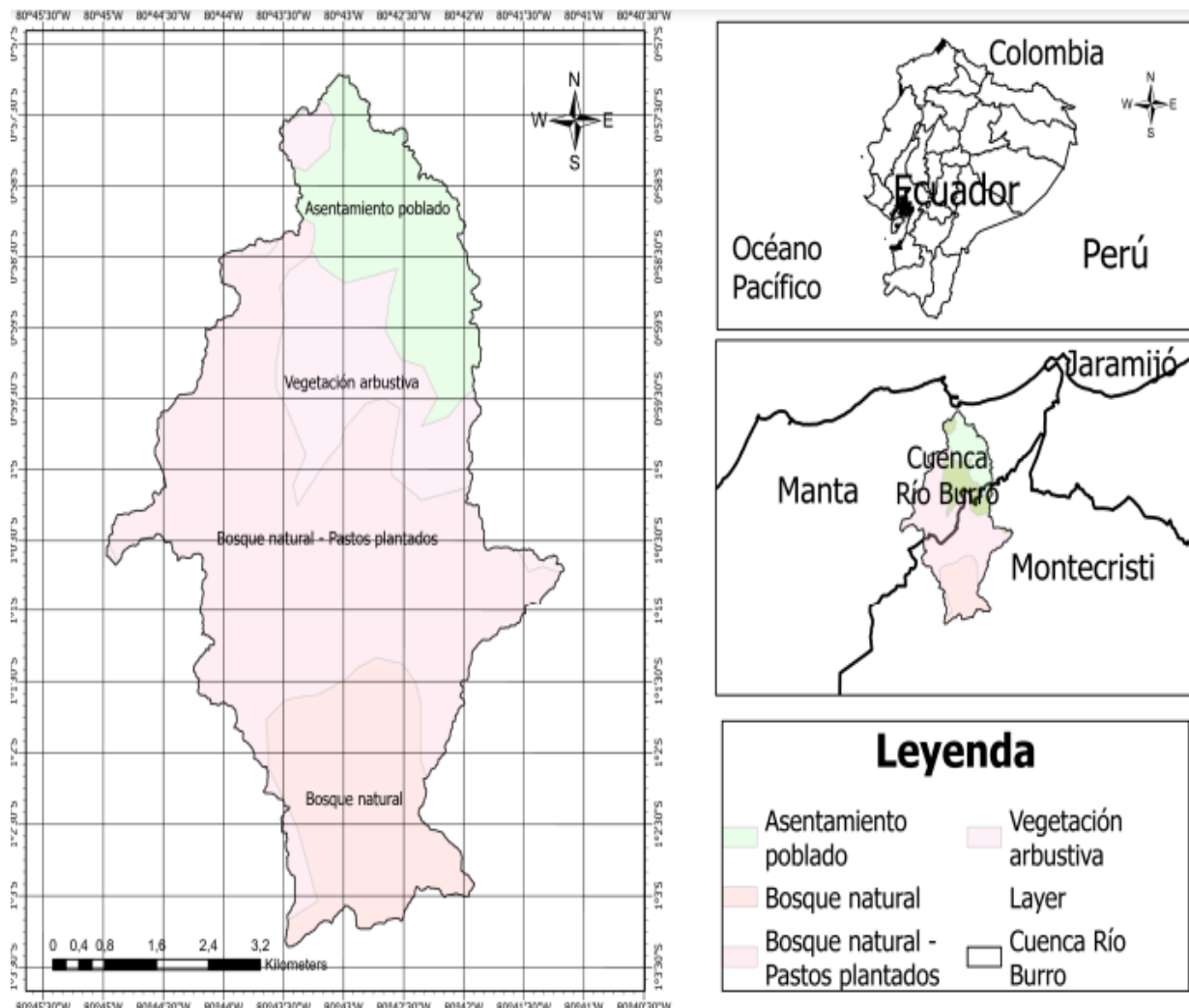
Figura 10.: Mapa del tipo de suelo de la cuenca del río Burro.



Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAGAP (2002).

En la figura 11, se muestra el mapa de vegetación existente, el estudio realizado por Vincés (2018), la vida acuática desapareció por completo del entorno de la cuenca del río Burro. En las áreas directamente afectadas por la contaminación, se encuentran tipos de cobertura vegetal como arbustos y pastos comunes. Mientras que, la flora que se encuentra en esta zona son insectos, anfibios, reptiles y mamíferos de especies comunes sin peligro de extinción.

Figura 11.: Mapa de la vegetación existente de la cuenca del río Burro.



Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería - MAGAP (2002).

DISCUSIÓN

En esta sección se detalla la discusión de resultados expresando la similitud o contrarrestando la información con estudios relacionados al presente tema de investigación.

Cabe mencionar que para determinar el cálculo de erosión hay diversos modelos, en el presente estudio se utilizó el modelo CORINE por su facilidad de aplicar con SIG, de acuerdo con la ecuación del Índice de Fournier, se obtuvo el siguiente valor de erosión: 60,69 indica categoría 2 (60 – 90), que representa un nivel bajo de precipitaciones son casi nulas, lo que ocasionará erosión. Por otra parte, en el cálculo de aridez *Bagnouls-Gaussen* (BGI), se obtuvo un valor de aridez: 558,07 que indica clase de aridez 4 (>130), que representa un nivel de aridez muy seco donde las precipitaciones son casi nulas, reflejando sequías y ausencia de cobertura vegetal.

Estos datos tienen similitud con el estudio de Murillo (2017), en su tema “Amenaza de Erosión Hídrica del suelo en 10 cantones en la Zona Sur de la Provincia de Manabí”, este estudio combinó la metodología “CORINE”, con el modelo de estimación de la degradación del terreno, USLE (*Universal Soil Loss Equation*), para evaluar cualitativamente la erosión de los suelos de la provincia de Manabí, de acuerdo a los resultados encontrados, la zona Sur de Manabí, presenta aproximadamente un 44% de su superficie con un grado de amenaza de erosión hídrica alto, esto debido a que son áreas con poca cobertura vegetal y presentan suelos altamente erodables con pendientes mayores al 30%.

Asimismo, Giler & Reyna (2020) que dicta el tema de “Estimación de la erosividad en la provincia de Manabí con el método CORINE” se determinó que el clima puede afectar directamente con sequías e inundaciones a la región. Además, resulta sugestivo indicar que en el estudio de Khallouf *et al.* (2021) en la recolección de muestras de suelo del campo, se obtuvieron los datos climáticos (es decir, lluvia) y el Modelo Digital de Elevación (DEM) y se utilizaron para realizar el modelo CORINE en el entorno del Sistema de Información Geográfica (GIS), los hallazgos revelaron los riesgos de erosión en la parte occidental de la gobernación de Latakia y soluciones de las áreas afectadas que pudieran ser utilizadas para prácticas de conservación mediante el uso del modelo CORINE.

Luego de determinar las magnitudes y distribución espacial de los parámetros de USLE en formato ráster, los resultados obtenidos del presente estudio muestran similitud con los hallazgos de Jaramillo (2021), referido al análisis de la erosión de la superficie manipulando el modelo U.S.L.E., basado en herramientas S.I.G, aplicado en el río Portoviejo, registró pérdidas de deterioro de 0 – 5 (ton/ha*año), zona de 74.67% de erosión muy baja; correspondiente a 5 – 10 (ton/ha*año), superficie del 22.51% de erosión baja; de la categoría 10 – 25 (ton/ha*año), superficie del 2.26% de erosión leve; de 25 – 50 (ton/ha*año), superficie del 0.24% moderada; de 50 – 100 (ton/ha*año), superficie del 0.11% grave; del rango 100 – 200 (ton/ha*año), superficie del 0.21% de erosión muy grave.

Finalmente, se encuentra semejanza en los hallazgos encontrados en la investigación realizada por Egusquiza (2019), la cual tuvo como objeto de estudio la cuenca alta del río Rímac, se determinó el riesgo de erosión hídrica en esta zona, durante el fenómeno “El Niño” 2016-2017. Se aplico mediante CORINE a fin de establecer el peligro de erosión actual y potencial. El área de estudio tiene una extensión final de 121 831 ha; los datos obtenidos: el riesgo de erosión potencial es de índice ALTO en un 63 % del área total, MODERADO en un 16 % y BAJO en un 21%.

El peligro de la erosión actual es de ALTO índice que corresponde a 43% del área total, 33% de índice MODERADO y 24 % de índice BAJO. Sin embargo, el modelo CORINE moldea de manera segura los índices. Donde se estableció que la precipitación es un factor prevaeciente en el proceso de erosión, la proximidad de la zona de estudio a la Cordillera de los Andes hace que se encuentre expuesta a lluvias.

Por otra parte, con base en los resultados obtenidos de la Estimación cuantitativa de la erosión con el modelo Universal de Pérdida de Suelo. Se obtuvo como resultado en el estudio realizado por Campos (2017), mismo que muestran similitud con el presente estudio, donde el Factor R, caracteriza el proceso de erosión en función de la energía cinética de las lluvias, y oscila entre 4,71 y 2147,48 MJ mm/(ha h). Los datos significativos altos se obtuvieron en zonas de demarcación sur y norte. El factor K, que expresa el potencial de erosión del suelo en función del contenido de arena, limo, arcilla y carbono orgánico, varía en el rango de 0,0139–0,0196 t ha h/(MJ mm ha).

El mayor conocimiento se obtuvo en el sureste y oeste de la demarcación. El factor LS, que expresa el estado de las pendientes de la cuenca de drenaje, varía entre 0,03 y 217,32. Las mayores pendientes del terreno se encuentran en el sur, norte y este de la demarcación. Las cuencas de la demarcación de Manabí, perjudicadas potencialmente por la erosión producida por el agua son las siguientes: en el sur - 15134, 15135 y 15136; en el norte - 15191, 15192, 15193, 15194, 15195 y 15196; y en el este, 15144, 15149, 15168, 15169, 15166 y 15162. Finalmente, el potencial de erosión hídrica de la demarcación de Manabí oscila entre 0,00 y 1300,00 t/ha/a.

CONCLUSIONES

- Se realizó una evaluación cuantitativa de la pérdida de suelo sobre una base de cuadrícula utilizando el método de USLE con miras a identificar las zonas críticas propensas a la erosión del área de estudio para la planificación de la conservación. El uso de datos basados en GIS permitió determinar la distribución espacial de los parámetros USLE. Los resultados de análisis estadísticos y estudios de campo sobre el impacto de los parámetros afectan las pérdidas de suelo en el modelo USLE indicaron que el factor de erosionabilidad del suelo (K factor) y factor para el manejo de cultivos (C factor) tienen mayor influencia en las pérdidas de suelo en el área de estudio.
- Los resultados de la erosión del suelo muestran que la cuenca de Río Burro tiene un índice de erosividad del suelo alto de 8, lo que podría afectar directamente las sequías e inundaciones debido a las bajas precipitaciones y el clima desfavorable de la región. De manera similar, los diferentes resultados de la variabilidad de la precipitación se pueden combinar con diferentes índices de sequedad. Sin embargo, es recomendable seguir trabajando con la metodología planteada y aprobada tal como CORINE a fin de crear un sustento para comparaciones futuras. Los hallazgos obtenidos del presente estudio pueden ayudar a desarrollar escenarios de manejo y proponer opciones a los responsables de la formulación de políticas la oportunidad de gestionar los peligros de la erosión del suelo de forma competente a fin de prevalecer las áreas planas hacia el tratamiento.
- Los valores críticos de la erosión hídrica del suelo (severa, muy severa y catastrófica) ascienden en conjunto al 41%, cubriendo una parte considerable de la zona. Este valor debe reducirse aplicando planes de repoblación forestal adecuados y la creación de prácticas para la protección de las cuencas hidrográficas, especialmente en aquellas en las que donde hay planes para el diseño y la construcción de instalaciones de agua a fin de regular el flujo.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Alewell, C., Borrelli, P., Meusburger, K. & Panagos, P. (2019). Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling, *International Soil and Water Conservation Research. Journal ScienceDirect*. Volume 7(3). Pages 203-225. ISSN 2095-6339. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>.
- Almorox., J, De Antonio., R, Sao., M, Díaz, C y Montes, R. (1994): "Métodos de estimación de la erosión hídrica." Editorial Agrícola Española, Madrid.
- Aydin, A., & Tecimen, H. (2010). Evaluación del riesgo de erosión temporal del suelo: una aplicación de la metodología CORINE en la cuenca de la represa Elmalı, Estambul. *Ciencias Ambientales de la Tierra*, 61(7), 1457–1465. https://www.academia.edu/3308770/Temporal_soil_erosion_risk_evaluation_a_CORINE_methodology_application_at_Elmal%C4%B1_dam_watershed_Istanbul
- Burbano, H. (2016) "El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria", *Revista de Ciencias Agrícolas* 33(2), pp. 117–124.
- Burciaga, D. (2010). Uso de Radiación Sincrotrónica para la caracterización de especies de uranio de diversas fases. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/377/1/Tesis%20Diana%20fertilCecilia%20Burciaga%20Valencia.pdf>
- Campos, A., Evgeni, S. & Ilya, G. (2017). Evaluación del potencial de erosión hídrica de la demarcación hidrográfica de Manabí, Ecuador. *Revista RUDN de investigación en ingeniería*. Vol. 18, N° 2. https://www.researchgate.net/publication/319641759_EVALUATION_OF_POTENTIAL_WATER_EROSION_OF_HYDROGRAPHIC_DEMARCATION_OF_MANABI_ECUADOR
- Campos, A. (2017). Erosión hídrica del suelo - USLE - Parte 1 de 5 - GENERALIDADES - ArcGIS ONLINE. <https://www.youtube.com/watch?v=eRm3ui4blXo>
- Cevallos, G., Giler, O., Menéndez, S. y Reyna, B. (2020). Estimación de la erosividad en la provincia de Manabí con el método CORINE.
- CORINE (1992) CORINE: riesgo de erosión del suelo y tierras importantes recursos en las regiones del sudeste de la comunidad europea. EUR 13233, Luxemburgo, Bélgica, págs. 32–48

- Davies, M., Inglés, V., Funda, J, Brannan, S., Campbell, R., & Musell, R. (2016). Mejorando la Gobernanza de las Tierras Pastorales, Implementando las Directrices Voluntarias sobre la Gobernanza Responsable de la Tenencia de la Tierra, la Pesca y los Bosques en el Contexto de la Seguridad Alimentaria Nacional, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, *Guía técnica sobre la gobernanza de la tenencia (FAO)*. No. 6, pág. 141
- Díaz, F & Vega, C. (2016). Estimación del aporte de la erosión hídrica al azolve del embalse Mampostón. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* [online]. 2016. Vol. XXXVII, no. 3, p. 18–30. Available from: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v37n3/riha02316.pdf>
- Donovan, M. (2022). Modelling soil loss from surface erosion at high-resolution to better understand sources and drivers across land uses and catchments; a national-scale assessment of Aotearoa, New Zealand, *Environmental Modelling & Software. Journal ScienceDirect*. Volume 147. 105228. ISSN 1364-8152. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105228>.
- Efthimiou, N., Psomiadis, E., Papanikolaou, I., Soulis, K., Borrelli, P. & Panagos, P. (2022). A new high resolution object-oriented approach to define the spatiotemporal dynamics of the cover-management factor in soil erosion modelling, *Catena. Journal ScienceDirect*. Volume 213. ISSN 0341-8162. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106149>.
- Egusquiza, V. (2019). Determinación del riesgo de erosión hídrica en la cuenca alta del río Rímac durante el fenómeno El Niño 2016 – 2017. Universidad Continental.
- Estación meteorológica 841170 del Aeropuerto Eloy Alfaro de Manta, SEMT (Eloy Alfaro Int'l Airport, Manta), 2022. Climatología de Manta. *Tutiempo Network, S.L.* Disponible en <https://www.tutiempo.net/clima/ws-841170.html>
- European Environment Agency. (1994). Land resources - Contents. CORINE Land Resources, 124.
- FAO (2015) Carta Mundial de los Suelos revisada, Roma.
- Febles, D. y Vega, C. (2016). Estimación del aporte de la erosión hídrica al azolve del embalse Mampostón. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* [online]. 2016. Vol. XXXVII, no. 3, p. 18–30. Available from: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v37n3/riha02316.pdf>

- Ferran., A. (2007). Modelización de la erosión hídrica en los suelos. El enfoque de sistemas en las CTMA. Didáctica Ambiental S.L. ISSN: 1698-5893. <http://www.didacticaambiental.com/revista/numero6/Sistemas3.html>
- Giler, A., & Reyna, L. (2020). Erosivity estimation in Manabí province with the CORINE Erosion Method. February.
- Giler, A., Carrivick, J. y Smith, M. (2021). Uso de modelado hidráulico 2D junto con SfM y YouTube para estimar la descarga máxima. *Tecnología y Ciencias del Agua*. Vol. 12 Edición 3, p348-378. p31.
- Ibáñez, A., Moreno, H., & Gisbert, J. (2012). La Ecuación Universal De Pérdidas De Suelo. Universitat Politècnica de Valencia. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16849/AD%20USLE.pdf?sequence=1>
- INVEWEB. (2016). Investigación Explorativa. <https://inveweb.wordpress.com/2016/08/12/investigacion-explorativa/>
- Jaramillo, J. (2021). Diagnóstico de la erosión hídrica del suelo aplicando modelo U.S.L.E mediante herramientas SIG. *Polo del Conocimiento*, 6(4), 609-631. doi: <http://dx.doi.org/10.23857/pc.v6i4.2589>
- Keesstra, S., Mol, G., de Leeuw, J., Okx, j., Molenaar, C., de Cleen, M., Viser, S. (2018). Objetivos de desarrollo sostenible relacionados con el suelo: cuatro conceptos para que la neutralidad en la degradación de la tierra y la restauración funcionen *Tierra*, 7 (4), pág. 133
- Khallouf, A., Talukdar, S., Harsányi, E., Abdo, H. G., & Mohammed, S. (2021). Risk assessment of soil erosion by using CORINE model in the western part of Syrian Arab Republic. *Agriculture and Food Security*, 10(1), 1–15.
- Kothyari., UC. y Jain., SK. (1997). Estimación del rendimiento de sedimentos utilizando GIS. *Hydrol Sci J* 42 (6): 833–843
- Laflen, J., & Moldenhauer, D. (2003). Pioneering soil erosion prediction: the USLE story. World Association of Soil and Water Conservation. Special Publication N° 1.
- Mancilla, G. (2008). “Apuntes docentes: Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo en el campo forestal”. Facultad de ciencias forestales. Departamento de Silvicultura. Universidad de Chile.
- Maruffi., L, Stucchi., L, Casale., F, Bocchiola, D. (2022). Soil erosion and sediment transport under climate change for Mera River, in Italian Alps of Valchiavenna, *Science of The Total*

- Environment. Volume 806, Part 2, 2022SN 0048-9697. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721057296>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería – MAGAP. (2002). Zonas erosionadas en el Ecuador continental. Erosión Actual. Sistema Ambiental. Información 1:250.000 Actualización: 31/dic/2014. Secretaría Nacional de Planificación - Archivo de Información Geográfica. Disponible en: <https://sni.gob.ec/coberturas>
- Murillo, R. (2017). Amenaza de erosión hídrica del suelo en 10 cantones en la zona sur de la provincia de Manabí. *Revista Digital – UMSS (Documentación Digital de la Universidad Mayor de San Simón)*.
- Nearing, MA, Yin, SQ, Borrelli, P. y Polyakov, VO. (2017). Erosividad de la lluvia: una revisión histórica. *Catena*, 157, 357-362.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. (2017). Mapa digital de suelos del mundo - formato ESRI shapefile. <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=14116>
- Pascual, A., Sánchez, J., Vidal, C. (2003). Importancia de los estudios de erosión en la planificación de usos del suelo. Veinte años de estudios en la Comunidad Valenciana. *Edafología*. 10. 227-234.
- Sharpley, AN y Williams, JR (1990) EPIC Calculadora de impacto de erosión/productividad: 1. Documentación del modelo. Boletín Técnico del Departamento de Agricultura de los EE. UU. No. 1768, Imprenta del Gobierno de los EE. UU., Washington DC.
- UN Environment. (2019). Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People. *Cambridge University Press*. Pp. 745. Available from: <https://doi.org/10.1017/9781108627146>.
- Veiga de Cabo, J.; Fuente, E. & Zimmermann, M. (2008). *Modelos de estudios en investigación aplicada: conceptos y criterios para el diseño*. *Medicina y Seguridad del Trabajo*, 54(210), 81-88.
- Vinces, D. (2018). Impactos Ambientales de las descargas de aguas negras en el río Burro de la ciudad de Manta. Jipijapa, Manabí, Ecuador.
- Wischmeier, W. y Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. USA: Department of agricultura.

Zhicay, J. (2020). Caracterización morfométrica y estudio hidrológico de la microcuenca del río San Francisco, cantón Gualaceo. Universidad Politécnica Salesiana – Sede Cuenca. 1-120. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18364/1/UPS-CT008684.pdf>

ANEXOS

Anexo 1.

Cálculo del índice de Índice de Fournier Modificado.

Precipitaciones (mm) 10 años													SUMA. M5A	MEDIA. M5A
SUMA	697,13	810,15	542,15	214,30	91,93	4,06	8,12	0,00	0,00	3,05	0,25	102,28	2473,42	206,12
MEDIA.5A (Pi)	69,713	81,015	54,22	21,43	9,193	0,406	0,81	0	0	0,305	0,025	10,23	247,34	20,61
MIN.5A	2,79	26,30	7,60	7,00	4,30	1,52	0,25	0,00	0,00	0,51	0,25	0,76	51,28	4,27
MAX.5A	125,80	159,20	144,50	87,70	47,50	2,54	7,87	0,00	0,00	2,54	0,25	39,11	617,01	51,42

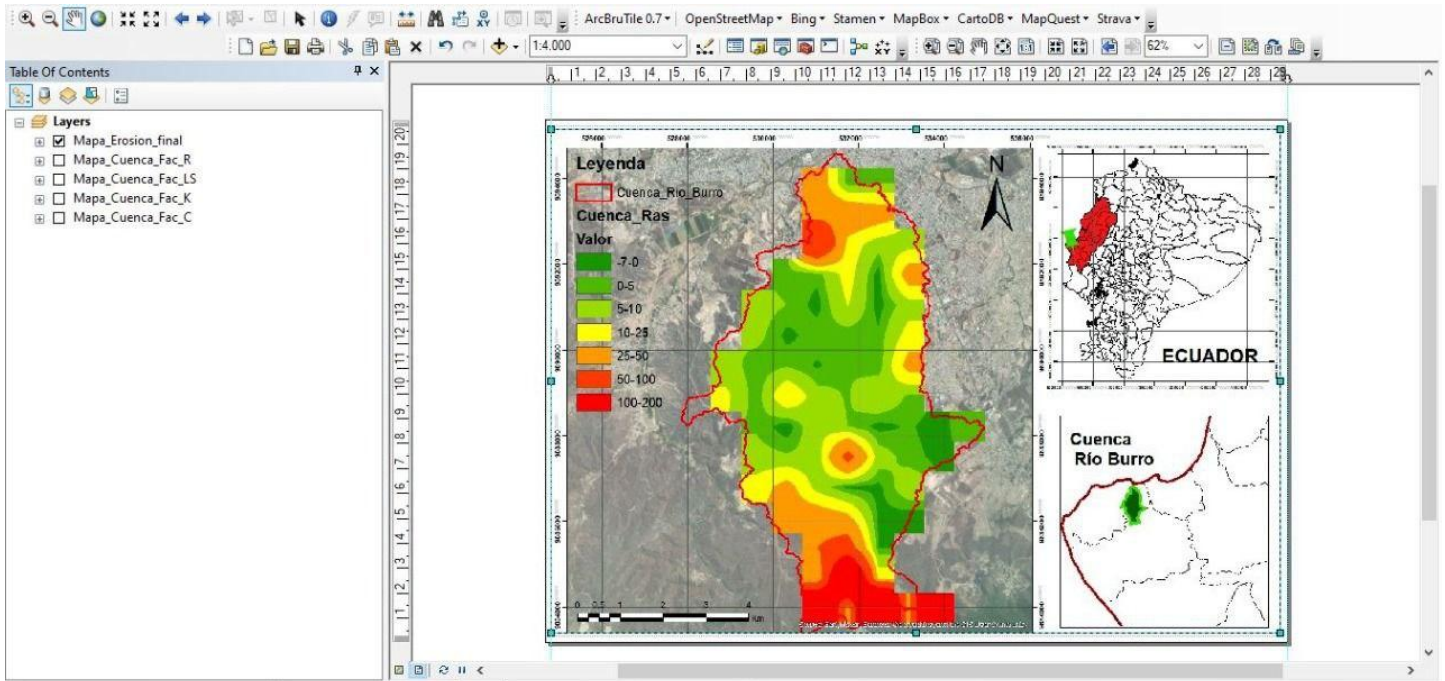
Anexo 2.

Cálculo del índice de Índice de Bagnouls-Gaussen.

Temperaturas (*C) 10 años													SUMA. M5A	MEDIA. M5A
SUMA	260,50	262,30	263,70	262,10	259,60	252,90	245,10	236,00	238,30	238,50	240,10	251,00	3010,10	250,84
MEDIA.5A(Ti)	52,1	52,46	52,74	52,42	51,92	50,58	49,02	47,2	47,66	47,70	48,02	50,2	602,02	50,17
MIN.5A	25,20	25,30	25,40	25,00	24,00	23,60	22,70	22,60	22,90	23,10	22,90	24,40	287,10	23,93
MAX.5A	26,80	27,20	26,90	26,90	26,80	26,80	27,30	24,70	25,50	25,30	25,50	26,80	316,50	26,38

Anexo 3.

Interfaz utilizada para USLE (ArcGis Versión 10.5)



Anexo 4.

Interfaz del Método Corine (Microsoft Excel)

