



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Estimación de la pérdida de suelo utilizando el modelo USLE y herramientas
SIG, en la microcuenca del río Puela, cantón Penipe.

**Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniera/o
Ambiental**

Autores:

Ramos Arboleda, Bryan Alexander
Sánchez Pullas, Estefanía Salomé

Tutor:

MgSc. Carla Fernanda Silva.

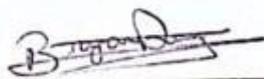
Riobamba, Ecuador. 2023

DERECHOS DE AUTORÍA

Nosotros, Bryan Alexander Ramos Arboleda con cédula de ciudadanía 180366274-9 y Estefanía Salomé Sánchez Pullas con cédula de ciudadanía 172555888-4, autores del trabajo de investigación titulado: “Estimación de la pérdida de suelo utilizando el modelo USLE y herramientas SIG, en la microcuenca del río Puela, cantón Penipe”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mi exclusiva responsabilidad.

Así mismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 13 de febrero del 2023



Bryan Alexander Ramos Arboleda

C.I: 180366274-9



Estefanía Salomé Sánchez Pullas

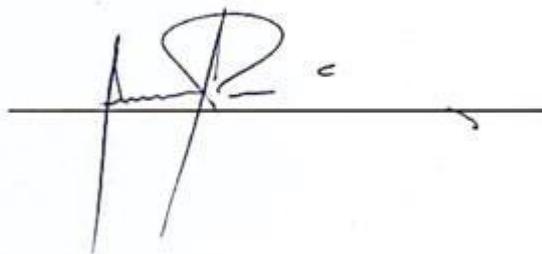
C.I: 172555888-4

DICTAMEN FAVORABLE DEL TUTOR Y MIEMBROS DE TRIBUNAL;

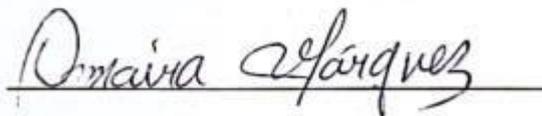
Quienes suscribimos, catedráticos designados Tutor y Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “Estimación de la pérdida de suelo utilizando el modelo USLE y herramientas SIG, en la microcuenca del río Puela, cantón Penipe” por Ramos Arboleda Bryan Alexander, con cédula de identidad número 180366274-9 y Sánchez Pullas Estefanía Salomé con cédula de identidad número 172555888-4, certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha asesorado durante el desarrollo, revisado y evaluado el trabajo de investigación escrito y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 13 de febrero del 2023

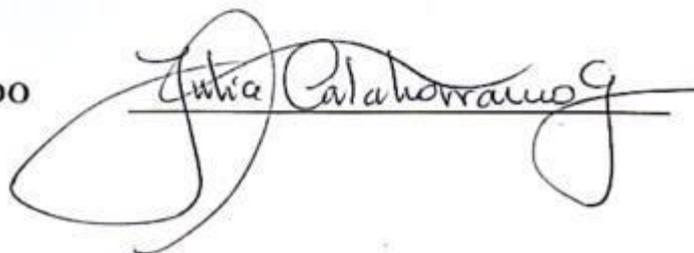
PhD Iván Ríos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

Handwritten signature of PhD Iván Ríos in black ink, written over a horizontal line.

PhD. Omaira Márquez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Handwritten signature of PhD. Omaira Márquez in black ink, written over a horizontal line.

PhD Julia Calahorrano
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Handwritten signature of PhD Julia Calahorrano in black ink, written over a horizontal line.

Mgs. Carla Silva
TUTOR

Handwritten signature of Mgs. Carla Silva in black ink, written over a horizontal line.

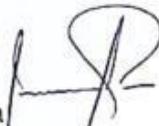
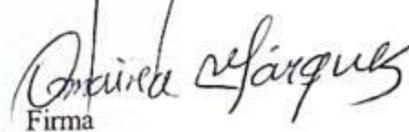
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación “Estimación de la pérdida de suelo utilizando el modelo USLE y herramientas SIG, en la microcuenca del río Puela, cantón Penipe”, presentado por Ramos Arboleda Bryan Alexander, con cédula de identidad número 180366274-9 y Sánchez Pullas Estefanía Salomé con cédula de identidad número 172555888-4, bajo la tutoría de Mg. Carla Fernanda Silva; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 13 de febrero del 2023

Presidente del Tribunal de Grado
PhD. Iván Ríos

Firma

Miembro del Tribunal de Grado
PhD. Omaira Márquez

Firma

Miembro del Tribunal de Grado
PhD. Julia Calahorrano

Firma



DEDICATORIA

De parte de Bryan Alexander Ramos Arboleda:

El presente trabajo de grado se lo dedico en primer lugar a mis padres Nely y Gonzalo, por haberme apoyado y creer en mi en todo este proceso del camino universitario con sus consejos, amor incondicional y por su gran ejemplo como buenos seres humanos, por ellos crecí como una buena persona, fuerte, responsable y llena de valores los cuales me ayudaron para salir adelante no solo en la universidad sino en la vida, los amo.

A mi hermana menor Kelly que es el motor de mi vida, gracias por ser mi fuerza para ser mejor cada día y por levantarme en cada caída con su carisma y cariño de hermana, a mi hermana Dayana por su apoyo y cariño de hermana ante días malos y buenos que ha estado conmigo, las amo.

A mis amigos que fueron parte importante en todo este proceso, gracias por el apoyo y por el cariño brindado durante todos estos años transcurridos en mi vida universitaria, los quiero.

De parte de Estefanía Salomé Sánchez Pullas:

El presente trabajo de grado se lo dedico a mis padres Katy e Iván, por haberme forjado como la persona que soy ahora, gracias por fomentar en mí deseos de superación y de triunfo, por sus valores inculcados, palabras de aliento, su gran esfuerzo y trabajo para que logre salir adelante, a mi hermano Adrián por su apoyo y por creer en mí en este proceso.

A mis queridos abuelitos Carmita y Luchito, quienes son mis segundos padres, por ser mi fuerza en momentos de decaimiento, por enseñarme a afrontar las adversidades de la vida, por ser ejemplo de amor, paciencia, adversidad, humildad, pero sobre todo por ser mi luz.

A Jean Pierre por ser mi confidente y mi voz de conciencia, gracias por creer en mí y ayudarme incluso en los momentos más difíciles, tu apoyo y motivación fueron realmente importantes para mí, gracias acompañarme en este camino.

Este triunfo les pertenece, los amo.

AGRADECIMIENTO

El presente proyecto investigativo realizado por Estefanía Salomé Sánchez Pullas y Bryan Alexander Ramos Arboleda queremos agradecer principalmente a Dios quien a ha guiado nuestro camino en nuestra carrera universitaria.

A nuestras familias por el esfuerzo y tiempo que nos han brindado, por el apoyo y fuerza en cada paso para llegar a nuestra meta final, sin ellos hubiera sido imposible llegar a este punto de culminación de nuestra carrera profesional.

Nuestros sinceros agradecimientos a la Mgs. Carla Silva por su guía, paciencia y por sus conocimientos compartidos que fueron de suma importancia en este proceso, a la Dra. Omayra Márquez por su asesoría y tiempo brindado, así también al Ing. Marco Rodríguez por guiarnos y acompañarnos en gran parte de este trabajo, y un agradecimiento especial a la Ing. Alexandra Oviedo por brindarnos su ayuda, conocimientos, asesoría y por ser parte de este proceso desde sus inicios hasta su fin.

A los amigos que se convirtieron en familia y siempre estuvieron en las buenas y en las malas, creando vínculos que perdurarán para siempre.

Por último, a la Universidad Nacional de Chimborazo por acogernos y permitirnos conocer a grandes personas y profesionales que nos han dado la mano en nuestro desarrollo personal y profesional.

ÍNDICE GENERAL;

1.	CAPÍTULO I.....	15
1.1	INTRODUCCION	15
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	17
1.3	JUSTIFICACIÓN	18
1.4	OBJETIVOS	19
	General	19
	Específicos.....	19
2.	CAPÍTULO II.....	20
2.1	MARCO TEÓRICO.....	20
2.1.1	Suelo	20
2.1.2	Composición del Suelo	20
2.1.3	Propiedades del Suelo.....	21
2.1.4	Erosión.....	21
2.1.5	ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE).....	23
2.1.6	MISIÓN ESPACIAL.....	24
3.	CAPÍTULO III	25
3.1	METODOLOGÍA	25
	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	25
	FASE 1: Análisis de las variables para el desarrollo del modelo USLE.....	25
	FASE 2: Determinar la erosionabilidad del suelo (K)	29
	FASE 3: Predicción de la erosión mediante la aplicación del modelo de la ecuación universal	37
4.	CAPÍTULO IV	38
4.1	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
	Factor R	38
	Factor LS	40
	Factor K.....	42
	Factor C	45
	Factor P.....	47

Factor A.....	48
5. CAPÍTULO V.....	50
5.1 CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES.....	50
Conclusiones.....	50
Recomendaciones.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52
ANEXOS.....	55
Anexo 1; Código Javascript en Google Earth Engine (GEE).....	55
Anexo 2: Mapa actual del Ministerio del Ambiente 2018.....	56
Anexo 3; Distribución de puntos de muestreo en las coberturas.....	57
Anexo 4; Recolección de Muestras y Secado.....	58
Anexo 5; Tamizado a 2 mm y pesado de 50 gr.....	60
Anexo 6; Proceso de fraccionamiento.....	61
Anexo 7; Guía de la FAO.....	63
Anexo 8; Proceso de Materia Orgánica.....	64

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Clasificación del Índice Fournier Modificado	26
Tabla 2: Niveles del Factor LS	28
Tabla 3: Valores de Cobertura y Uso de Suelo.....	29
Tabla 4: Subáreas de los tipos de Uso de Suelo.....	30
Tabla 5: Número de muestras	31
Tabla 6: Clasificación de tipos de Suelo.....	31
Tabla 7: Clases de tamaño para los tipos de estructura de suelo.....	33
Tabla 8: Resultados del Factor LS.....	41
Tabla 9: Rango de porcentajes de Textura.....	42
Tabla 10: Resultado Factor K.....	42
Tabla 11: Niveles de Erosión.....	48
Tabla 12: Resultados de Factor A.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Causa- efecto de interacciones de suelo	22
Figura 2: Ubicación de la microcuenca del río Puela	25
Figura 3: Tipos de estructura de suelo y su formación	33
Figura 4: Permeabilidad del suelo	35
Figura 5: Nomograma de Wischmeier y Smith para el cálculo del factor K	36
Figura 6: Erosividad de lluvia (R)	39
Figura 7: Erosividad Topográfica LS	41
Figura 8: Erodabilidad del suelo (K)	44
Figura 9: Cobertura Vegetal	45
Figura 10: Cobertura y Uso de Suelo (C)	46
Figura 11: Erodabilidad por Practicas de Conservación (P)	47
Figura 12: Erosión actual de la microcuenca del Río Puela (A)	49

ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1: Cálculo del índice modificado de Fournier-IMF	26
Ecuación 2: Factor R	26
Ecuación 3: Longitud de la pendiente.....	27
Ecuación 4: Constante para la obtención de la Longitud de la pendiente	27
Ecuación 5: Factor F.....	28
Ecuación 6: Ecuación para determinar el tamaño de la muestra	30
Ecuación 7: Materia Orgánica	36
Ecuación 8: USLE	37

RESUMEN

El presente trabajo estima la pérdida de uso de suelo mediante la aplicación del modelo USLE, en el área de la microcuenca del río Puela, por medio de herramientas SIG; la metodología relaciona factores de erosividad de lluvia (R), longitud y grado de la pendiente (LS), erosionabilidad del suelo (K), cobertura vegetal (C) y manejo de suelo (P).

Mediante la clasificación supervisada de usos de suelo (factor C), resultaron 5 clases de cobertura, consecutivamente para el factor K se realizó salidas de campo para el reconocimiento de la zona y recolección de muestras, en la cual se analizó in situ la textura y posteriormente se trabajó en laboratorio con procedimientos para materia orgánica y estructura, la extracción de datos de precipitación para el factor R se desarrolló mediante la misión GPM y el procesamiento de datos, así como el de los factores P y LS se utilizó el software ArcGIS, lo que permitió generar mapas interpretativos de cada factor, en donde se representa la erosión de cada uno, finalmente se estableció la relación de los aplicando la fórmula general ($A=R*K*L*S*C*P$).

La aplicación del modelo permitió demostrar que existen procesos erosivos leves en la mayor parte del área de la microcuenca, el rango moderado esta presente en la zona noroeste de Puela y El Altar, en donde existen asentamientos humanos y actividades económico-productivas, así también el rango fuerte se centra en la parte noroeste y en las faldas de los volcanes Tungurahua y Altar debido al desgaste por procesos naturales del suelo.

Palabras claves: Erosión, Pérdida de uso de suelo, USLE, Estimación, Modelo, Factores, Procesos erosivos

ABSTRACT

The present work estimated the loss of soil through the application of the USLE model, in the area of the Puela river micro-watershed, through GIS tools; the methodology relates factors of rain erosivity (R), length and grade of the slope (LS), soil erodibility (K), vegetation cover (C) and soil management (P). Through the supervised classification of land uses (factor C), 5 cover classes obtained, consecutively for factor K, field trips made to recognize the area and collect samples, in which the texture and texture, analyzed in situ. Subsequently, work was carried out in the laboratory with procedures for organic matter and structure, the extraction of precipitation data for the R factor was carried out through the GPM mission and data processing, as well as that of the P and LS factors, the ArcGIS software used. which allowed generating interpretive maps of each factor, where the erosion of each one is represented, finally the relationship of the factors established by applying the general formula ($A=R*K*L*S*C*P$). The application of the model allowed us to demonstrate that there are slight erosive processes in most of the area of the micro-basin, the moderate range is present in the northwest area of Puela and El Altar, where there are human settlements and economic-productive activities, as well as the strong range centered in the northwestern part and on the slopes of the Tungurahua and Altar volcanoes due to wear by natural soil processes.

Keywords: Erosion, Loss of land use, USLE, Estimation, Model, Factors, Erosive processes



Revisado por:
MARITZA DE LOURDES
CHAVEZ AGUAGALLO

Reviewed by:
Mgs. Maritza Chávez Aguagallo
ENGLISH PROFESSOR
c.c. 0602232324

1. CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCION.

El suelo es considerado como un elemento de vital importancia para el planeta y para la existencia de los seres vivos, valorado como un recurso sumamente importante ya que su remplazo no es sencillo, es sometido cada vez más a procesos de erosión con el pasar de los años (Torres, 2018), está sujeto a un sin número de cambios a causa de procesos naturales como: físicos, químicos, biológicos, geológicos, geomorfológicos, climáticos e hidrológicos, en la actualidad la presión que se ejerce en este elemento es de gran interés debido a los diversos usos que el hombre le otorga a este recurso (López, 2012).

Actualmente según datos de la (FAO, 2015) la erosión en el suelo relacionada con la productividad comprende el 0.3% de pérdida media anual, en ese sentido, para el 2050 la pérdida de rendimiento del recurso será equivalente a la eliminación de 150 millones ha de producción de cultivos o 4,5 millones ha año⁻¹.

(Hinojosa, 2019) menciona que la región Interandina del Ecuador consta de sistemas ecológicos y distintos tipos de ecosistemas, por esta razón, la sierra es rica en recursos naturales, que se han visto afectados por la erosión, ya sea por acción natural o antrópica.

Los fenómenos climáticos, precipitación y viento son los factores que más influyen en la erosión, siendo el agua el factor más impetuoso debido a que en el país durante nueve meses actúa con gran magnitud y por otro lado, el viento es el factor de origen, durante los tres siguientes meses (Hinojosa, 2019).

El ser humano cumple un papel importante en los procesos erosivos debido a que hacen uso de este recurso en diversas formas como actividades económico – productivas, produciendo cambio de uso de suelo, cambios de cobertura vegetal, entre otros, dando como consecuencia degradación y erosión (Hinojosa, 2019).

La microcuenca del río Puela se caracteriza por presentar suelos con un alto contenido de nutrientes y minerales, debido al aporte de materiales parentales volcánicos (PDOT PENIPE, 2016), en la actualidad la microcuenca ha presentado problemas de erosión a causa del avance de la frontera agrícola y pecuaria, quema de pajonales y deslizamientos a causa de la inclinación de sus pendientes ligado a las actividades antrópicas (PDOT MATUS, 2015), en ese sentido se le otorga un enfoque para considerar el inicio de investigaciones por la erosión y degradación del suelo a través del tiempo, mediante la utilización del modelo empírico USLE (Ecuación

Universal de Pérdida de Suelo) que es uno de los métodos más comunes para realizar estudios de erosión en cualquier tipo de área, con sus respectivos factores interpretativos , con la ayuda de herramientas del Sistema de Información Geográfica (SIG) y el software ArcGIS para la obtención de los factores (R) erosividad por precipitación, (K) erodabilidad del suelo, (P) prácticas de conservación y (LS) relación longitud, inclinación y forma de la pendiente, así como también el uso y procesamiento de imágenes satelitales (Teledetección) en base a la combinación de bandas espectrales para la adquisición de información, que dará como resultado el factor (C) uso y manejo del suelo, para llegar a la ecuación $A= R*K*P*C*LS$, aplicado en la microcuenca del río Puela, Cantón Penipe (Delgado, 2020).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Ecuador el 25% de los suelos de la región sierra se encuentran en procesos de erosión así como el 15% en la costa, en ese contexto los distintos factores influyentes en la erosión generan pérdidas económicas por mala aplicación de técnicas de labranza o la carencia de tecnologías de conservación como: siembra de monocultivos, laboreo excesivo, riego por gravedad o inundaciones, uso de fertilizantes, plaguicidas, insecticidas, etc. teniendo como resultando pérdida de uso de suelo y degradación (Jaramillo, 2015)

El área de la microcuenca del río Puela se encuentra dentro de las extensiones territoriales de las parroquias Puela, El Altar, Matus, Penipe y La Candelaria, pertenecientes a la Provincia de Chimborazo; Baños de Agua Santa, Río Verde pertenecientes a la provincia de Tungurahua y Cumandá de la provincia de Morona Santiago.

La zona de estudio presenta una topografía irregular debido a que se encuentra ubicada en las Cordilleras Central y Occidental de los Andes (PDOT PUELA, 2012), el riesgo de erosión de acuerdo a la inclinación de la pendiente de la microcuenca presenta un porcentaje de 36.70% de erosión severa debido a que posee pendientes escarpadas y esta es inutilizable para actividades agrícolas, sin embargo, se puede utilizar para sistemas silvopastoriles y plantaciones forestales, el 20.09% de erosión combinada por pendientes muy escarpadas considerando que el uso recomendado se liga a bosques para la conservación del suelo dado que existe peligro de deslizamientos y el 19.03% de erosión laminar debido a pendientes irregulares y ondulares moderadas ya que son perfectas para cultivo con obras de conservación, terrazas de formación lenta para hortalizas, tubérculos, granos, etc. (PDOT PENIPE, 2016).

1.3 JUSTIFICACIÓN

A nivel mundial la humanidad afronta grandes obstáculos con respecto al tema de conservación de recursos naturales, en los últimos años los índices de degradación se hallan comprendidos en 2 000 millones ha de suelo deteriorado de manera irreversible, de las cuales 1 500 millones ha se hallan actualmente en uso (Gaitán, Tenti, *et al.*, 2017). Hoy en día la erosión se produce a un ritmo constante y consistente, influenciado por elementos del entorno biofísico como: el clima, terreno, cubierta vegetal y las interacciones entre ellos (Bera, 2017).

El presente proyecto investigativo se halla dentro del contexto de la utilización del modelo empírico USLE conjuntamente con el procesamiento e interpretación de imágenes satelitales (teledetección), para determinar el estado de la cobertura vegetal, mediante la clasificación supervisada 2020, así también el uso de la misión GPM (Global Precipitation Measurement Mission), mediante el análisis de Monthly Global Precipitation Measurement (GPM) v6, a través de un código Javascript procesado en Google Earth Engine con el fin de obtener datos de precipitación en la zona de estudio, este modelo permite determinar la ubicación, delimitación y datos del área para su respectivo análisis, con el fin de adquirir información con respecto a la pérdida de suelo plasmado cartográficamente con la ayuda del software ArcGIS.

El análisis interpretativo de la microcuenca del Río Puela es primordial en el establecimiento de información de la situación actual del uso, extensión y pérdida del recurso, de modo que no ha sido objeto de estudios e investigaciones previas como un ente independiente, por consiguiente, es preciso su análisis con el fin de establecer el inicio de un estudio prospectivo de la microcuenca del río Puela.

1.4 OBJETIVOS

General

Estimar la pérdida de suelo utilizando el modelo USLE y herramientas SIG, en la microcuenca del río Puela, cantón Penipe.

Específicos

Analizar las variables para el desarrollo del modelo USLE, erosividad de la lluvia(R), Longitud y grado de la pendiente (LS), cobertura y manejo del suelo (C) y prácticas de conservación (P), mediante el uso de SIG.

Determinar la erosionabilidad del suelo (K) mediante análisis de laboratorio para estimar su textura, estructura, permeabilidad y materia orgánica.

Predecir la erosión mediante la aplicación del modelo de la ecuación universal de pérdida de suelo, mediante el uso de sistemas de información geográfica.

2. CAPÍTULO II.

2.1 MARCO TEÓRICO.

2.1.1 Suelo

El suelo es la capa superficial de la tierra siendo el soporte natural para la producción alimenticia y materias primas (Burbano, 2016), También se encuentra definido como un recurso natural finito no renovable, el cual otorga a los ecosistemas diversos servicios como los ciclos biogeoquímicos de elementos como carbono, nitrógeno, fósforo, etc. En ese sentido, es un medio poroso trifásico (sólido, líquido y gaseoso) que brinda almacenamiento y transporte de fluidos como el agua y el aire (Dorner & Dec, 2007).

(INIA Tacuarembó, 2015) menciona al suelo como un recurso extendido en superficie y profundidad; consta de varias capas llamadas horizontes, aproximadamente paralelas a la superficie, en donde, cada horizonte posee distintas propiedades físicas y químicas, en ese sentido al conjunto de horizontes de un suelo se denomina perfil.

Horizonte A: capa superior, más oscura y fértil. Es la capa arable del suelo.

Horizonte B: capa más arcillosa, menos fértil.

Horizonte C: capa más profunda.

2.1.2 Composición del Suelo

Según (INIA Tacuarembó, 2015) el suelo se halla constituido por cuatro de componentes:

a) Materia mineral: es el componente más abundante del recurso, se encuentra conformada por partículas que van desde pequeñas piedras hasta arcilla, las que se encuentran agrupadas en tres fracciones:

1. Arena: de 2 a 0.05 mm.
2. Limo: de 0.05 a 0.002 mm.
3. Arcilla: menor a 0.002 mm.

b) Materia orgánica: es la incorporación de restos animales y vegetales, se encuentra vinculada directamente con la fertilidad del suelo ya que en ella los microorganismos juegan un papel importante en la liberación de nutrientes.

c) Agua.

d) Aire.

2.1.3 Propiedades del Suelo

Estructura

La estructura del suelo es la organización natural de las partículas tanto primarias como la arena, limo y arcilla, como secundarias como agregados o unidad estructural también llamados peds resultantes de procesos pedogenéticos(FAO, 2009).

Textura

La textura está determinada por la materia mineral presente en el suelo, en donde dependiendo su composición se hallan suelos arenosos, arcillosos y francos, estos últimos también llamados de texturas medias se caracterizan por el equilibrio entre las tres fracciones arena, limo y arcilla que poseen, mismos que generan una armonía entre sus propiedades físicas y fertilidad (INIA Tacuarembó, 2015).

2.1.4 Erosión

Se define como el proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de partículas del suelo, en su defecto se lo considera como el desgaste de superficie terrestre gracias a las acciones del agua, aire, procesos gravitacionales y la influencia antrópica que disminuye la productividad de los suelos y a su vez alteran la composición mineral y orgánica (Gaitán *et al.*, 2017).

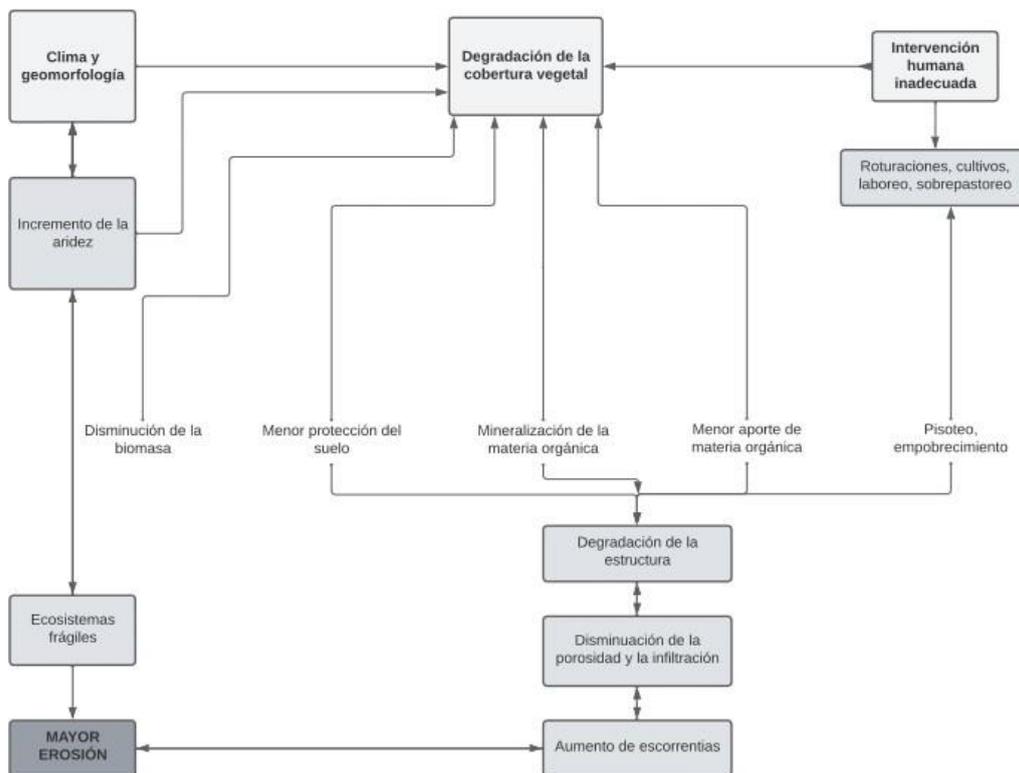


Figura 1: Causa- efecto de interacciones de suelo

Elaboración: Autores

Fuente: (López & Romero, 1998)

Tipos de Erosión

Natural

Erosión Hídrica

Se considera como un proceso progresivo que influye al recurso suelo en toda la superficie terrestre; la variación en cantidad, intensidad y distribución de las precipitaciones aceleran o reducen el proceso erosivo, gracias a la influencia de principalmente el cambio climático, derivado de gases de efecto invernadero (GEI) infiriendo directamente en el calentamiento global (Echavarría *et al.*, 2018).

Erosión Eólica

Este tipo de erosión se la define según como un proceso irreversible de degradación del suelo, que genera cambios en la textura, reduce el espesor del suelo, los contenidos de nutrientes y la materia orgánica edáfica (Rojas *et al.*, 2013).

Antrópica

Hace referencia al mal uso y práctica deficiente por parte del hombre, como las prácticas agrícolas mal desarrolladas, sobrepastoreo, nivelación de tierra, cambios de uso de suelo y extracción o sobreexplotación de la vegetación natural (FAO, 2019).

2.1.5 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE)

(Barral *et al.*, 2019) menciona que la ecuación USLE representa una de las metodologías más viables en la estimación de erosión potencial de suelos, la cual acoge la formulación y análisis de factores como:

- (A) Pérdida anual de suelo.
- (R) Erosividad.
- (K) Erodabilidad.
- (L) Longitud.
- (S) Ángulo de inclinación de las pendientes.
- (C) Cubierta vegetal.
- (P) Medidas de conservación de suelos.

El cálculo, interpretación y análisis en combinación de los factores expuestos. hace posible la estimación de la erosión en el recurso suelo (Barral *et al.*, 2019).

Factor de erosividad de la lluvia (R)

Representa la erosión que puede generar la precipitación. Esta se determina mediante el cálculo en base a la energía cinética que produce la lluvia, ya que es la causante de desagregar el suelo en partículas individuales que serán arrastradas por la escorrentía (Ibañez *et al.*, 2012).

Factor de Erodabilidad del suelo (K)

Este factor representa la susceptibilidad de la superficie terrestre que por causa de la erosión genera pérdida de este, para saber estas pérdidas de suelo mediante cálculos se necesitan datos válidos de las características edáficas del área de estudio, como, textura, estructura, permeabilidad, estabilidad de agregados, pedregosidad superficial, etc (Ibañez *et al.*, 2012).

Factor Topográfico (LS)

Se basa en el efecto combinado de la relación de la longitud de la pendiente (Factor L) y su ángulo de inclinación (Factor S) sobre el área en donde se están estimando las pérdidas de suelo (Ibañez *et al.*, 2012).

Factor de Vegetación (C)

Representa el poder de las plantas para tener una efectividad como cubierta protectora del suelo frente a la caída de las gotas de lluvia y su fuerza del flujo superficial.

Su valor se obtiene por la relación que existe entre las pérdidas de suelo anuales en una parcela con una determinada cubierta vegetal y las pérdidas de esa parcela en una condición de barbecho continuo y actividad agrícola según la máxima pendiente (Ibañez *et al.*, 2012).

Para este factor es necesario conocer las practicas agronómicas de cultivos que se tenga en el área ya que el grado de protección que ejerce la cobertura vegetativa puede variar a lo largo del año, por la función del ciclo vegetativo y las actividades agrícolas (Ibañez *et al.*, 2012).

Factor de Practicas de Conservación (P)

Este factor representa el control de la erosión que es conseguida por la ejecución de diferentes medidas de conservación (Ibañez *et al.*, 2012).

2.1.6 MISIÓN ESPACIAL

Global Precipitation Measurement (GPM)

Es una misión Satelital internacional las cuales están a cargo la asociación de la NASA y la Agencia de Japón (Exploración Aeroespacial JAXA), esta se basa en mediciones pasivas y activas para la medición de las propiedades de la precipitación, ocupando radares/ radiómetros (NASA, 2022).

Radares activos

Uno de ellos ocupados es el radar de precipitación de doble frecuencia (DPR) de GPM, estos se encargan de transmitir y recibir señales que se verán reflejadas en el radar, la reflectividad de radar es la señal que regresa al radar después de haberla transmitido, la cual dota del tamaño de la medida de la cantidad de gotas de lluvia o nieve en varias capas verticales de las nubes (NASA, 2022).

Radiómetros pasivos

El GPM Microwave Imager (GMI), su funcionamiento consiste en medir la radiación térmica natural o también llamada Temperatura de brillo del área en donde se esté observando, incluye la lluvia, nieve, nubes y la superficie de la tierra (NASA, 2022).

3. CAPÍTULO III.

3.1 METODOLOGÍA.

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente análisis investigativo se realizó en la microcuenca del río Puela que comparte su territorio con tres provincias que son Chimborazo, Tungurahua y Morona Santiago Ilustración (2), cuenta con un área total de 22 902,552 ha. y un perímetro de 73,157 km. Está ubicada entre las coordenadas latitudinal y longitudinal de $85^{\circ} 41' 52.2528''$ N y $77^{\circ} 16' 35.7820''$ E respectivamente.

Elaborado por: Autores

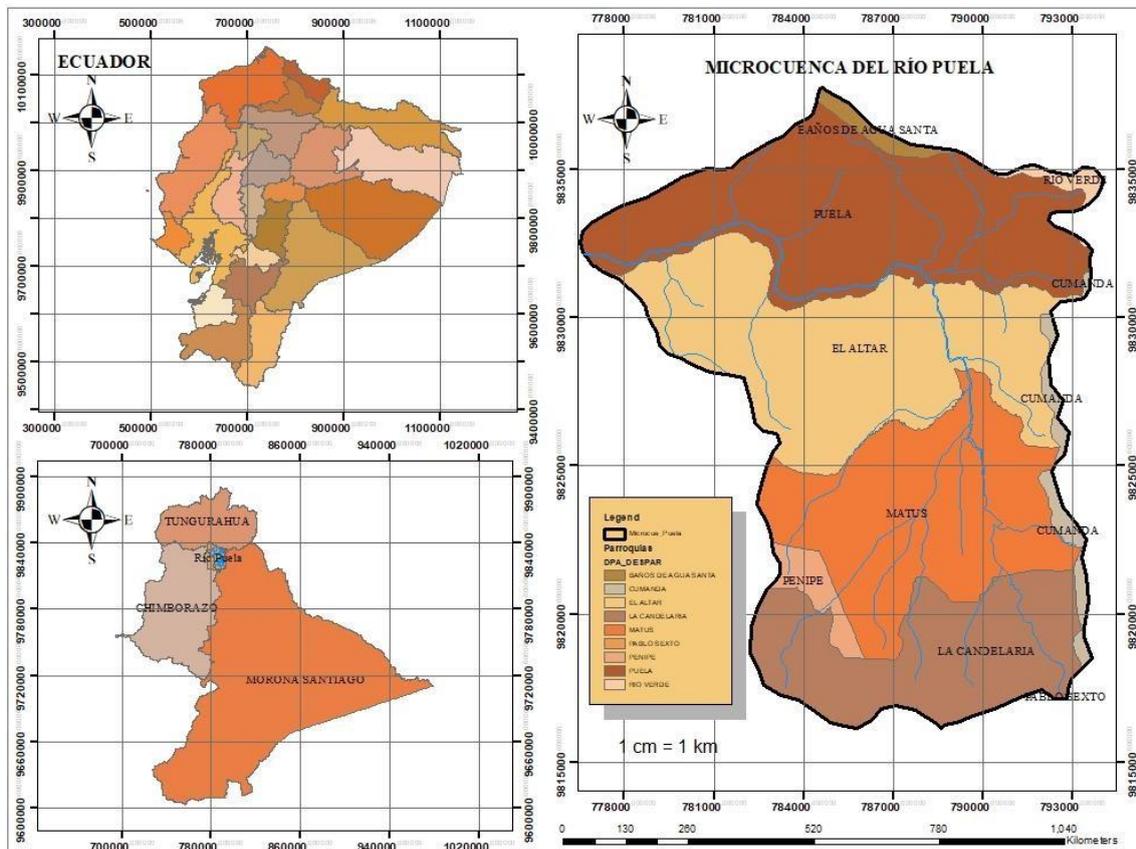


Figura 2: Ubicación de la microcuenca del río Puela

Fuente: Autores

FASE 1: Análisis de las variables para el desarrollo del modelo USLE

Para el desarrollo del modelo USLE se analizaron las variables, erosividad de lluvia (R), la longitud e inclinación de la pendiente (LS), cobertura vegetal (C) y prácticas de conservación (P) detallados a continuación:

Factor de erosividad de lluvia (R)

Para este caso de estudio se trabajó con Datos GPM con el análisis de Monthly Global Precipitation Measurement (GPM) v6, este proceso se generó mediante un código (ver anexo 1) llamado Javascript en Google Earth Engine (GEE), de esta manera se obtuvo los datos pluviométricos mensuales del año 2020.

El cálculo del índice modificado de Fournier-IMF se obtuvo en base a la ecuación (1), se tomó en cuenta la precipitación de todos los meses del año 2020 (Guzmán, 2021).

Ecuación 1: Cálculo del índice modificado de Fournier-IMF

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_t}$$

Fuente: (Benayas, 2019)

P_i= precipitación para cada mes medido en mm

P_t= precipitación media anual (suma de las superficies generadas por el Kriging de todos los meses)

Posterior a la obtención del ráster IMF del año 2020, se procedió al cálculo del promedio, con la finalidad de obtener un solo ráster para determinar el factor R por medio de la ecuación (2) (Ramírez *et al.*, 2007).

Ecuación 2: Factor R

$$R = \sum_{1}^{12} 38.4 \times IMF + 28,3$$

Fuente: (Ramírez *et al.*, 2007)

Con la ayuda de las herramientas spatial analyst tools – interpolation - spline se procesó los datos obtenidos por el cálculo de las ecuaciones (1) y (2) para la elaboración del mapa temático.

Para la descripción del mapa temático de erosividad de la lluvia se basó en la siguiente tabla (1) de Índice de Fournier Modificado:

Tabla 1: Clasificación del Índice Fournier Modificado

IFM	Agresividad climática
0 – 60	Muy Baja

60 – 90	Baja
90 – 120	Moderado
120 – 160	Alta
>160	Muy Alta

Fuente: (Olivares *et al.*, 2013)

Factor de erosividad topográfica (LS)

Factor L

La longitud de la pendiente (L) de la microcuenca del río Puela se calculó con la ayuda de la ecuación (3), por medio del uso del software ArcGIS, con las respectivas herramientas para la obtención del factor (Guzmán, 2021).

Ecuación 3: Longitud de la pendiente

$$L_{(l,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - (A_{(i,j)})^{m+1}}{x^m * D^{m+2} * (22.13)^m}$$

Fuente: (Schürz *et al.*, 2020)

Donde:

L= Longitud de la pendiente

A= Acumulación del flujo nivel de píxel

D= Lado del píxel

x= Coeficiente de forma, que, para sistemas pixelados, x es igual a 1

m= Constante, que se obtiene a partir de la expresión ecuación (4)

Ecuación 4: Constante para la obtención de la Longitud de la pendiente

$$m = \frac{F}{(1 + F)}$$

Fuente: (Guzmán, 2021)

El factor F se obtuvo mediante la expresión en función de la pendiente a nivel de píxel (β) ecuación (5), con las herramientas del software ArcGIS, a través de Tin, Tin to ráster y Fill para rellenar datos en espacios vacíos, Slope para determinar beta y finalmente ráster calculator para establecer F (Guzmán, 2021).

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

Fuente: (Guzmán, 2021)

Factor S

La inclinación de la pendiente (S) de la microcuenca del río Puela se analizó mediante las expresiones propuestas por McCools que se encuentran en función de la pendiente a nivel del píxel (β) (Guzmán, 2021).

Cuando $\tan \beta_{(i,j)} < 0.09$ entonces, S igual a: $10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0.03$

Cuando $\tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09$ entonces, S igual a: $16.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0.5$

Y este factor se obtuvo con una herramienta específica del ArcGIS llamada raster calculator, ocupando el dato de beta que se encuentra en grados, mismo que fue calculado en el factor L y este valor debe estar expresado en radianes por lo que en la expresión se lo multiplicó por 0.01745 (Guzmán, 2021).

Factor LS

Este factor se basa en la multiplicación de las resultantes, es decir del ráster L y S generados en el ArcGIS por medio de la herramienta raster calculator (Guzmán, 2021).

Tabla 2: Niveles del Factor LS

<i>Factor LS</i>	<i>Categorización</i>
< 15	Bajo
15 - 30	Moderado
30 - 45	Alto
> 45	Muy Alto

Fuente: (Zambrano & Estupiñan, 2021)

Factor C

La imagen satelital ocupada se obtuvo del portal de Servicio Geológico de EE. UU. (USGS) tipo “Sentinel-2A, TCI-10m” del 2022, usándola en falso color en el software de ArcMap para su correcta fotointerpretación, el área de estudio se clasificó en cinco usos y cobertura de suelo, se estableció puntos de control para diferenciar cada tipo de categoría mediante el método de “Máxima Verosimilitud” con la que se obtuvo la clasificación supervisada (Manzanilla, 2020).

Los valores estimados usados para la realización del mapa del factor C se presentan en la tabla (3):

Tabla 3: Valores de Cobertura y Uso de Suelo

Cobertura	Factor C
Bosque nativo	0,010
Páramo	0,04
Sin cobertura	1
Vegetación Arbustiva	0,030
Zona Agropecuaria	0,65

Fuente: (Lianes *et al.*, 2009)

Factor P

De acuerdo con información bibliográfica del Plan de Ordenamiento Territorial de Penipe, entrevista al técnico de dirección de servicios y ambiente del GAD de Penipe, técnicos del MAG no existe prácticas de conservación del suelo, es por ello por lo que se asumió valor 1 para la microcuenca del río Puela.

FASE 2: Determinar la erosionabilidad del suelo (K)

El cálculo del factor K es un proceso, en donde se tomó en cuenta la fase de campo, la fase de laboratorio y el procesamiento de datos.

Fase campo

La determinación del área de muestreo requirió del establecimiento de las coberturas actuales de uso y cobertura de suelo de la microcuenca del río Puela, para lo cual se analizó el mapa actual del Ministerio del Ambiente 2018, en donde el área total está comprendida por las siguientes coberturas: Área sin Cobertura Vegetal, Bosque Nativo, Glaciar, Natural, Páramo, Plantación forestal, Zona Agropecuaria, Vegetación Arbustiva y Vegetación Herbácea.

El mapa temático (figura 7) realizado en el factor C determinó las zonas más representativas del área, en base a la extensión e importancia de cada cobertura: Bosque Nativo, Zona Agropecuaria, Páramo, Sin Cobertura y Vegetación Arbustiva, como se muestra en la tabla (4) y posteriormente para la recolección de las muestras se aplicó un muestreo aleatorio compuesto a una profundidad de 30 cm (ver anexo 4). estableciendo los puntos de muestreo distribuidos en las coberturas previamente (ver anexo 3).

Tabla 4: Subáreas de los tipos de Uso de Suelo

<i>Tipo de Uso de Suelo</i>	<i>Área (ha.)</i>
<i>Bosque Nativo</i>	6489.744645
<i>Zona Agropecuaria</i>	2146.859576
<i>Páramo</i>	7266.481552
<i>Vegetación Arbustiva</i>	4908.05045
<i>Sin Cobertura</i>	2089.65873

Fuente: Autores

Número de muestras

Para el cálculo del número de muestras a analizar en la fase de campo se utilizó la ecuación 6:

Ecuación 6: Ecuación para determinar el tamaño de la muestra

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

Fuente: (Mendoza & Espinoza, 2017)

Donde:

n= número de muestras

N= Total de la población

Z α = 1,282 (nivel de confianza 80%)

p= Proporción esperada (0.5)

q= 1-p

d= precisión (20%)

En el desarrollo de la fórmula se estableció el número de muestras para cada cobertura, determinado en la tabla 4:

Bosque Nativo

$$n = \frac{6489.744645 * (1.282)^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{0.2^2 * (6489.744645 - 1) + (1.282)^2 * 0.5 * (1 - 0.5)} = 10.26 \approx 10 \quad (8)$$

Zona Agropecuaria

$$n = \frac{2146.859576 * (1.282)^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{0.2^2 * (2146.859576 - 1) + (1.282)^2 * 0.5 * (1 - 0.5)} = 10.23 \approx 10 \quad (9)$$

Páramo

$$n = \frac{7266.481552 * (1.282)^2 * 0.5 * (1 - 0.5)}{0.2^2 * (7266.481552 - 1) + (1.282)^2 * 0.5 * (1 - 0.5)} = 10.26 \approx 10 \quad (10)$$

Vegetación Arbustiva

$$n = \frac{4908.05045 * (1.282)^2 * 0.05 * (1 - 0.05)}{0.2^2 * (4908.05045 - 1) + (1.282)^2 * 0.05 * (1 - 0.05)} = 10.25 \approx 10 \quad (11)$$

Sin Cobertura

$$n = \frac{2089.65873 * (1.282)^2 * 0.05 * (1 - 0.05)}{0.2^2 * (2089.65873 - 1) + (1.282)^2 * 0.05 * (1 - 0.05)} = 10.23 \approx 10 \quad (12)$$

Tabla 5: Número de muestras

<i>Tipo de Uso de Suelo</i>	<i>N° de muestras</i>
<i>Bosque Nativo</i>	10
<i>Zona Agropecuaria</i>	10
<i>Páramo</i>	10
<i>Vegetación Arbustiva</i>	10

Fuente: Autores

Estructura de suelo

Se la midió directamente en el campo clasificándola según su agregado y su tipo de estructura de suelo (FAO, 2009). Primero se determinó la forma según la tabla (6) y la figura (3).

Tabla 6: Clasificación de tipos de Suelo

<i>Clasificación de tipos de Suelo</i>	
<i>Blocosa (bloques)</i>	Bloques o poliedros, casi equidimensionales, con superficies planas o ligeramente redondeadas que son moldes de caras de los agregados vecinos. Se recomienda la subdivisión en angular, con caras intersectando a ángulos relativamente agudos y bloques subangulares con las caras intersectando a ángulos redondeados.

<i>Granular</i>	Esferoides o poliedros, que tienen superficies curvilíneas o irregulares que no son moldes de las caras de los agregados vecinos.
<i>Laminar</i>	Planos con dimensiones verticales limitadas; generalmente orientados sobre un plano horizontal y usualmente sobrepuestos.
<i>Prismática</i>	Las dimensiones están limitadas en el plano horizontal y extendido a lo largo del plano vertical; las caras verticales están bien definidas; tienen superficies planas o ligeramente redondeadas que son moldes de las caras de los agregados circundantes. Las caras intersectan normalmente a los ángulos relativamente agudos. Las estructuras prismáticas que tienen una cubierta o casquete redondeado son distinguidas como Columnar.
<i>Estructura rocosa</i>	La estructura rocosa incluye la estratificación fina en sedimentos no consolidados y pseudomorfo de minerales intemperizados reteniendo sus posiciones relativas cada una y los minerales no intemperizados en saprolita de rocas consolidadas.
<i>Forma de cuña</i>	Lentes unidos, elípticos que terminan en ángulos afilados, confinados por caras de fricción; no limitado a materiales vérticos.
<i>Migajas, conglomerados y terrones</i>	Creado principalmente por alteración artificial; por ejemplo: la labranza.

Fuente: (FAO, 2009)

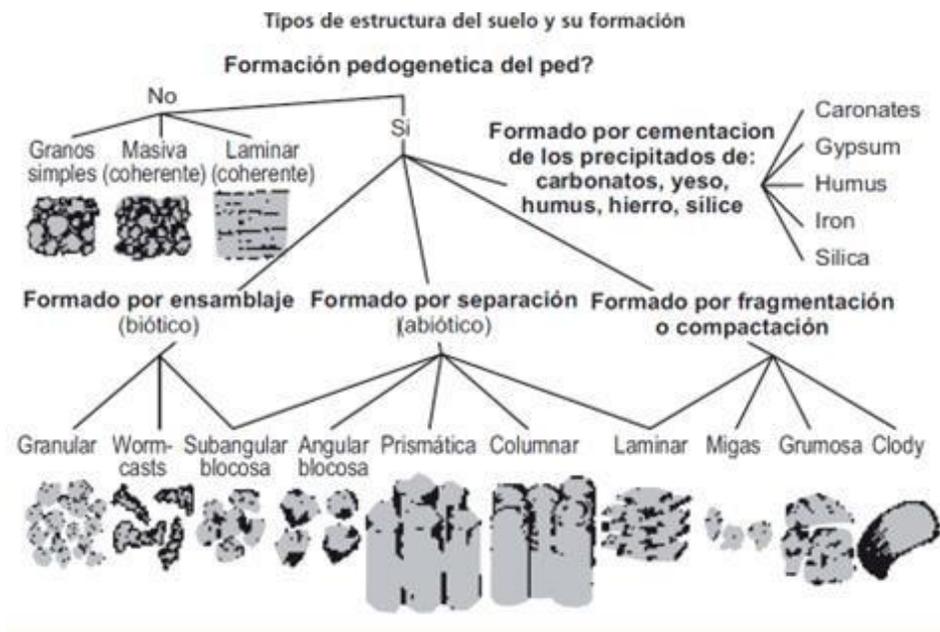


Figura 3: Tipos de estructura de suelo y su formación

Fuente: (FAO, 2009)

También se determinó el tamaño de la estructura siguiendo la tabla 7:

Tabla 7: Clases de tamaño para los tipos de estructura de suelo

		Granular/ Laminar	Prismática/columnar/ forma de caña	Blocosa/ terrones/ desmenuzable/grumos
		(mm)	(mm)	(mm)
<i>VF</i>	<i>Muy fino/delgado</i>	< 1	< 10	< 5
<i>FI</i>	<i>Fino/delgado</i>	1–2	10–20	5–10
<i>ME</i>	<i>Medio</i>	2–5	20–50	10–20
<i>CO</i>	<i>Grueso/espeso</i>	5–10	50–100	20–50
<i>VC</i>	<i>Muy grueso/espeso</i>	> 10	100–500	> 50
<i>EC</i>	<i>Extremadamente grueso</i>	--	> 500	--

Fuente: (FAO, 2009)

Fase de Laboratorio

Una vez obtenidas las muestras del suelo, se las llevó al laboratorio, para dar una mejor homogenización, para su análisis.

Textura del suelo

Para este apartado se realizó la investigación de los parámetros de calidad.

Masa de suelo a analizar

Después de la tamizada a 0.2 mm de las muestras (ver anexo 5) se tomó una masa de 50g para analizar la textura y se pesó 50g de cada suelo previamente seco y tamizado a 250 μ m y 75 μ m. (Ticona, 2019).

Solución dispersante

Se preparó una solución al 5% de Hexametáfosfato de sodio (NaPO_3)₆, se pesó 5g de dispersante, diluido en 100 ml de agua destilada dejándolo en primera instancia durante 30 min en el agitador para obtener una mezcla homogénea y posteriormente se colocó la solución en un balón de 1000 ml aforado con agua destilada.

Luego de pesar la muestra de suelo en un vaso de precipitación, se aplicó 100 ml de (NaPO_3)₆ diluido al 5%, en donde, se realizó una mezcla con una varilla para así llevarla al agitador durante toda la noche y al día siguiente se determinó el tamaño de las diferentes arenas, mediante un tamizado para cuantificar las arenas finas, muy finas y arcilla-limo se procedió a separar las cantidades correspondientes mediante los tamices de 250 μ m y 75 μ m, obteniendo así tres fracciones (ver anexo 6) (Ticona, 2019).

Estas tres fracciones obtenidas en el tamizado se las llevó a un proceso de secado en una estufa a temperatura de 105 °C durante tres días para poder cuantificar y obtener los porcentajes de cada sedimento de cada muestra de suelo.

Por otro lado, se ejecutó un segundo proceso para la determinación de la textura del suelo a través del análisis de la guía de la FAO (ver anexo 7) (FAO, 2022).

Realizando así los siguientes ensayos de campo:

- Prueba de lanzamiento de bola
- Prueba de compresión de bola

Clasificación de la textura del suelo de fina a gruesa:

- Prueba de la bola de barro

Determinación más exacta de la textura de suelo:

- Prueba de sacudimiento de la bola
- Prueba de desmenuzamiento en seco
- Prueba de manipulación
- Prueba de sacudimiento: como diferenciar la arcilla de limo

Permeabilidad

La permeabilidad se determinó usando este triángulo (figura 4) que utiliza la textura para generar la permeabilidad.

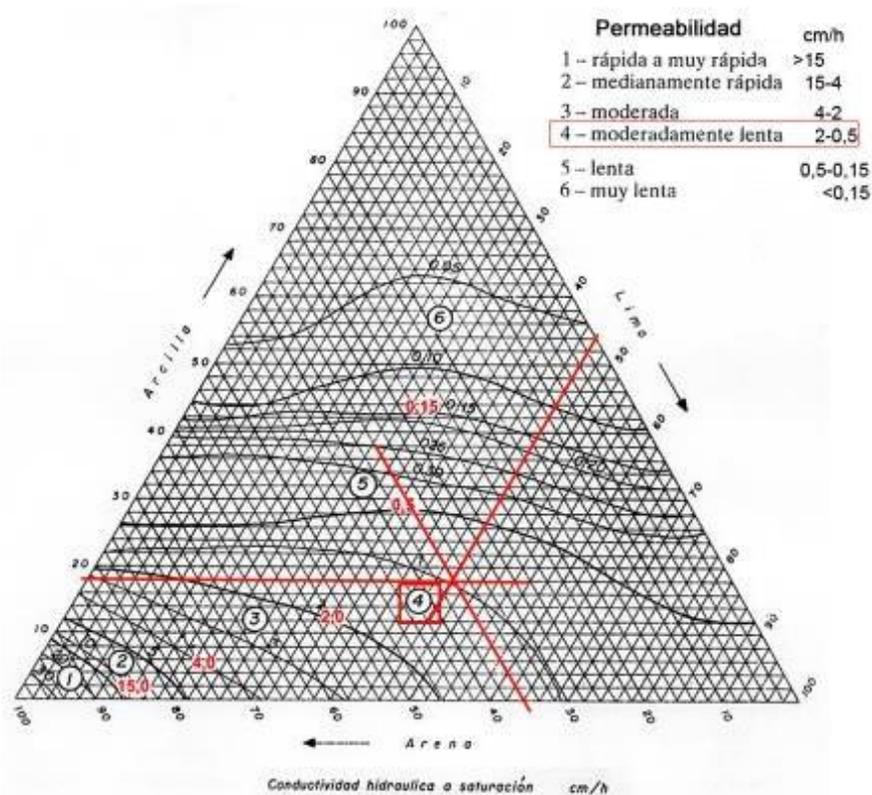


Figura 4: Permeabilidad del suelo

Fuente: (Castillo & Gonzáles, 2016)

Materia Orgánica

Una de las variables para llegar a la obtención del factor K, es el análisis y cuantificación del porcentaje de la materia orgánica (Piscitelli *et al.*, 2010), en ese sentido se procedió de la siguiente manera:

Para la cuantificación de carbono por LOI (calcinación) se utilizó el método expuesto en (Eyherabide & Barbieri, 2014) (ver anexo 8):

- Se pesó 5 g de muestra de suelo en crisoles.

- b) Se colocó en estufa durante 24 h a 105 °C.
- c) Se enfrió las muestras en un desecador y se pesó.
- d) Luego se colocó durante 4 h en una mufla a 500 °C.
- e) Posteriormente se transfirió a un desecador y luego de enfriarse se registró el peso nuevamente.

El cálculo de MO se realizó por diferencia de peso en las distintas temperaturas, según la fórmula expuesta en (Eyherabide & Barbieri, 2014):

Ecuación 7: Materia Orgánica

$$\%MO = \frac{(\text{peso } 105\text{ }^{\circ}\text{C} - \text{peso } 500\text{ }^{\circ}\text{C})}{\text{peso } 105\text{ }^{\circ}\text{C}} * 100$$

El cálculo del factor de erosividad del suelo (K) se estableció con la figura 5, en donde toma en cuenta la textura, estructura, permeabilidad y el contenido de materia orgánica los cuales se obtuvieron en la fase de laboratorio.

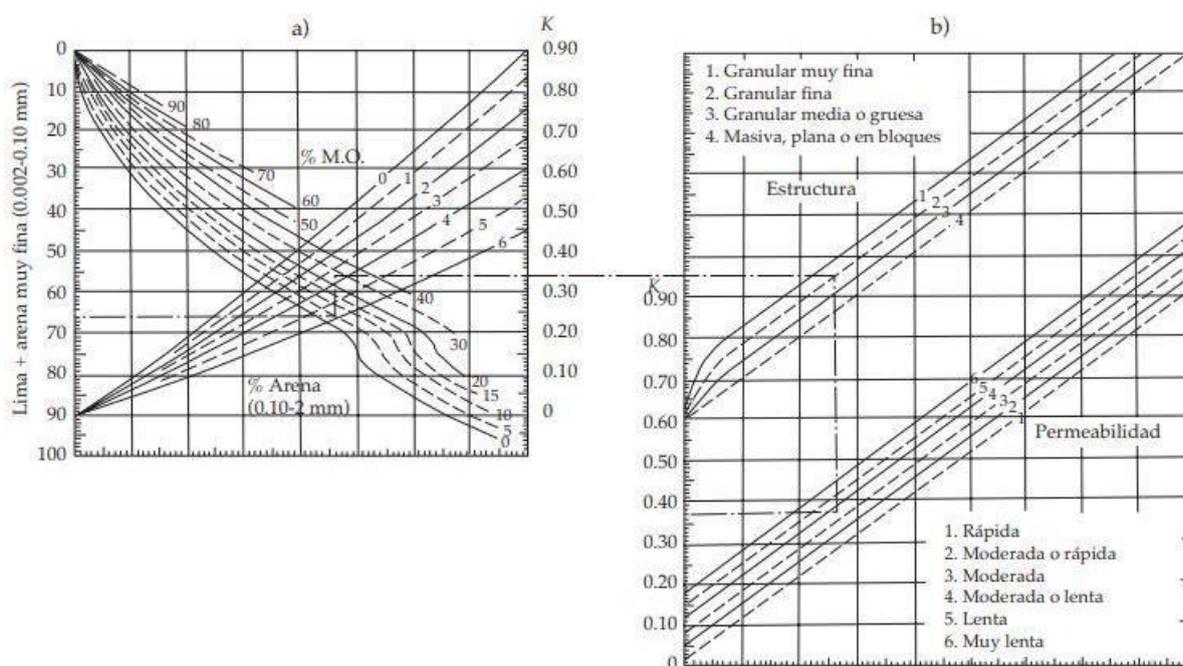


Figura 5: Nomograma de Wischmeier y Smith para el cálculo del factor K

Fuente: (Montes *et al.*, 2011)

El mapa resultante de erosividad se lo obtuvo mediante el procesamiento de los datos finales extraídos de la tabla (10) y procesados en una hoja de cálculo (Excel) para cada punto de

muestreo de cada cobertura de uso de suelo, con el fin de obtener un Factor K general, como base se utilizó el mapa realizado en el factor C (clasificación supervisada – Cobertura Vegetal) a través del software ArcGIS mediante las herramientas Conversion Tools, To Raster, Polygon to Raster.

FASE 3: Predicción de la erosión mediante la aplicación del modelo de la ecuación universal

Se desarrolló un mapa en donde se cuantificó la pérdida de la superficie terrestre causada por la erosión, usando la ecuación 7 USLE.

Ecuación 8: USLE

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

Fuente: (Gutiérrez *et al.*, 2021)

A= Pérdida de suelo (tn/ha*año).

R= Factor de erosividad de la lluvia (MJ * mm/ha*año).

K= Factor erosionabilidad del suelo (t·m²·hora·ha⁻¹·J⁻¹·cm⁻¹)

L= Factor de longitud de la pendiente del terreno.

S= Factor de la inclinación de la pendiente del terreno.

C= Factor cobertura vegetal.

P= Factor prácticas de conservación.

4. CAPÍTULO IV.

4.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Factor R

El factor de erosividad de la lluvia en la microcuenca del río Puela obtenido a través del Índice de Fournier Modificado (IMF), se obtuvo valores moderados y altos de precipitación para el año 2020 considerados entre 104.038 – 128.265 mm/año en el área total del estudio, sin embargo en la zona oriental (parte baja) existe mayor predominancia de precipitación a comparación de la zona occidental (parte alta), la erosividad pluvial va influenciar en toda la microcuenca, más en la parte alta, ya que es en donde existe agresividad climática causada por la precipitación.

Esta información se compara para su validez con el PDOT otorgado por el (GAD Penipe, 2019) en el cual demuestra que en la parte de las zonas bajas ubicadas en los centros parroquiales de Puela y el Altar, presentan una precipitación media anual de 500 a 750 mm y en las zonas altas de las comunidades de la Candelaria (Pungal de Puela, Utuñag, Matus, Tarau y Releche) de la microcuenca, el rango oscila de 1750 a 2500 mm quedando demostrado en el presente trabajo investigativo que en la parte alta es en donde existe mayor precipitación.

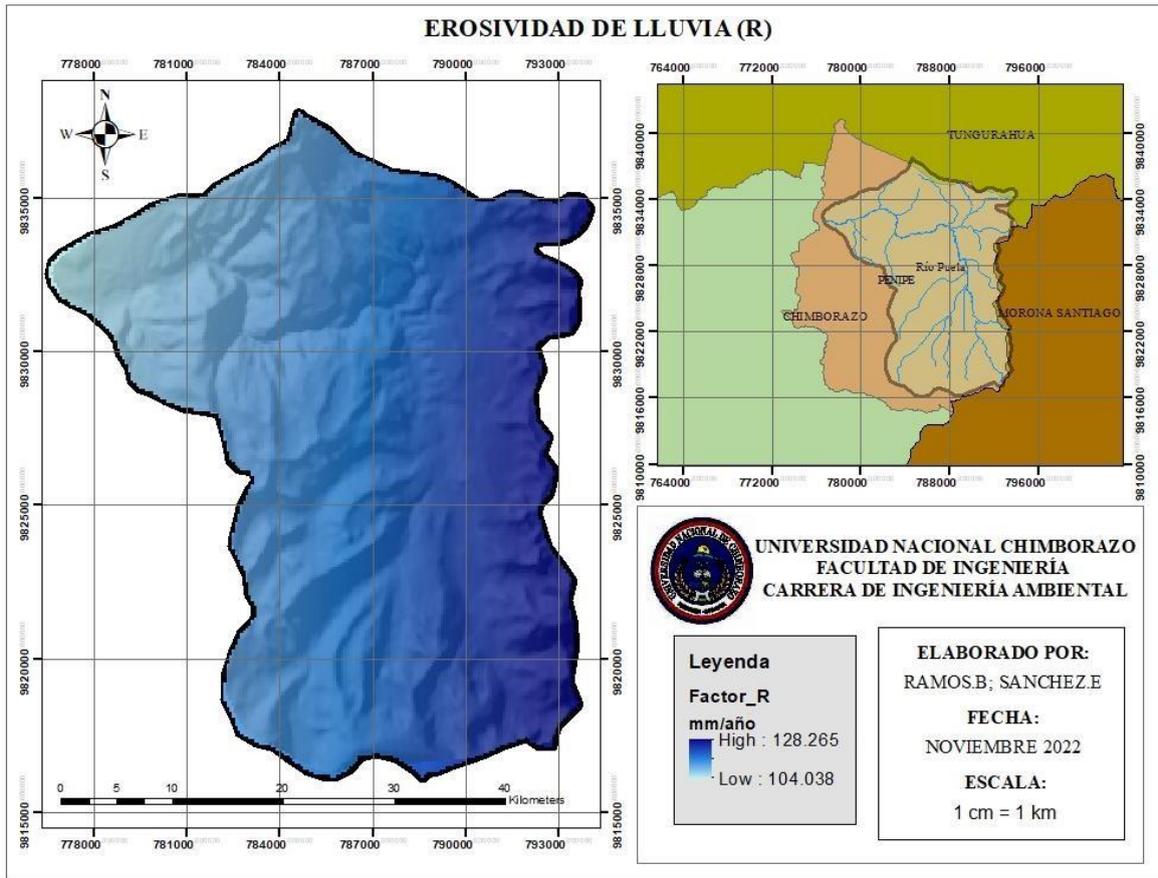


Figura 6: Erosividad de lluvia (R)

Fuente: Autores

Factor LS

El mapa resultante del factor LS (Figura 7), es la relación que existe entre los rasters de los factores independientes L y S, es decir, toma en cuenta la degradación del suelo en función a la longitud e inclinación de la pendiente del terreno, en ese sentido la microcuenca del río Puela presenta valores de erosividad topográfica con un máximo de 111.63 y un mínimo de 0.32

Los resultados (tabla 8) establecen que los valores < 15 erosividad baja ocupan el 27.12% del área, localizadas al este de la microcuenca en las parroquias de Puela, El Altar, Matus, La Candelaria.

El rango 15 – 30 erosión moderada representa el 29.45%, la erosión alta en el rango 30 – 45 y la muy alta > 45 ocupa áreas de 28.45% y 14.99% respectivamente ubicadas al occidente del área de estudio.

Estos resultados comparados con el estudio realizado por (Brito & Gonzales, 2022), en donde estima que las zonas con pendientes con porcentajes >150% - 200% son altas, es decir, abruptas y muy escarpadas que se encuentran al norte y sur de la microcuenca, en las zonas de Puela y la Candelaria.

La comparación realizada determina que la erosión por longitud e inclinación de pendiente se encuentra en la zona alta de la microcuenca específicamente en las parroquias Puela, El, Altar, Penipe y Candelaria.

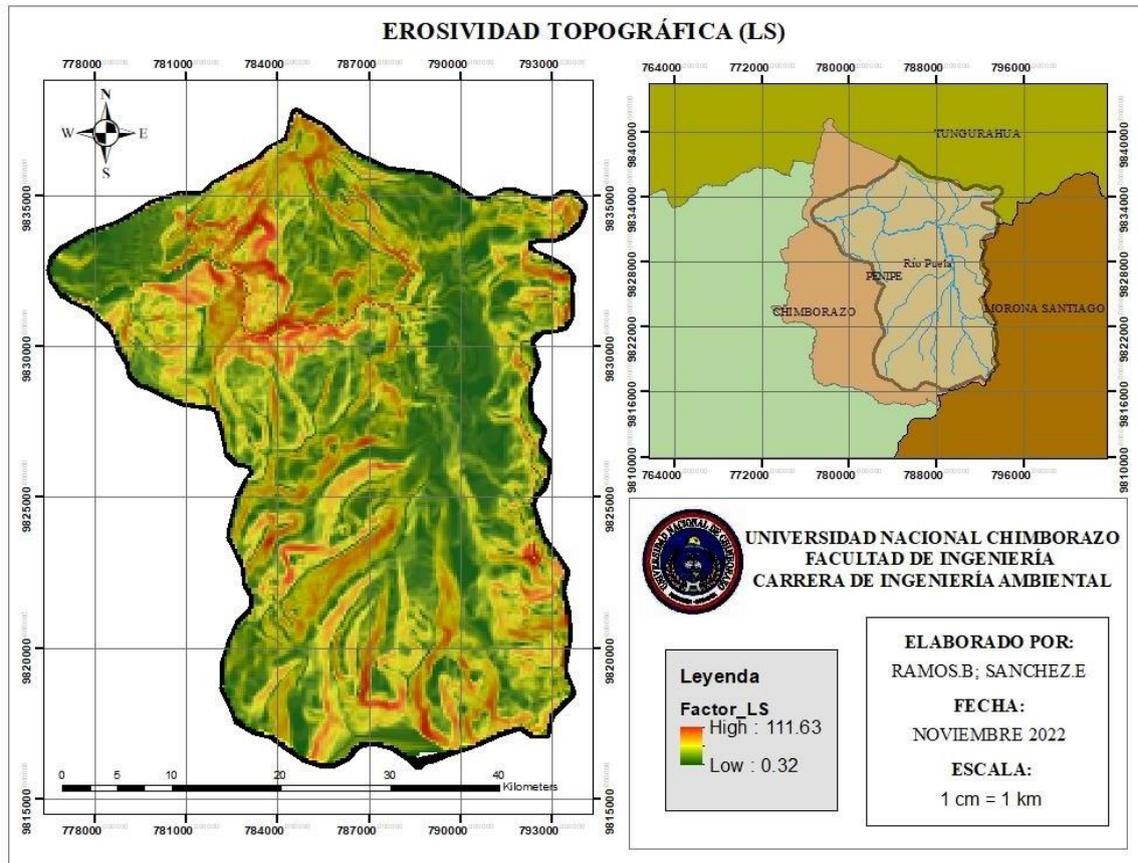


Figura 7: Erosividad Topográfica LS

Fuente: Autores

Tabla 8: Resultados del Factor LS

<i>Factor LS</i>	<i>Categorización</i>	<i>Área (ha.)</i>	<i>%</i>
<i>Bajo</i>	< 15	6209.98	27.12%
<i>Moderado</i>	15 – 30	6745.90	29.45%
<i>Alto</i>	30 – 45	6514.59	28.44%
<i>Muy Alto</i>	> 45	3432.08	14.99%
TOTAL		22902.55	100%

Fuente: Autores

Factor K

Tabla 9: Rango de porcentajes de Textura

CLASES DE TEXTURAS	RANGOS	TIPOS
Gruesa	>50% Arena	Franco Arenoso
	<50% Arcilla	Arenoso Franco Franco Limoso
Media	<40% Arcilla	Franco
	<50% Arena	Franco Arenoso Arcilloso Franco Arcilloso Limoso
		Franco Arcilloso
Fina	>60% Limo	Franco Limoso

Fuente: (Fertilab, 2022)

Tabla 10: Resultado Factor K

N°	Cobertura de Uso de Suelo	Orden	Estructura	Textura Superficial	Permeabilidad	Materia Orgánica (%)	ha	K
1	Páramo	Andosol	Granular muy fina	Franco Limoso	3	Alto 15.4	7266.481 (31.73%)	0.36
2	Bosque Nativo	Andosol	Granular fina	Franco Arenoso	2	Alto 12.5	6489.744 (28.34%)	0.42
3	Zona Agropecuaria	Andosol	Granular muy fina	Franco arenoso arcilloso	3	Bajo 2.3	2146.859 (9.37%)	0.63
4	Sin Cobertura	Andosol	Granular fina	Franco arenoso	2	Bajo 2.1	2089.658 (9.13%)	0.63
5	Vegetación Arbustiva	Andosol	Granular fina	Franco arenoso arcilloso	3	Medio 3.916	4908.050 (21.43%)	0.53
TOTAL							22 902.552 (100%)	

Fuente: Autores

La erodabilidad del suelo (figura 8) presenta valores de K entre 0.36 - 0.63, en el cual la mayor parte de la microcuenca 31,73% es ocupada por el páramo con un valor K de 0.36 definido como una textura fina, es un suelo con alto contenido de limo y poca arena (franco

limoso); este tipo de suelos tienen buena capacidad de retención hídrica y de nutrientes (Fertilab, 2022), tienen un alto contenido de materia orgánica el cual se valida con el trabajo realizado en laboratorio.

La zona agropecuaria presenta un área de 9.37% con valor K de 0.63, sus suelos están formados por 40% de arcilla y < 50% de arenas (franco arenoso arcilloso), tiene textura media debido a sus condiciones ideales para la producción agropecuaria, por su buen almacenamiento de nutrientes y agua (Fertilab, 2022).

Vegetación arbustiva posee un área de 21.43% y valor K de 0.53, con rango de 40% de arcilla y < 50% de arenas (franco arenoso arcilloso), su clase de textura es media siendo ideal para actividades agrícolas (Fertilab, 2022).

El área de 28.34% comprende la cobertura de bosque nativo, tiene valor K de 0.42 por su poco contenido de arcilla <20% y por tener arenas >50% (franco arenoso), contemplado así, como textura gruesa, con cantidades de materia orgánica alta (Fertilab, 2022).

Sin cobertura ocupa un área de 9.13%, un valor K de 0.63, el cual contiene >50% de arenas y < 20% de arcillas (franco arenoso), tiene una capacidad limitada de retención de agua y nutrientes por su porosidad (Fertilab, 2022).

El análisis realizado determina que va a existir mayor pérdida en suelos de textura media y fina (zona agropecuaria, vegetación arbustiva) basado en los datos de estructura, textura, permeabilidad y cantidad de materia orgánica que se obtuvieron mediante las fases de laboratorio y campo.

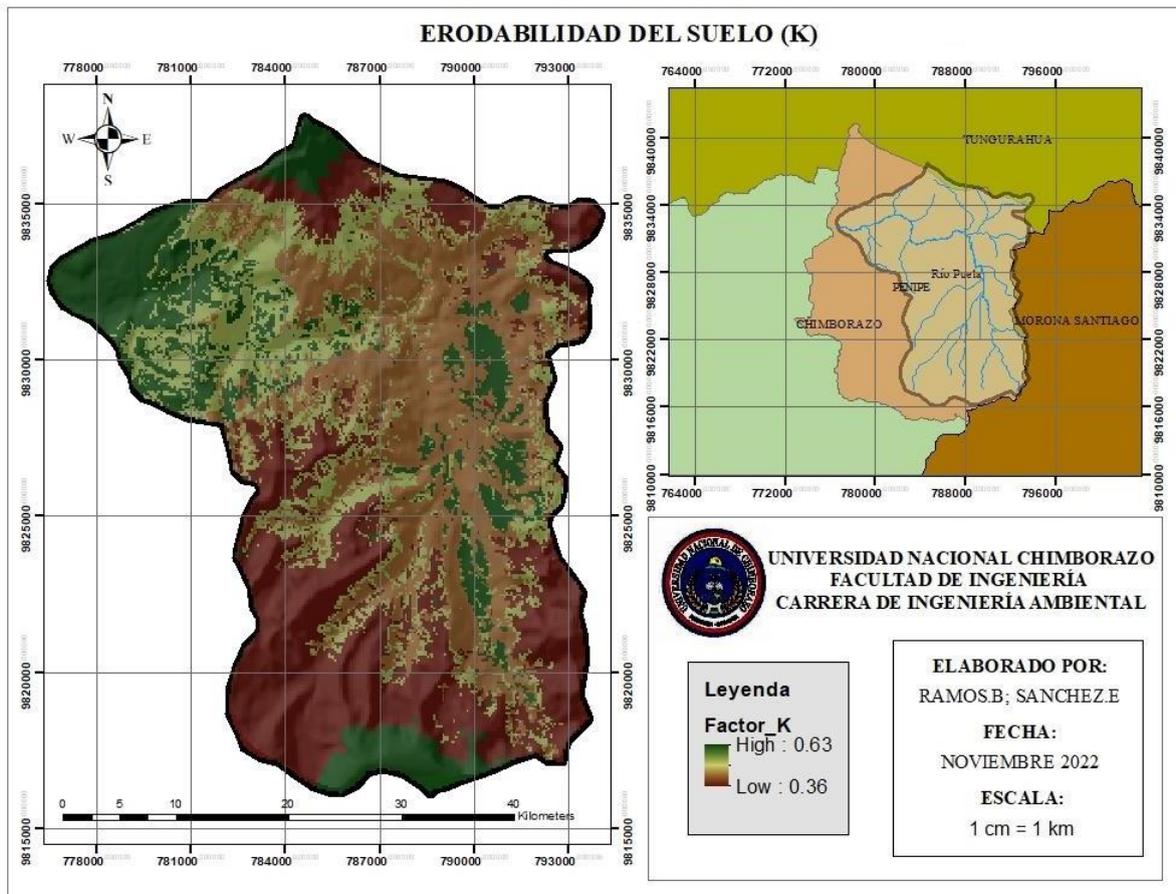


Figura 8: Erodabilidad del suelo (K)

Fuente: Autores

Factor C

Clasificación supervisada

En la (figura 9) se muestra el mapa temático con sus 5 tipos de cobertura vegetal consideradas para el presente estudio.

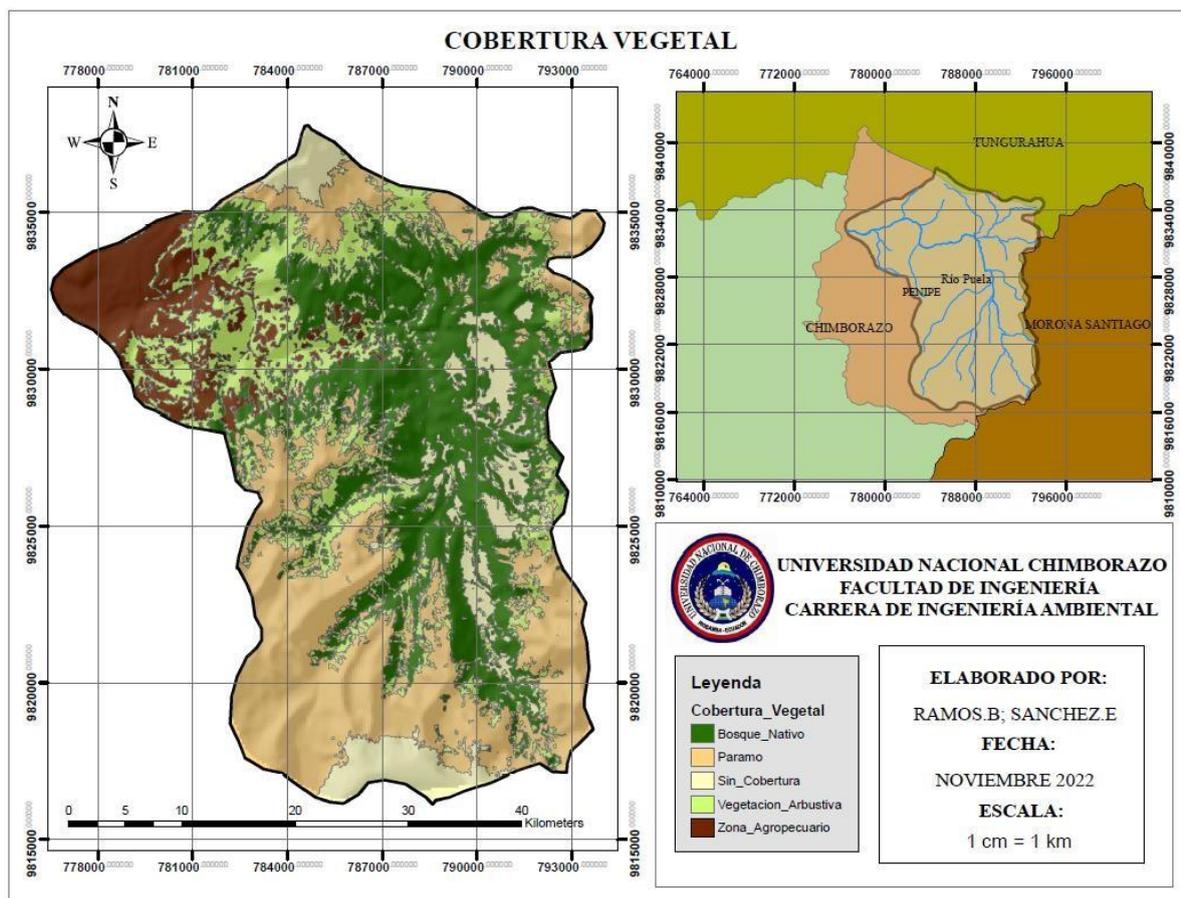


Figura 9: Cobertura Vegetal

Fuente: Autores

La erosión por cobertura y uso de suelo determina que la microcuenca es vulnerable a procesos erosivos, ya que en varias zonas de las diferentes parroquias practican actividades agropecuarias (monocultivos, labranza en pendientes, malas prácticas agrícolas y ganadería) como Puela y el Altar ubicadas al noroeste en la parte alta, en donde no existe suficiente vegetación, esto provoca que factores como el viento (arrastre de suelo) y la precipitación (escorrentía superficial) generen pérdida de suelo, el presente análisis investigativo se puede comparar con la información otorgada por el PDOT (2019 – 2023) del GAD de Penipe, en donde la clasificación de cobertura y uso de suelo es similar, para así sustentar los resultados obtenidos en esta investigación.

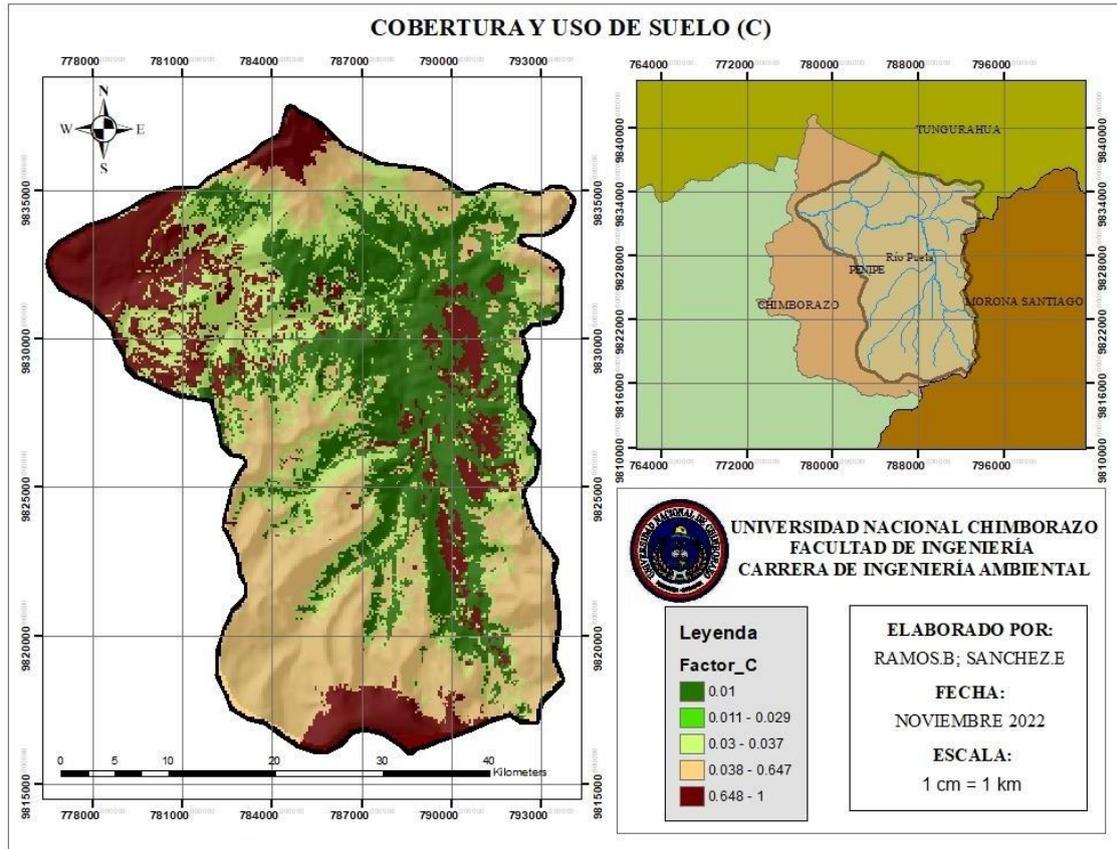


Figura 10: Cobertura y Uso de Suelo (C)

Fuente: Autores

Factor P

En base al trabajo de campo como entrevista al técnico de la dirección de servicios y ambiente del GAD de Penipe, técnicos del MAG y análisis bibliográfico PDOT (2019 – 2023) de Penipe se pudo determinar que no existen prácticas de conservación y se utilizó el valor de 1 para toda el área de la microcuenca, debido a que existe la presencia de prácticas de cultivo sin ningún tipo de método ni conocimiento de protección y conservación del recurso suelo, pudiéndose presenciar monocultivos, labranza en pendientes, desviación de fuentes hídricas naturales para favorecer cultivos, ganadería, etc.

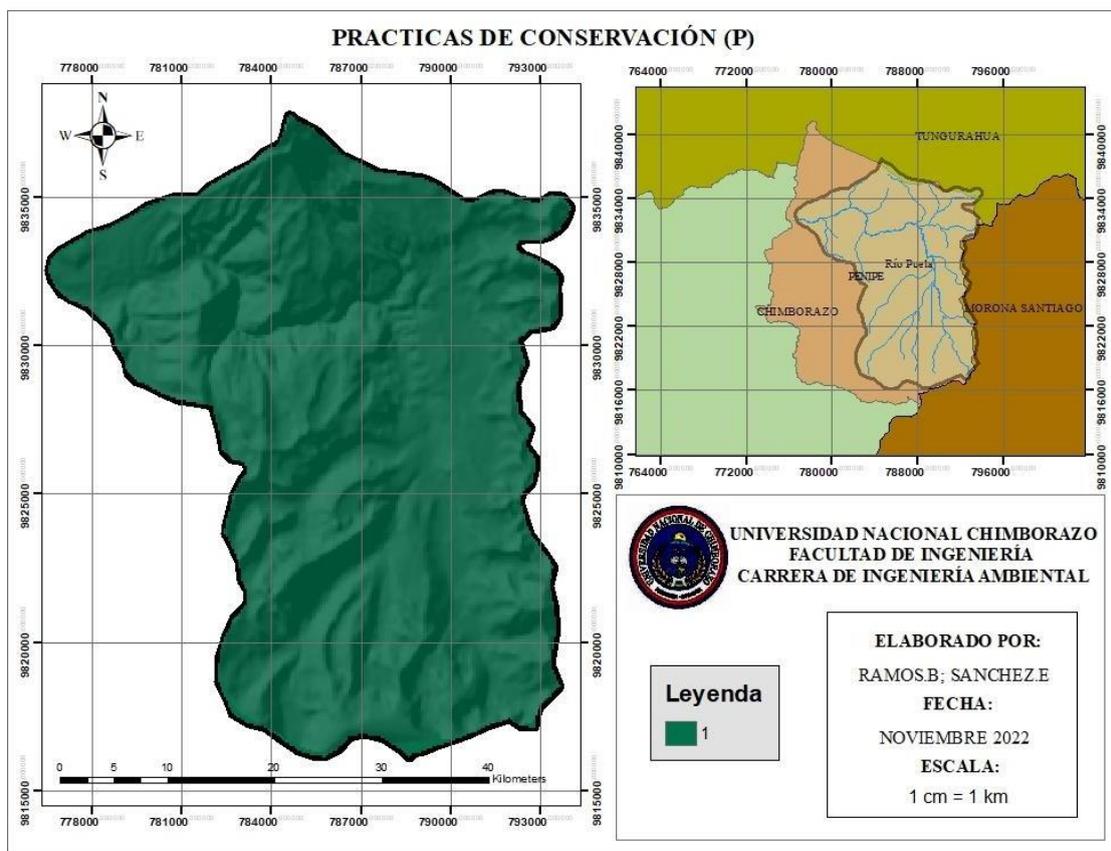


Figura 11: Erodabilidad por Praticas de Conservación (P)

Fuente: Autores

Factor A

La estimación de erosión en la microcuenca del río Puela se ve reflejada en los mapas de cada uno de los factores R, P, C, LS, K y como resultado de su relación se obtuvo el mapa final de erosión en el área de estudio (figura 12) factor A.

Tabla 11: Niveles de Erosión

Nivel de Erosión	(tn*ha ⁻¹ /año ⁻¹)
Nula o leve	<10
Moderada	10 – 50
Fuerte	50 – 200
Muy Fuerte	> 200

Fuente: (Peralta, 2015)

Tabla 12: Resultados de Factor A

Nivel de Erosión	(tn*ha ⁻¹ /año ⁻¹)	ha	%
Nula o leve	<10	19723.23	86.12
Moderada	10 – 50	2121.74	9.26
Fuerte	50 – 200	1056.80	4.61
Muy Fuerte	> 200	0.783	0.003
TOTAL		22902.55	100%

Fuente: Autores

Mediante el desarrollo e interpretación de resultados (tabla 11), describe que el grado de erosión en la microcuenca del río Puela tiene valores entre (1,83 – 234. 85) tn*ha⁻¹/año⁻¹.

La categoría nula o leve con 19723.23 ha (86.12%) representa la mayor parte de la superficie de la microcuenca. Las superficies establecidas como erosión moderada abarcan 2121.74 ha (9.26%). Las zonas contempladas en la categoría fuerte presentan 1056.80 ha (4.61%) y por último la erosión muy fuerte ocupa un 0.783 ha (0.003%) de la microcuenca.

El análisis del modelo de pérdida de suelo (USLE) en la microcuenca del río Puela (figura 12), determina que existe vulnerabilidad de pérdida de suelo en el noroeste de la zona de estudio en la parte alta de las parroquias de Puela y el Altar, debido a que su cobertura natural ha sido removida por las actividades antrópicas y en efecto tiene menor cantidad de materia orgánica, dejando así al suelo susceptible ante factores como precipitación (escorrentía superficial), que se ven influenciadas por las pendientes abruptas muy escarpadas generando arrastre de suelo,

por otro lado la mayor parte del área de estudio no se ve influenciada por procesos erosivos debido a que no se evidencia asentamientos humanos y actividades antrópicas manteniendo su cobertura se natural.

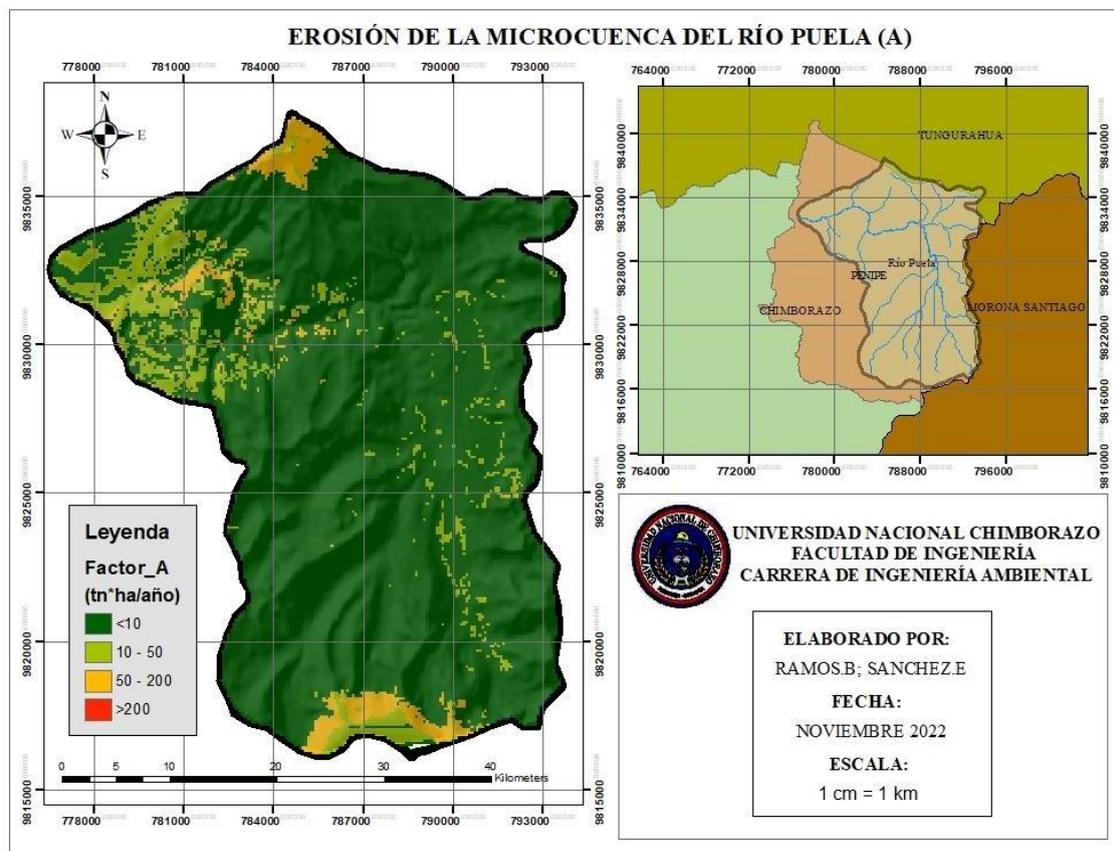


Figura 12: Erosión actual de la microcuenca del Río Puela (A)

Fuente: Autores

5. CAPÍTULO V.

5.1 CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El análisis de los factores (R) y (LS) mediante el uso de SIG en la microcuenca del río Puela nos permitió establecer que existe erosión en la mayor parte de la zona de estudio, debido a que la agresividad climática predomina en la zona oriental, por otro lado la erosión topográfica (pendientes abruptas muy escarpadas) está localizada en la zona occidental, sin embargo el estudio de cobertura y uso de suelo permitieron establecer que los tipos de coberturas vegetales (bosque nativo y páramo) protegen el recurso suelo evitando el avance progresivo de erosión por relieve o erosión pluvial, al contrario de las coberturas (zona agropecuaria, sin cobertura y vegetación arbustiva).

La erosionabilidad del suelo K estableció que la relación de los parámetros materia orgánica, permeabilidad, estructura y textura, evidencian el estado físico del suelo, lo que permitió determinar que la zona de la microcuenca del río Puela es rica en suelos de tipo franco arenoso arcilloso, franco arenoso y franco limoso, en donde, la erosión por parte de este factor se evidencia en las áreas de (zona agropecuaria, sin cobertura y vegetación arbustiva) al presentar actividades antrópicas tienen valores de materia orgánica bajos, sin embargo las áreas de (páramo y bosque nativo) presentan altos contenidos de materia orgánica presentan niveles erosivos bajos.

El estado actual de la microcuenca del río Puela se determinó mediante la aplicación de herramientas SIG y la relación de los factores (K, LS, P, R, C) los cuales permitieron estimar que la pérdida de suelo es nula o leve en la mayor parte de la superficie del área, en donde independientemente la precipitación presentó valores altos y moderados, la inclinación y longitud de la pendiente valores muy altos y la relación de textura, estructura y materia orgánica estimó que las zonas en donde no existe intervenciones antrópicas (páramo y bosque nativo) tiene una erosión leve, al contrario de (zona agropecuaria, sin cobertura y vegetación arbustiva), en ese sentido se establece que la cobertura natural es inherente para el mantenimiento del estado del recurso suelo debido a que brinda protección por parte del recubrimiento vegetal ante procesos erosivos naturales como precipitación, relieve, viento y antrópicos como actividades económico productivas y expansión de la frontera urbana.

Recomendaciones

El nomograma para el cálculo del factor K desarrollado por Wischmeier y Smith en 1997, esta direccionada para suelos con porcentaje de materia orgánica hasta el 6%, en el caso de la presente investigación se obtuvieron suelos con materia orgánica mayores al 12% como Páramo y Bosque Nativo, por lo tanto, es imperativo el análisis y desarrollo de nuevas metodologías aplicables para suelos con condiciones dirigidas a la zona interandina en donde no existe precedentes de investigaciones y estudios de pérdida de uso del suelo por el método USLE como es el caso de la microcuenca del río Puela, con el fin de desarrollar nuevos estudios y validar los datos establecidos con la presente metodología.

Al momento de empezar la planificación del muestreo se tiene que realizar un extenso análisis de las rutas existentes para guiarse y saber por dónde movilizarse ya que sin eso se perdería tiempo y días, para una mejor delimitación de estas se ocupa imágenes satelitales y el Google Earth para su comparación e identificación clara de las vías accesibles, sabiendo eso de igual manera hay que ir preparados con las herramientas de trabajo adecuadas y vestimenta ya que las salidas de campo son extensas y cansadas.

En el trabajo realizado en el Laboratorio en este caso se ocuparon varios instrumentos como crisoles, tamices, vasos de precipitación, agitadores, etc, todo estos aparte de ser caros son delicados y hay que tener cuidado al momento de usarlos, para los datos resultados que se obtienen hay que seguir correctamente la metodología y asesoría de Ingenieros ya que existe varios parámetros a seguir como el tiempo en el que deben las muestras estar en el agitador o la temperatura en las estufas o muflas para que los datos no se sobrestimen o salgan erróneos.

En el procesamiento de datos en el Software ArcGIS hay que tener paciencia, ya que también se usa ecuaciones tanto largas y pequeñas y para ingresarlas hay que divisarlas bien para que genere bien los rasters para la realización de sus respectivos mapas.

BIBLIOGRAFÍA

- Barral, A., Prados, M., & Hurtado, C. (2019). Evolución de la erosión estimada (USLE) y procesos de Naturbanización en el entorno de los Parques Nacionales de Doñana y Sierra Nevada (España). *Cuadernos Geográficos*, 59(1). <https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v59i1.8752>
- Benayas, R. (2019). Índice de erosividad de la lluvia con ArcGIS . *GEASIG*.
- Bera, A. (2017). *Estimation of Soil loss by USLE Model using GIS and Remote Sensing techniques: A case study of Muhuri River Basin, Tripura, India*. 11.
- Brito, J., & Gonzales, N. (2022). *Análisis multitemporal del cambio de cobertura vegetal en la microcuenca del río Puela*. Universidad Nacional de Chimborazo.
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS*, 2016(2), 117-124. <https://doi.org/10.22267/rcia.163302.58>
- Castillo, G., & Gonzáles, K. (2016). *ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN. MICROCUENCA QUEBRADA-NEGRA, VEREDA PILUMA, MUNICIPIO DE SASAIMA CUNDINAMARCA*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISO JOSÉ DE CALDAS.
- Delgado, J. (2020). *Estimation of soil loss using the USLE model and GIS tools in the Chillón river basin, Lima, Peru*. <https://revistas.cientifica.edu.pe/index.php/southsustainability/article/view/643/665>
- Dorner, J., & Dec, D. (2007). La permeabilidad del aire y conductividad hidráulica saturada como herramienta para la caracterización funcional de los poros del suelo. *Revista de La Ciencia Del Suelo y Nutrición Vegetal*, 7(2), 1-13. <https://doi.org/10.4067/S0718-27912007000200001>
- Echavarría, F., Medina, G., & Ruiz, J. (2018, March 18). Efecto en la erosión hídrica del suelo en pastizales y otros tipos de vegetación por cambios en el patrón de lluvias por el calentamiento global en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 63-74. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4694>
- Eyherabide, M., & Barbieri, P. (2014). Comparación de métodos para determinar carbono orgánico en suelo. *Ciencia Del Suelo*, 32(1), 13-19.
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf>
- FAO. (2015). *Estado Mundial del Recurso Suelo*. <https://www.fao.org/3/i5126s/i5126s.pdf>
- FAO. (2019). *Erosión del Suelo*.
- FAO. (2022). *TEXTURA DEL SUELO*. https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm#:~:text=La%20textura%20indica%20el%20contenido,el%20suelo%20y%20lo%20atraviesa.
- Fertilab. (2022). *La textura y la fertilidad del suelo*.
- GAD Penipe. (2019). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL*.

- Gaitán, J., Navarro, M., Tenti, L., Pizarro, M., Carfagno, P., & Rigo, S. (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro_erosion_hidrica_rep_argentina.pdf
- Gaitán, J., Tenti, L., Pizarro, M., Carfagno, P., & Rigo, S. (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro_erosion_hidrica_rep_argentina.pdf
- Gutiérrez, R., Muciño, J., Arrellano, J., Guichard, D., & Aguilar, M. (2021). *Estimation of Water Erosion and the Transportation of Sediments in the Upper Basin of Cuxtepeques River, Chiapas, Mexico*.
- Guzmán, J. (2021, June). *ANÁLISIS DE LA EROSIÓN POTENCIAL Y EFECTIVA DEL SUELO POR MEDIO DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO "USLE" EN EL ÁREA DE JURISDICCIÓN DE LA CAR*.
- Hinojosa, C. (2019). *Modelo de Erosión para Cuencas Hidrográficas del Ecuador* *Modelo de Erosión para Cuencas Hidrográficas del Ecuador*.
- Ibañez, S., Moreno, H., & Gisbert, J. (2012). *LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO (USLE)*. 1–10.
- INIA Tacuarembó. (2015). *Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas*. <http://inia.uy/Documentos/P%C3%BABlicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/El%20Suelo%202020%20de%20mayo.pdf>
- Jaramillo, J. (2015). *Estudio del riesgo por erosión hídrica del suelo utilizando el modelo U.S.L.E., mediante herramientas S.I.G, aplicado en la subcuenca río Portoviejo, provincia de Manabí*. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4235/1/T-UCE-0011-64.pdf>
- Lianes, E., Marchamalo, M., & Roldan, M. (2009). *EVALUACIÓN DEL FACTOR C DE LA RUSLE PARA EL MANEJO DE COBERTURAS VEGETALES EN EL CONTROL DE LA EROSIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO BIRRÍS, COSTA RICA*. 229–230.
- López, F. (2012). *La erosión entre la naturaleza y el hombre*. <https://dialnet.unirioja.es>
- López, F., & Romero, A. (1998). Erosión y Desertificación: Implicaciones ambientales y estrategias de investigación. In *Papeles de geografía* (pp. 77–89).
- Manzanilla, U. (2020). *Clasificación supervisada de imágenes satelitales mediante firmas espectrales: método de máxima verosimilitud* *Material divulgativo*. 1–11.
- Mendoza, R., & Espinoza, A. (2017). *Guía Técnica para Muestreo de Suelos*.
- Montes, M., Uribe, E., & García, E. (2011). *Mapa Nacional de Erosión Potencial*.
- NASA. (2022). *Algoritmos de Precipitación*. <https://gpm.nasa.gov/science/precipitation-algorithms>
- Olivares, B., Lobo, D., & Verbist, K. (2013). *ESTIMACIÓN DEL FACTOR EROSIVIDAD DE LA LLUVIA EN LA ZONA SEMIÁRIDA DE SAN PEDRO, CHILE*. 135–137.
- PDOT MATUS. (2015). *Plan de Ordenamiento Territorial de la parroquia Matus*.

- PDOT PENIPE. (2016). *Plan de Ordenamiento Territorial Componente Biofísico*.
[https://www.dropbox.com/s/c0io1fft2410w8q/2.1.COMPONENTE BIOFISICO.pdf?dl=0](https://www.dropbox.com/s/c0io1fft2410w8q/2.1.COMPONENTE%20BIOFISICO.pdf?dl=0)
- PDOT PUELA. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Rural Puela*.
- Peralta, A. (2015). *APLICACIÓN DEL MODELO RUSLE PARA EL CÁLCULO DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA RÍO CUBÍ*. Universidad Central del Ecuador.
- 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*.
 file:///C:/Users/Usuario/Desktop/UNACH/DECIMO/TESIS/DOCUMENTOS%20GUIA/Erodabilidad.pdf
- Ramírez, F., Hincapié, E., Sadeguián, S., & Pérez, U. (2007). *EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS EN LA ZONA CAFETERA CENTRAL Y OCCIDENTAL DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS*.
- Rojas, J., Buschiazzi, D., & Arce, O. (2013). *Parametros edáficos relacionados con la erosión eólica en inceptisoles del Chaco*.
- Schürz, C., Mehdi, B., Kiesel, J., Schulz, K., & Herrnegger, M. (2020). A systematic assessment of uncertainties in large-scale soil loss estimation from different representations of USLE input factors – a case study for Kenya and Uganda. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(9), 4463–4489. <https://doi.org/10.5194/hess-24-4463-2020>
- Ticona, E. (2019). *ESTANDARIZACIÓN ANALÍTICA DE LA METODOLOGÍA DE BOUYOUCOS PARA LA DETERMINACIÓN TEXTURAL DE SUELOS DEL ALTIPLANO BOLIVIANO*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Torres, D. (2018). *Estimación Cualitativa de la Susceptibilidad de los Suelos a la Erosión Mediante Técnicas de Teledetección y de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelos (EUPS) en el Municipio de Floresta, Boyacá* [Universidad de los Andes].
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/39430/u821454.pdf?sequence=1>
- Zambrano, J., & Estupiñán, E. (2021). *Propuesta para el control y manejo de cárcavas en sectores rurales de la Provincia de Manabí*. 898–899.

ANEXOS

Anexo 1; Código Javascript en Google Earth Engine (GEE)

```
// Lista de años
// Período de estudio
var year_ini = 2019;
var year_fin = 2020;

// Selección de imágenes GPM y conversión a mm
var GPM_mm = GPM.filter(ee.Filter.calendarRange(year_ini,year_fin,'year'))
  //.filter(ee.Filter.calendarRange(7,9,'month'))
  .select('precipitation');

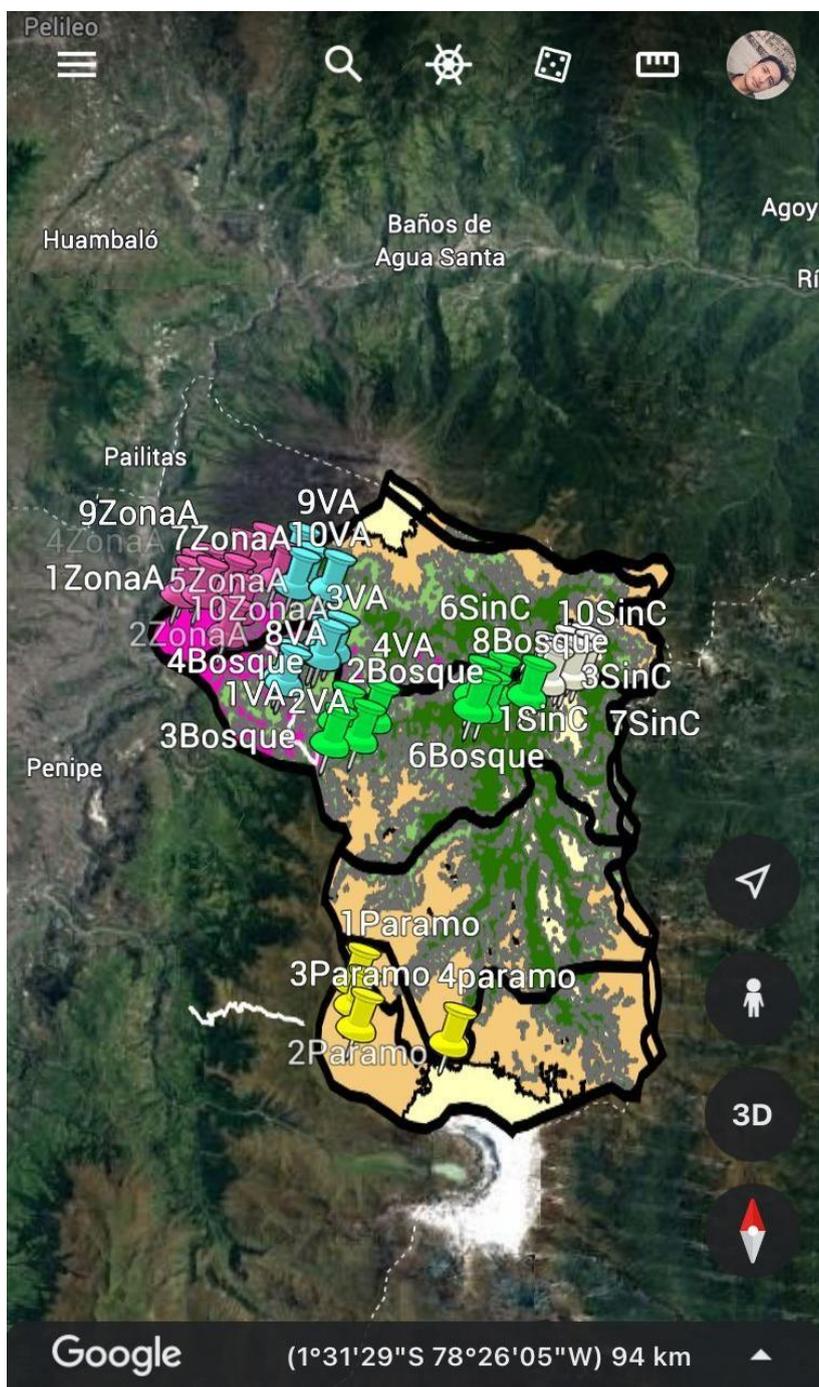
// Añadir precipitación mensual mm
var addMonthlyPrecip = function (img) {
  var start = ee.Date(img.get('system:time_start'));
  var end = start.advance(1, 'month');
  var hoursInMonth = end.difference(start, 'hours');
  return img.addBands(img.multiply(hoursInMonth).rename('precip_mm_month'));
};

var GPM_mm = GPM_mm.map(addMonthlyPrecip);
print('Colección de imágenes GPM por mes' , GPM_mm);

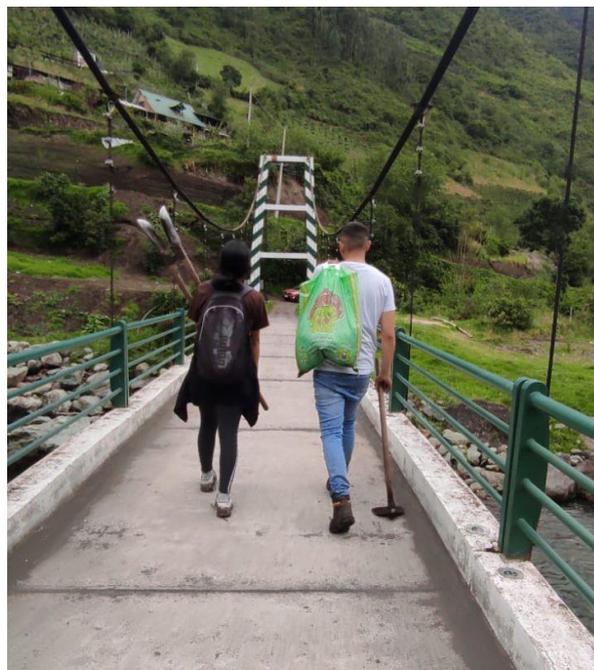
Map.addLayer(GPM_mm.first().clip(RPuela), {bands:'precipitation', max: 1000}, 'Precip monthly mm 1er mes');

Export.image.toDrive({
  image: GPM_mm.select('precip_mm_month').toBands(),
  folder: 'Test_Folder',
  description: 'GPM Mensual Puela',
  scale: 11000,
  region: RPuela,
  crs: 'EPSG:32717'
});
```


Anexo 3; Distribución de puntos de muestreo en las coberturas



Anexo 4; Recolección de Muestras y Secado



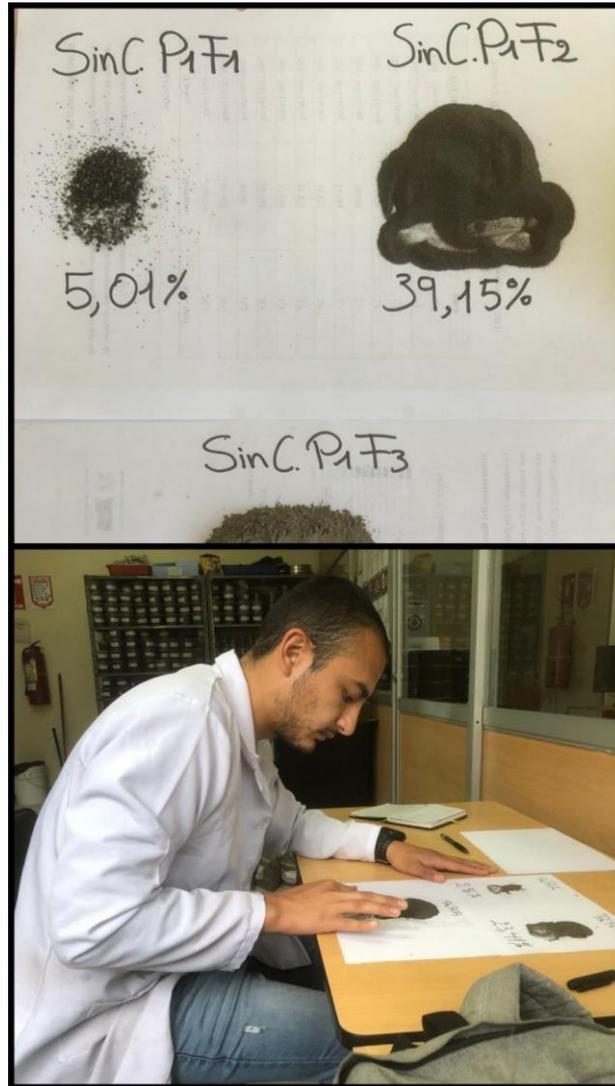


Anexo 5; Tamizado a 2 mm y pesado de 50 gr



Anexo 6; Proceso de fraccionamiento





Anexo 7; Guía de la FAO

6. TEXTURA DEL SUELO

6.0 Definición de la textura del suelo

La textura indica el contenido relativo de partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa.

Para conocer la textura de una muestra de suelo, separe primero la **tierra fina**, todas las partículas de menos de 2 mm, de las partículas mayores como la grava y las piedras. La tierra fina es una mezcla de arena, limo y arcilla. **Para realizar los ensayos de campo siguientes asegúrese de utilizar sólo tierra fina.**



6.1 Ensayos de campo rápidos para determinar la textura del suelo

Cuando se construye un estanque piscícola, es mejor emplear un suelo que posea una elevada proporción de limo o arcilla, o ambos, que retenga bien el agua. Para comprobar con rapidez la textura del suelo a diferentes profundidades, presentamos dos pruebas muy sencillas que usted puede realizar.

Prueba del lanzamiento de la bola

- Tome una muestra de suelo humedecido y oprímala hasta formar una bola (A);
- Lance la bola al aire (B) hasta unos 50 cm aproximadamente y deje que caiga de nuevo en su mano...



Anexo 8; Proceso de Materia Orgánica

