

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN TRES
TIPOS DE USO DE SUELO DE LA MICROCUENCA
POMACOCHAS, REGIÓN AMAZONAS**

Autor: Bach. Gilbert Antonio Reyna Velaysosa

Asesor: Ing. Rolando Salas López

Registro:

CHACHAPOYAS – PERÚ

2021

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. POLICARPIO CHAUCA VALQUI

Rector

Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

Vicerrector Académico

Dra. FLOR TERESA GARCÍA HUAMÁN

Vicerrectora de Investigación

M.Sc. Blga. ROSALYN YOHANNA RIVERA LÓPEZ

Decana de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-K

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN TRES TIPOS DE USO DE SUELO DE LA MICROCUENCA POMACOCHAS, REGIÓN AMAZONAS del egresado Gilbert Antonio Reyna Velazosa de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 05 de mayo del 2021

Firma y nombre completo del Asesor

Ing. Rolando Salas López

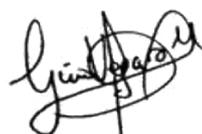


JURADO EVALUADOR



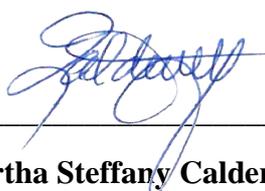
Dr. Ricardo Edmundo Campos Ramos

Presidente



M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

Secretario



Dra. Martha Steffany Calderon Rios

Vocal



ANEXO 3-0

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

.....EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HIDRICA EN TRES TIPOS DE USO DE SUELO DE LA
.....MICROCUENCA POMACCHAS, REGIÓN AMAZONAS.....

presentada por el estudiante ()/egresado (X) Gilbert Antonio Reyna Velazosa

de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

con correo electrónico institucional

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 17 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor () / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, 27 de agosto del 2021



[Signature]
SECRETARIO

[Signature]
VOCAL

[Signature]
PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....
.....



ANEXO 3-Q

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 06 de octubre del año 2021, siendo las 12:00 horas, el aspirante: Gilbert Antonio Reyna Velazosa, defiende en sesión pública presencial () / a distancia (X) la Tesis titulada: EVALUACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN TRES TIPOS DE USO DE SUELO DE LA MICROCUENCA POMACOCCHAS, REGIÓN AMAZONAS, teniendo como asesor a Rolando Solas Lopez, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Dr. Ricardo Edmundo Campos Ramos
Secretario: M. Sc. Gino Alfredo Veigara Medina
Vocal: Dra. Martha Steffany Calderon Pizaro



Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado (X) Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 13:30 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

SECRETARIO (with signature)

PRESIDENTE (with signature)

VOCAL (with signature)

OBSERVACIONES:

.....

ÍNDICE

RESUMEN	XI
ABSTRACT	XII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
III. MATERIAL Y MÉTODOS	3
3.1. Área de estudio.....	3
3.2. Materiales, equipos y software.....	4
3.3. Metodología	4
3.3.1. Diseño metodológico.....	4
3.3.2. Proceso metodológico	6
a. Etapa de pre campo	6
➤ Selección del sitio de estudio.....	6
➤ Selección de usos de suelo.....	6
b. Etapa de campo	6
➤ Caracterización de la cobertura vegetal	6
➤ Propiedades del suelo.....	7
➤ Registro de precipitación	7
➤ Medición de la escorrentía superficial	7
➤ Estimación de la erosión hídrica	7
c. Etapa de gabinete.....	8
➤ Análisis de datos	8
IV. RESULTADOS	9
4.1. Caracterización de la cobertura vegetal	9
4.2. Propiedades del suelo	10
4.3. Comportamiento de la precipitación	10
4.4. Escorrentía superficial.....	12
4.5. Erosión hídrica	12
V. DISCUSIÓN	16
VI. CONCLUSIONES.....	20
VII. RECOMENDACIONES	21
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	22
ANEXOS	25
Anexo 1. Medidas resumen de cobertura de aliso en SSP	25
Anexo 2. Medidas resumen de precipitación	25

Anexo 3. Medidas resumen de escorrentía.....	25
Anexo 4. Medidas resumen de erosión	25
Anexo 5. Panel fotográfico.....	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Materiales, equipos y software.	4
Tabla 2. Medidas resumen de cobertura de los sistemas evaluados.	9
Tabla 3. Correlación de Pearson entre la altura de aliso (<i>Alnus glutinosa</i>) y porcentaje de cobertura vegetal en el sistema SPP.	9
Tabla 4. Características de pH, M.O y clase textural de los sistemas de usos de suelo.	10
Tabla 5. Prueba de comparaciones múltiples para la precipitación.....	10
Tabla 6. Prueba de comparaciones múltiples para la escorrentía	12
Tabla 7. Correlación de Pearson entre escorrentía y precipitación.	12
Tabla 8. Prueba de comparaciones múltiples para la erosión hídrica	13
Tabla 9. Correlación de Pearson entre precipitación y erosión	13

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la microcuenca Pomacochas, Amazonas (Perú).	3
Figura 2. Flujo metodológico de investigación.	5
Figura 3. Comportamiento de la precipitación en tres sistemas de uso de suelo.	11
Figura 4. Comportamiento de la escorrentía superficial en tres sistemas de uso de suelo	14
Figura 5. Comportamiento de la erosión hídrica en tres sistemas de uso de suelo.	15

RESUMEN

La degradación del suelo es un problema ecológico global grave producto de complejas interacciones entre factores naturales y antropogénicos: pastoreo incontrolado, cultivo inadecuado y deforestación. La información sobre pérdida de suelo es esencial en trabajos de conservación de una cuenca. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo evaluar la erosión hídrica en tres tipos de usos de suelo: sistema de pasto cultivado (SPC), sistemas de pasto enmalezado (SPE) y sistema silvopastoril (SSP), así como determinar la relación entre las precipitaciones con los fenómenos de escorrentía y erosión e identificar otras variables influyentes sobre estos procesos para la microcuenca Pomacochas. Se utilizaron 12 parcelas experimentales con tres tratamientos y cuatro repeticiones, las mediciones se realizaron en el periodo lluvioso entre marzo y mayo de 2019. El cambio en la escorrentía entre los sistemas evaluados fue alto; sin embargo, fue más significativo el cambio en la erosión hídrica siguiendo el orden $SPE > SPC > SSP$. Los resultados mostraron que la cobertura arbórea en el sistema silvopastoril tiene un impacto en la escorrentía y la erosión: SSP generó 82 % menos escorrentía y 50 % menos erosión en comparación con SPE. El manejo antropogénico: intensidad y frecuencia de pastoreo explica aumento en los valores de escorrentía y erosión para SPE. Los sistemas silvopastoriles evidencian la idoneidad para la conservación del suelo y el agua en el área de estudio, ya que se generaron pérdidas de suelo significativamente menores en comparación con los otros usos de suelo, por lo que se recomienda su implementación.

Palabras clave: conservación, degradación de suelo, escorrentía superficial, erosión hídrica.

ABSTRACT

Soil degradation is a serious global ecological problem that is the product of complex interactions between natural and anthropogenic factors: uncontrolled grazing, improper cultivation, and deforestation. Information of soil loss is essential in watershed conservation work. Therefore, this study aimed to evaluate water erosion in three types of land use: cultivated grass system (SPC), weedy grass systems (SPE) and silvopastoral system (SSP), to determine the relationship between the rainfall with runoff and erosion phenomena, as well as to identify other variables influencing these processes for the Pomacochas micro-basin. Twelve experimental plots with three treatments and four repetitions were used during the rainy period between March and May 2019. The change in runoff between the evaluated systems was high; however, the most significant change in water erosion followed the order SPE > SPC > SSP. These results showed that tree cover in the silvopastoral system has an impact on runoff and erosion: SSP generated 82% less runoff and 50% less erosion compared to SPE. The anthropogenic management intensity and frequency of grazing explains the increased runoff and erosion values for SPE. Silvopastoral system showed to be the most sustainable practice for soil and water conservation in the study area, since soil losses were significantly lower compared to other land uses, so its implementation is recommended.

Keywords: conservation, soil degradation, surface runoff, water erosion.

I. INTRODUCCIÓN

La pérdida de suelo por erosión hídrica es un grave problema ecológico global que abarca el 56 % del área mundial (Gelagay & Minale, 2016; Luo et al., 2015). Para América del sur, Europa y Asia se informa que la tasa anual de erosión es de 30 a 40 tn/ha (Yasar, 2018). En el Perú, el 99.9 % de la superficie nacional muestra algún grado de degradación del suelo, en el cual la erosión hídrica de nivel media y alta representa el 61 % (MINAGRI & SENAMHI, 2017). Este fenómeno es crítico y agresivo en las regiones altoandinas, donde la tasa promedio de pérdida de suelo es de 45.04 tn/ha.año, que representa una pérdida de lámina de suelo de 3.20 mm/año (Vásquez & Tapia, 2011). Por lo tanto, la pérdida de suelo representa un riesgo para el desarrollo pecuario y agrícola.

Pese a que la erosión del suelo es un fenómeno natural causado por procesos geomorfológicos a través de la acción de agentes erosivos (agua, viento y gravedad), la erosión acelerada es favorecida por las actividades humanas (Wijesundara et al., 2018). El rápido crecimiento de la población, la deforestación, pastoreo descontrolado y el cultivo inadecuado han provocado una erosión acelerada en el mundo, principalmente en países en desarrollo (Gelagay & Minale, 2016).

El efecto más importante de la erosión es la pérdida de suelo superficial rico en nutrientes, lo que resulta en una disminución de la productividad (Yasar, 2018). La disminución de rendimientos de cultivos conduce inicialmente al aumento de gastos en fertilizantes y después al abandono de la tierra (Singh & Panda, 2017). Por otro lado, los sedimentos disminuyen la capacidad de almacenamiento de depósitos (represas, embalses, lagunas, etc.) a una tasa aproximada de 1 % anual (Fayas et al., 2019). El sedimento es un contaminante producto de la adsorción de agroquímicos, que puede elevar los niveles de nitrógeno y fósforo en los cuerpos de agua y provocar eutrofización (Pinay et al., 2018). Este proceso resulta en un ciclo continuo de deterioro del suelo con pérdidas económicas y, consecuentemente, aumento de la pobreza.

La pérdida de suelo por erosión es muchas veces más rápido que el proceso de formación de éste (Vásquez & Tapia, 2011); por tanto, se han realizado muchos estudios para conocer sus impactos ambientales. En general, el proceso de

pérdida de suelo es complejo, influenciado por una variedad de factores, siendo las precipitaciones el requisito previo para la escorrentía superficial y la producción de sedimentos (Sarkar et al., 2015). Las características de las precipitaciones (tipo e intensidad) son la principal causa de la variación de la erosión del suelo (Luo et al., 2015). En cambio, la escorrentía superficial está influenciada no sólo por las características de las precipitaciones sino también por la vegetación. La presencia de vegetación influye de varias formas: intercepta las gotas de lluvia, aumentan la infiltración y reduce la escorrentía superficial (El Kateb et al., 2013). Por lo tanto, diferentes tipos de cobertura exhiben diferencias en la escorrentía superficial y rendimiento de sedimentos. Por ejemplo, la FAO (2018), en un estudio de tres años encontró mayor pérdida de suelo por erosión en suelo desnudo destinado a agricultura (65 tn/ha), en comparación con un sistema agroforestal (10 tn/ha). Goñas (2017), encontró 40 % más de pérdida de suelo en sistema a campo abierto en comparación con sistemas silvopastoriles. Por otro lado, la disminución de la densidad de cubierta vegetal por sobrepastoreo en Cisjordania condujo a una rápida erosión hídrica en pastizales (Mohammad & Adam, 2010).

La mejor manera de beneficiarse de los recursos naturales (suelo, agua, etc.) en una cuenca hidrográfica es tomando precauciones contra la erosión (Yasar, 2018). En ese sentido, la comprensión del proceso de erosión y la adopción de medidas adecuadas contra estos eventos adquiere gran importancia. Por otro lado, la información cuantitativa sobre erosión hídrica y escorrentía es escasa en Amazonas, haciendo falta mediciones que determinen valores reales, necesarios para una adecuada planificación del manejo de los recursos involucrados; por lo tanto, el objetivo principal es evaluar la erosión hídrica en tres tipos de uso de suelo para la microcuenca Pomacochas que sirvan de base como evidencia para el establecimiento de planes de gestión de la erosión en un contexto de cambio climático.

II. OBJETIVOS

General

- Evaluar la erosión hídrica en tres tipos de uso de suelo de la microcuenca Pomacochas, región Amazonas.

Específicos

- Caracterizar la estructura de la cobertura vegetal para cada tipo de uso de suelo.
- Determinar el comportamiento de la escorrentía superficial para tipo de uso de suelo.
- Determinar el efecto de la precipitación sobre el proceso de pérdida de suelo por erosión hídrica.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en la microcuenca Pomacochas, ubicado en la parte nor-oriental del Perú, a una altitud entre 1697 y 3131 m.s.n.m. Abarca un área total de 6 370.28 ha aproximadamente y un perímetro de 54.23 km (Figura 1). La precipitación media anual es de 1104.2 mm; el clima es cálido y templado, regulado por la influencia lacustre, con una temperatura promedio anual de 15 °C.

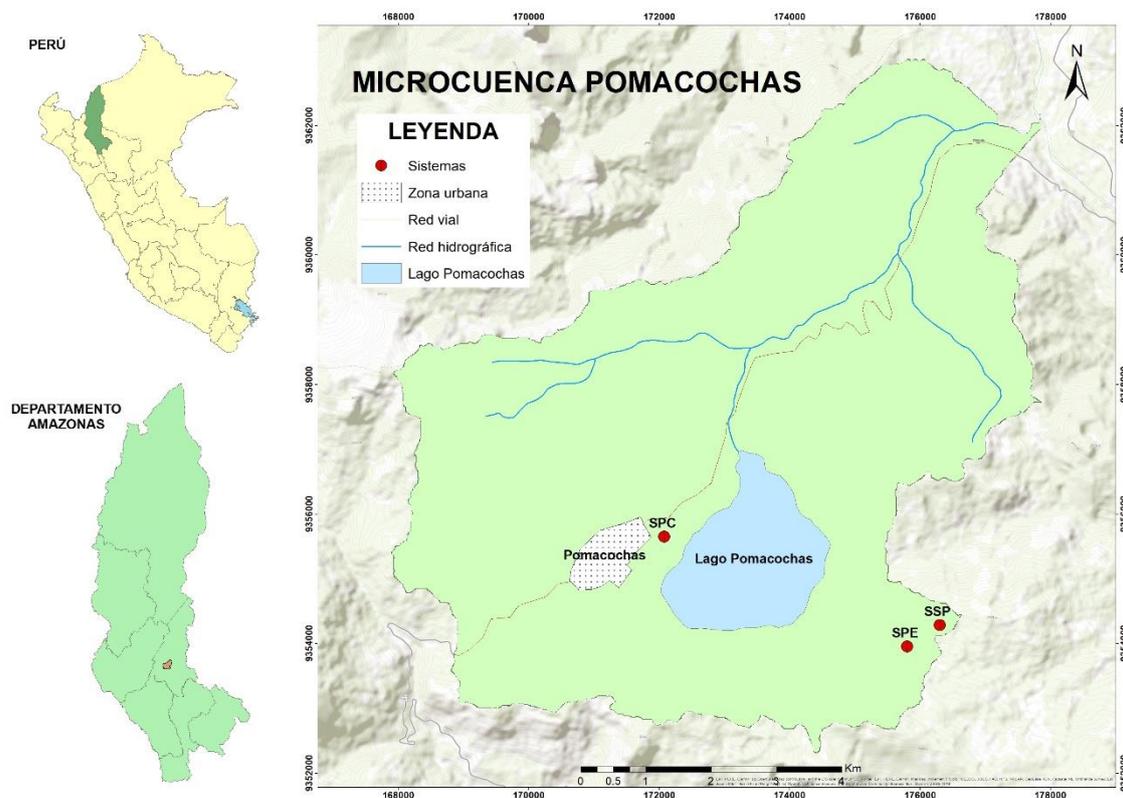


Figura 1. Ubicación de la microcuenca Pomacochas, Amazonas (Perú).

3.2. Materiales, equipos y software

Los materiales empleados para desarrollar la investigación se categorizaron en función de los objetivos específicos: i) Caracterizar la estructura de la cobertura vegetal para cada tipo de uso de suelo, ii) Determinar el comportamiento de la escorrentía superficial para cada tipo de uso de suelo y iii) Determinar el efecto de la precipitación sobre el proceso de pérdida de suelo por erosión hídrica (Tabla 1).

Tabla 1. Materiales, equipos y software.

Categoría		Descripción
Objetivo específico 01	Materiales	Cinta métrica (50 m), estacas de madera, martillo, rafia, marco de plástico (0.5 * 0.5 m), pilas AA, libreta de campo.
	Equipos	GPS navegador (Garmin Montana 650), distanciómetro laser (Leica Disto D810 Touch), smartphone android 9, trípode.
	Programas	Aplicación móvil HabitApp (versión 1.1), Microsoft Office 2016.
Objetivo específico 02	Materiales	Láminas de metal (5 m de largo * 15 cm de altura), tubos de plástico (2" y 1/2"), recipientes de plástico (30 l y 200 l), plataforma de cemento (0.5 * 0.5 m), botellas plásticas (500 ml), plumón indeleble, estacas de madera, libreta de campo.
	Equipos	Laptop RYZEN 7 - 08 GB de RAM.
	Programas	Microsoft Office 2016, InfoStat 2018.
Objetivo específico 03	Materiales	Estacas de madera, pila CR2032, libreta de campo, vasos de precipitado (250 ml, 500ml y 2 l), probeta (500 ml), agua destilada, mandil, guantes resistentes al calor.
	Equipos	Pluviómetros manuales (25 ml), pluviómetro digital (HOBO state logger UX90-001), Balanza analítica (Ohaus Pioneer), estufa de laboratorio.
	Programas	Microsoft Office 2016, InfoStat 2018.

3.3. Metodología

3.3.1. Diseño metodológico

El diseño metodológico se basó en la caracterización de la cobertura vegetal para determinar el comportamiento de cada tipo de uso de suelo, así como el efecto de la precipitación sobre el proceso de pérdida de suelo por erosión hídrica, como se puede observar en el flujograma (Figura 2).

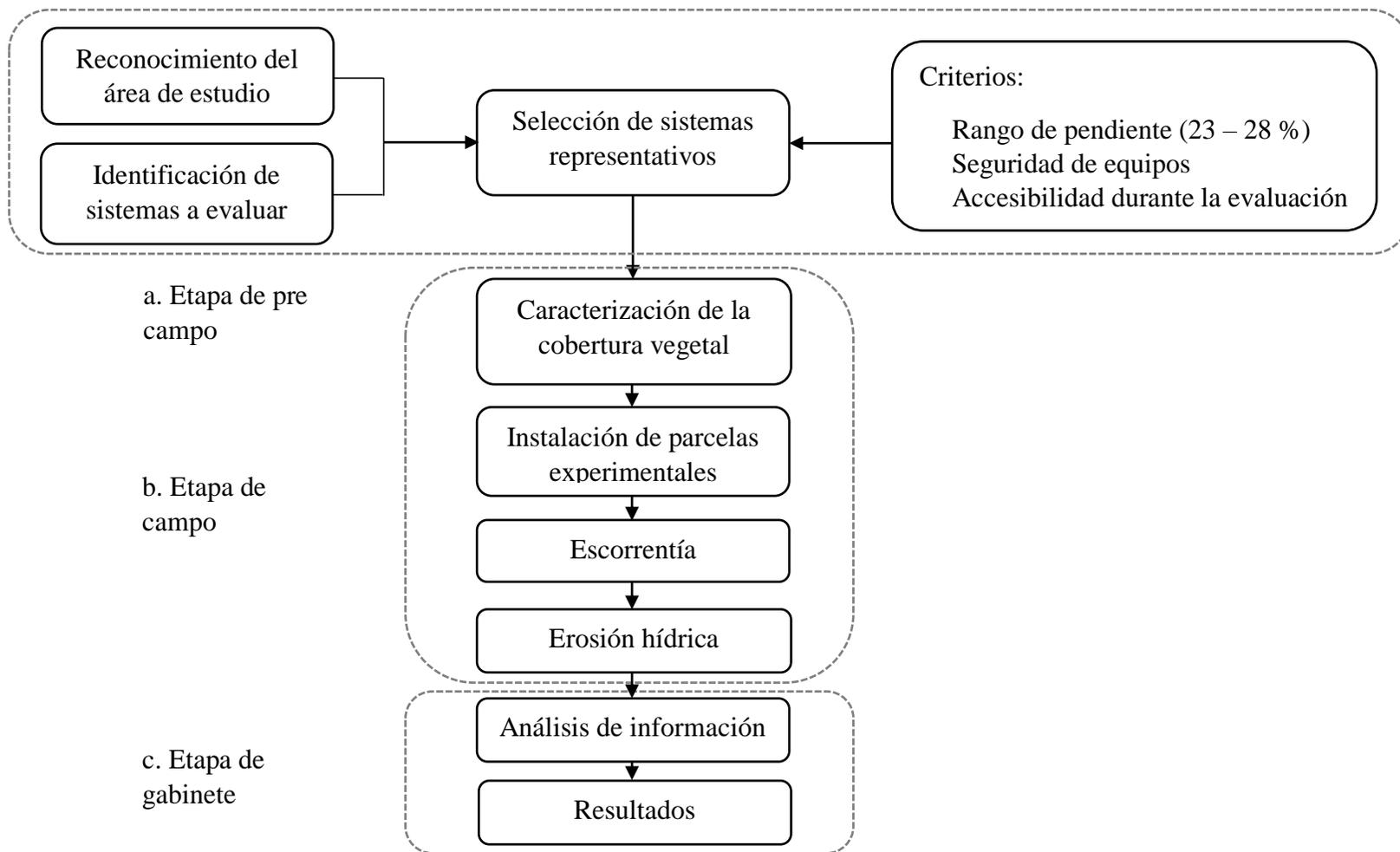


Figura 2. Flujo metodológico de investigación.

3.3.2. Proceso metodológico

La investigación se desarrolló en las siguientes etapas:

a. Etapa de pre campo

➤ Selección del sitio de estudio

El área de influencia comprendió la microcuenca Pomacochas, ubicada en la provincia de Bongará, se caracteriza por ser de producción ganadera. Además, se observó tres tipos de uso de suelo diferenciados y representativos en la producción de pastos que comparten pendientes similares, que fueron de interés de la presente investigación.

➤ Selección de usos de suelo

Se identificaron los principales tipos de uso de suelo en el área de estudio. Además, se evaluó la accesibilidad, seguridad para los equipos y se coordinó con los propietarios y/o encargados de las propiedades la autorización para la investigación. Por tanto, se seleccionaron tres tipos de uso de suelo: Sistema de Pasto Cultivado (SPC), Sistema de Pasto Enmalezado (SPE) y Sistema Silvopastoril (SSP).

b. Etapa de campo

➤ Caracterización de la cobertura vegetal

En la microcuenca Pomacochas se seleccionaron tres tipos de uso de suelo: sistema de pastos cultivados (SPC), sistema de pasto enmalezado (SPE) y sistema silvopastoril (SSP), por ser representativos del área de estudio. Además, los sistemas tenían similar pendiente (entre 23 – 28 %) y fueron de fácil accesibilidad durante todo el tiempo de la evaluación.

La caracterización se realizó para cada tipo de uso de suelo como sigue: la estructura horizontal fue muestreada en una parcela de 20 * 50 m, la cual se dividió en subparcelas de 10 * 10 m. En cada subparcela, utilizando un marco plástico de 0,5 * 0,5 m y mediante la observación directa, se estimó el porcentaje de cobertura de pasto, maleza y suelo sin cobertura. Para la estructura vertical se evaluó la altura de individuos con un distanciómetro laser, además mediante el uso de la aplicación móvil HabitApp se calculó el porcentaje de cobertura arbórea.

➤ **Propiedades del suelo**

Se recolectaron muestras de suelo (500 gr aproximadamente) para cada tipo de uso de suelo, del interior de cada parcela de escorrentía combinando tres submuestras tomadas de la parte baja, media y superior; las cuales fueron debidamente codificadas para ser transportadas a laboratorio. Para determinar la clase textural, pH y materia orgánica (M.O) se encargó los servicios del Laboratorio de Suelos y Aguas (LABISAG) del INDES-CES el análisis de las 12 muestras.

➤ **Registro de precipitación**

Se instalaron pluviómetros en la parte superior de cada parcela de escorrentía a 2 m sobre el suelo, se emplearon 11 pluviómetros manuales de 25 mm y un pluviómetro digital HOBO state logger (ubicado en SPE). Las lecturas se realizaron todos los días, entre las 06:00 y 09:00 h consignando los valores en la libreta de registro.

➤ **Medición de la escorrentía superficial**

En cada sistema se instalaron 4 parcelas de escorrentía de 5 m (transversal a la pendiente) por 10 m (a lo largo de la pendiente) distribuidos en sitios con pendiente semejante (23 – 28%). Las parcelas estuvieron delimitadas por láminas de metal (15 cm de altura) introducidos 5 cm en el suelo. La parte inferior de cada parcela contó con un colector de canal tipo V que se empalmó con una tubería de 2 pulgadas y se conectó a un recipiente recolector (30 l). Para evitar pérdida de agua en eventos intensos de precipitación, se instaló un segundo recipiente (200 l) donde solamente pasó una fracción del agua escurrida (1/12). El volumen colectado de este segundo recipiente fue medido todos los días (6:00 a 9:00 h). En el caso de que la precipitación no fuera suficiente para generar escorrentía medible, en al menos una de las 12 parcelas, no se consignaron valores.

➤ **Estimación de la erosión hídrica**

Para determinar la concentración de sedimento se tomó una muestra aproximada de 400 ml del segundo recipiente (200 l) después de agitar cada contenedor, esto para cada parcela y durante los días (6:00 y las 9:00 h) que hubo escorrentía. Se empleó 200 ml de las muestras en vasos

precipitados para ser secadas en estufa a 110 °C por 24 h, finalmente para el peso de suelo perdido se empleó una balanza analítica y se obtuvo mediante la diferencia de vaso precipitado secado a estufa y vaso precipitado inicial sin muestra.

c. Etapa de gabinete

➤ Análisis de datos

Los datos fueron analizados mediante el Software estadístico InfoStat versión 2018. Para la caracterización de la cobertura vegetal se realizaron medias resumen para cada sistema. Mediante un análisis de correlación de Pearson se determinó la correlación positiva o negativa de la altura de planta y el porcentaje de sombra de los sistemas. Así mismo, para determinar el comportamiento de la escorrentía superficial, la precipitación y el proceso de pérdida del suelo por erosión hídrica se realizó el cálculo de las medias resumen (medias, coeficiente de variación, máximo y mínimos) El análisis de correlación de Pearson permitió determinar la correlación positiva o negativa de la precipitación frente a la escorrentía superficial y la erosión hídrica. Por último, los gráficos de dispersión de puntos ayudaron a visualizar el comportamiento de las variables durante 80 días de evaluación y la técnica de modelos lineales generales y mixtos junto con la prueba de comparaciones múltiples de LSD Fisher, permitió determinar el nivel de significancia de los valores de escorrentía, precipitación y erosión en los tres sistemas en estudio.

IV. RESULTADOS

4.1. Caracterización de la cobertura vegetal

Los sistemas se encuentran bajo pastoreo rotativo y presentan signos evidentes de compactación y erosión. El sistema de pasto cultivado (SPC) tiene como única especie a Ryegrass (*Lolium perenne*) y presenta el mayor porcentaje de suelo cubierto (94.38%), a diferencia de los sistemas de pasto enmalezado (SPE) y sistema silvopastoril (SSP) que presentan una combinación de especies de pasto y maleza con porcentaje de suelo cubierto de 90.95% y 87.60% respectivamente (tabla 2).

Tabla 2. Medidas resumen de cobertura de los sistemas evaluados.

Sistema	Variable	Repeticiones	Media	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Mínimo	Máximo
SPC	%cobertura	50	94.38	5.19	5.50	75.00	100.00
	% suelo	50	5.62	5.19	92.35	0.00	25.00
SPE	%cobertura	40	90.95	6.84	7.52	70.00	98.00
	% suelo	40	9.05	6.84	75.56	2.00	30.00
SSP	%cobertura	50	87.60	6.15	7.02	69.00	96.00
	% suelo	50	12.40	6.15	49.58	4.00	31.00

El SSP fue el único con cobertura arbórea cuya especie fue el aliso (*Alnus glutinosa*) con estratos entre 9.19 y 15.54 m, mientras que la cobertura arbórea promedio fue de 66.30 %. La correlación de Pearson muestra una correlación positiva baja para altura de aliso y porcentaje de cobertura vegetal; sin embargo, no fueron significativos. esto sugiere afirmar que independientemente de la altura de los árboles, el comportamiento del porcentaje de cobertura vegetal es el mismo (tabla 3).

Tabla 3. Correlación de Pearson entre la altura de aliso (*Alnus glutinosa*) y porcentaje de cobertura vegetal en el sistema SPP.

Variable 1	Variable 2	n	Pearson	valor p
Altura	Altura	10	1.00	<0.0001
Altura	%	10	0.19	0.5976
%	Altura	10	0.19	0.5976
%	%	10	1.00	<0.0001

Según la prueba LSD Fisher (P <0,05).

4.2. Propiedades del suelo

La Tabla 4 presenta las características de pH, M.O y clase textural del suelo de los sistemas de usos de suelo, donde SPC tiene en promedio un pH más alto (5.80) en comparación con los otros tratamientos. Aunque la cantidad de materia orgánica fue relativamente alta en todos los usos de suelo, los niveles fueron más altos en SPC (5.85 %), seguido por SPE (5.61 %) y SSP (5.47 %). La textura para los usos de suelo muestra cierta homogeneidad, lo que sugiere que provienen del mismo material parental.

Tabla 4. Características de pH, M.O y clase textural de los sistemas de usos de suelo.

Uso de suelo	pH (1:1)	M.O %	Análisis mecánico			Clase textural
			Arena %	Limo %	Arcilla %	
SPC	5.80	5.85	57.5	15.5	27	Franco Arenoso Arcilloso
SPE	5.40	5.61	42.5	22	35.5	Franco Arenoso
SSP	4.70	5.47	50.5	18.5	31	Franco Arenoso Arcilloso

4.3. Comportamiento de la precipitación

Durante el periodo de observación (del 06 de marzo al 24 de mayo de 2019), se registraron 60 días con precipitaciones. Marzo tuvo en promedio la mayor precipitación, alcanzando el valor más alto el día 11 con 1805.61 mm para el SPE (figura 3). En promedio, el SPE (284.19 ± 395.67 mm) tuvo valores de precipitación significativamente mayores que SPC (219.84 ± 329.51 mm) y SSP (222.16 ± 318.33 mm). La diferencia de valores de precipitación sugiere la presencia de microclimas asociado a las distancias que existen entre cada sistema evaluado (tabla 5).

Tabla 5. Prueba de comparaciones múltiples para la precipitación.

Sistema	Medias		Error experimental
SPE	284.19	a	19.66
SSP	222.16	b	19.66
SPC	219.84	b	19.66

Medias con letras en común no son significativamente diferentes según LSD Fisher ($\alpha = 0.05$).

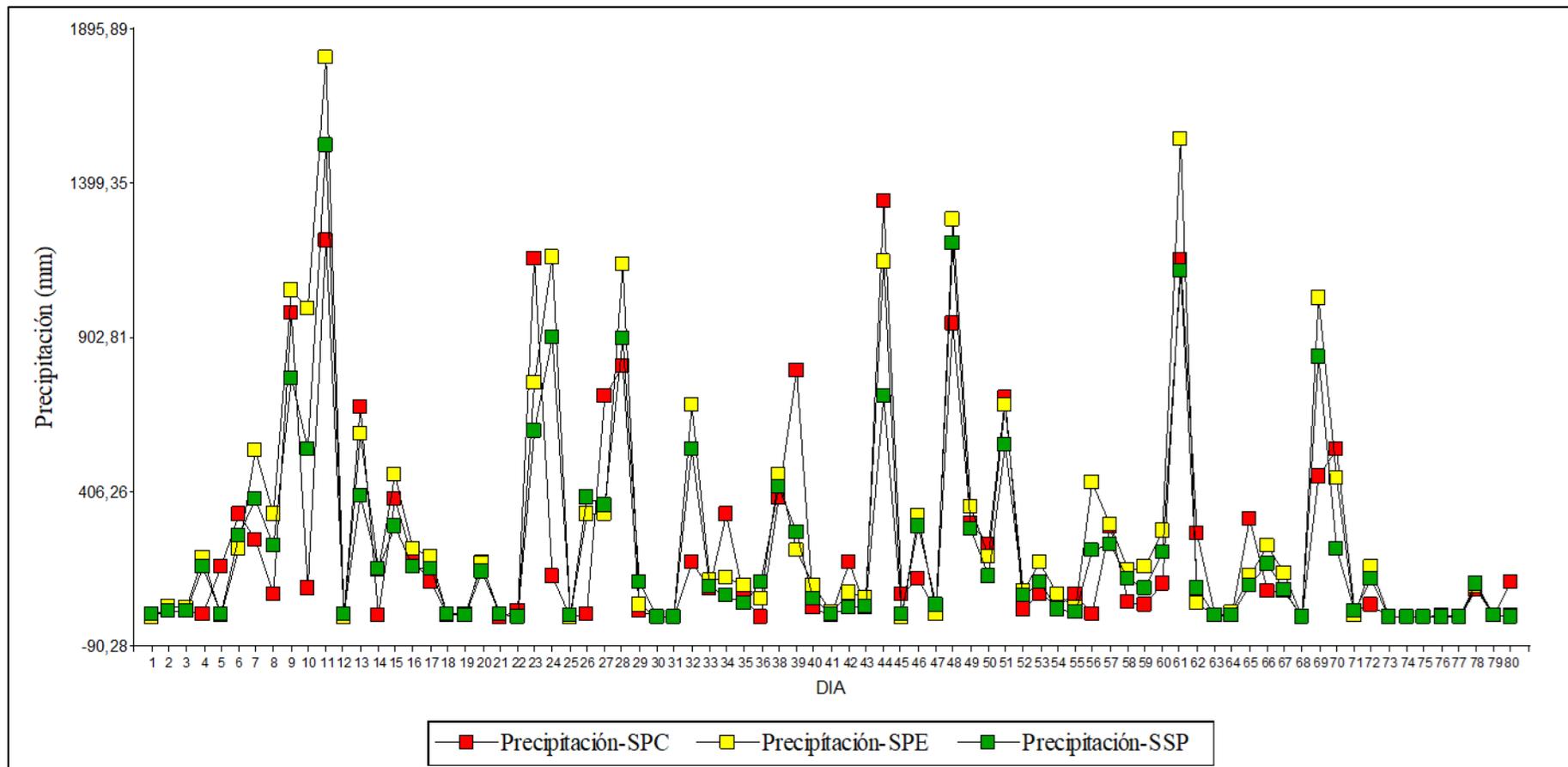


Figura 3. Comportamiento de la precipitación en tres sistemas de uso de suelo (SPC: Sistema de pasto cultivado; SPE: Sistema de pasto enmalezado y SSP: Sistema silvopastoril) durante 80 días de evaluación en el distrito de Pomacochas, Amazonas.

4.4. Escorrentía superficial

Los datos de la figura 4 muestran que existe una variación en la escorrentía bajo diferentes sistemas de uso de suelo. Generalmente el SSP siempre produjo la menor escorrentía, en tanto que el SPE produjo en promedio 82% más escorrentía que SSP. Mayo fue el mes donde se alcanzó la máxima escorrentía superficial: durante el día 61, la escorrentía superficial en el SPE alcanzó 130.44 m³/ha, el SPC y el SSP fueron de 124.14 m³/ha y 26.85 m³/ha, respectivamente. Hubo diferencias significativas entre los sistemas durante el periodo de evaluación (tabla 6), el SSP (2.16 ± 7.98 m³/ha) produjo significativamente la menor cantidad de escorrentía a diferencia de SPC (8.78 ± 25.71 m³/ha) y SPE (11.70 ± 28.91 m³/ha).

Tabla 6. Prueba de comparaciones múltiples para la escorrentía

Sistema	Medias	Error experimental
SPE	11.7 a	1.28
SPC	8.78 a	1.28
SSP	2.16 b	1.28

Medias con letras en común no son significativamente diferentes según LSD Fisher ($\alpha = 0.05$).

La correlación de Pearson entre la precipitación y la escorrentía (tabla 7) durante el periodo de estudio muestran valores de r positivos. En general, la distribución de la escorrentía sigue básicamente el patrón de cantidad de precipitación.

Tabla 7. Correlación de Pearson entre escorrentía y precipitación.

	Esc SPC	Esc SPE	Esc SSP	Pp SPC	Pp SPE	Pp SSP
Esc SPC	1.00					
Esc SPE	0.83	1.00				
Esc SSP	0.60	0.75	1.00			
Pp SPC	0.74	0.70	0.56	1.00		
Pp SPE	0.55	0.76	0.71	0.8	1.00	
Pp SSP	0.54	0.74	0.74	0.8	0.98	1.00

4.5. Erosión hídrica

El SSP produjo la menor erosión hídrica, en tanto que, el SPC produjo en promedio 90% más erosión que SSP. La mayor pérdida de suelo se generó para el día 23 y 61 (figura 5). Además, se observa una generación consistente de sedimentos para los sistemas en el orden de SPC>SPE>SSP para el periodo de

estudio. En tanto, para el día 23 el SPC alcanzó una erosión notablemente superior de 9826.083 kg/ha en comparación con los SPE (289.432 kg/ha) y SSP (42.464 kg/ha). Se detectó diferencias significativas en la producción de sedimentos entre los sistemas (tabla 8), siendo significativamente menor el SSP (73.83 kg/ha) y significativamente mayor el SPC (761.29 kg/ha).

Tabla 8. Prueba de comparaciones múltiples para la erosión hídrica.

Sistema	Medias		Error experimental
SPC	761.29	a	100.60
SPE	437.37	b	100.60
SSP	73.83	c	100.60

Medias con letras diferentes son significativamente diferentes según LSD Fisher ($\alpha = 0.05$).

La correlación de Pearson entre la precipitación y la erosión hídrica (tabla 9) durante el periodo de estudio muestran valores de r positivos, es decir el rendimiento de sedimentos fue consistente para la cantidad de precipitación correspondiente.

Tabla 9. Correlación de Pearson entre precipitación y erosión

	Ero SPC	Ero SPE	Ero SSP	Pp SPC	Pp SPE	Pp SSP
Ero SPC	1.00					
Ero SPE	0.80	1.00				
Ero SSP	0.78	0.96	1.00			
Pp SPC	0.68	0.51	0.46	1.00		
Pp SPE	0.62	0.71	0.69	0.53	1.00	
Pp SSP	0.35	0.44	0.51	0.34	0.37	1.00

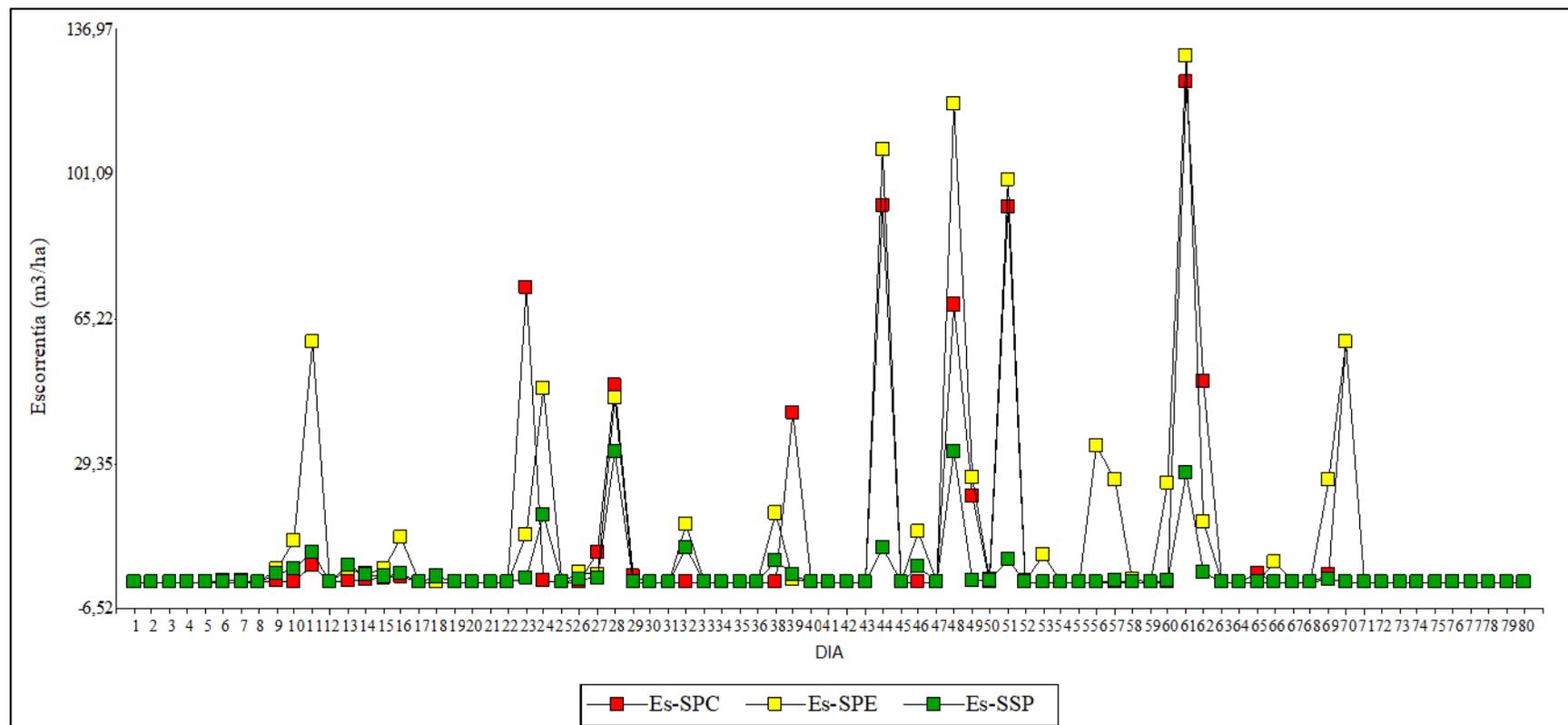


Figura 4. Comportamiento de la escorrentía superficial en tres sistemas de uso de suelo (SPC: Sistema de pasto cultivado; SPE: Sistema de pasto enmalezado y SSP: Sistema silvopastoril) durante 80 días de evaluación en el distrito de Pomachochas, Amazonas.

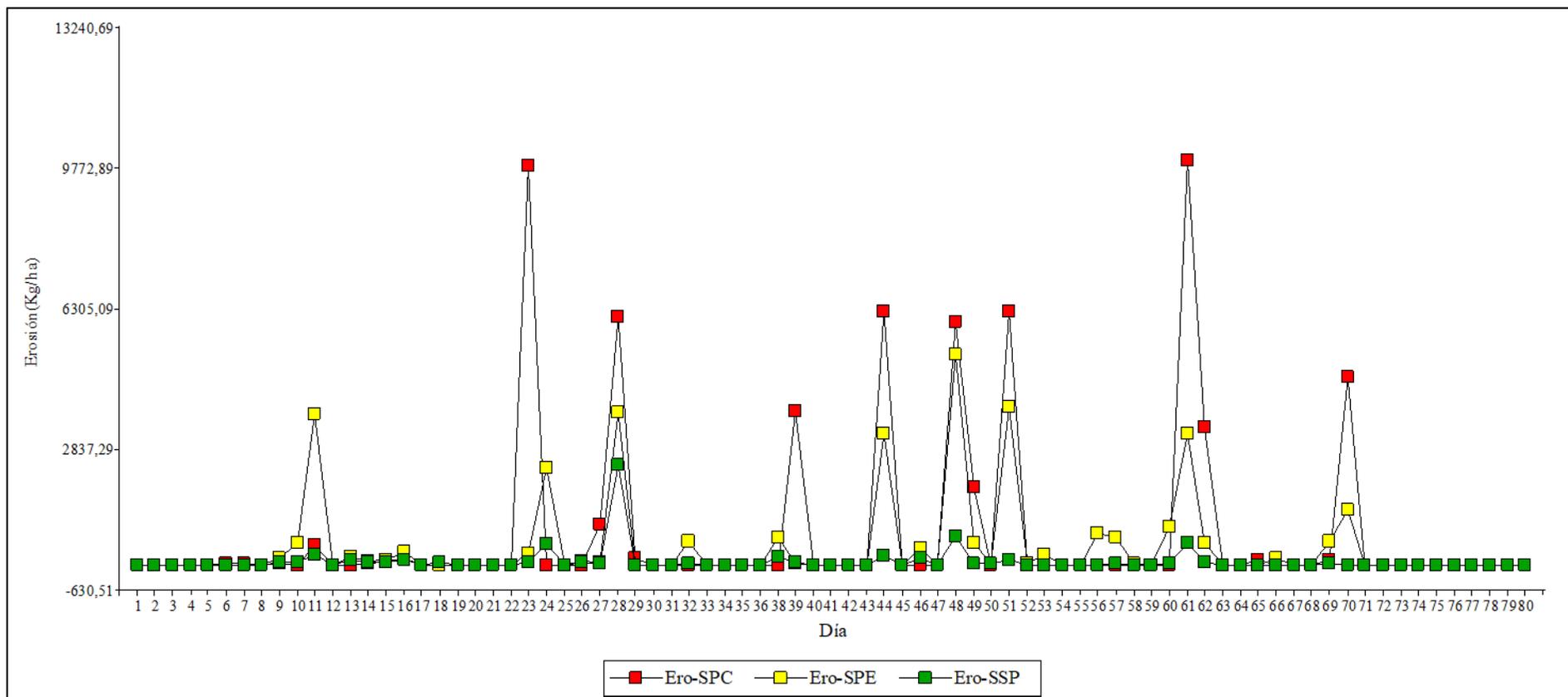


Figura 5. Comportamiento de la erosión hídrica en tres sistemas de uso de suelo (SPC: Sistema de pasto cultivado; SPE: Sistema de pasto enmalezado y SSP: Sistema silvopastoril) durante 80 días de evaluación en el distrito de Pomacochas, Amazonas.

V. DISCUSIÓN

La precipitación es la variable ambiental más importante, sin embargo, su efecto sobre el ecosistema es difícil de entender, ya que las diferentes características de la precipitación influyen de maneras diferentes sobre las variables de interés. La escorrentía y erosión son afectadas principalmente por la magnitud, intensidad, velocidad terminal y diámetro de gota de lluvia para eventos de precipitación. Por lo tanto, la cantidad de suelo erosionado depende de la distribución de las precipitaciones y magnitud de las mismas (Hausinger, 2016). Los valores significativamente diferentes de precipitación para los sistemas evaluados sugieren la presencia de microclimas para la microcuenca Pomacochas, tal como se observa en la tabla 5 el SPC corresponde a un microclima diferente a SPE que se encuentra en una ubicación distante (figura 1). El SSP presenta valores bajos de precipitación que no se corresponden con el microclima al que pertenece, esto se explica porque los pluviómetros se ubican bajo la cobertura arbórea del aliso generando un sub registro de los datos.

Marzo fue el mes más lluvioso; sin embargo, la generación de escorrentía más alta se presentó en el mes de abril, la variación de la humedad antecedente en la capa superficial del suelo explicaría este fenómeno. Las precipitaciones incidentes de marzo aumentaron la humedad inicial del suelo indicando la posibilidad de mayor generación de escorrentía que se concretó en abril. El contenido antecedente de agua en el suelo reduce la infiltración de agua, lo que a su vez afecta la aparición de escorrentía y erosión (Caiqiong & Jun, 2016; Mounirou et al., 2012). Sarkar *et al.*, (2015) encontró que después de la ocurrencia de eventos extremos de lluvia, el régimen de humedad del suelo aumentó, desencadenando el aumento en el coeficiente de escorrentía en promedio de 0.01 a 0.03 en la India.

Los pastos pueden beneficiarse directamente de la escorrentía superficial mejorando la interceptación de las lluvias y mejorando el desarrollo de macro poros con su intrincado sistema de raíces (Molina et al., 2007). Sin embargo, en SPC la escorrentía superficial fue significativamente mayor debido a la baja cantidad y mala calidad de la cubierta vegetal, lo que disminuye la interceptación de las gotas de lluvia de manera que impactan directamente en la superficie del suelo (Mohammad & Adam, 2010). Además, el sobrepastoreo sumado a la falta

de medidas de conservación del suelo, reducen su infiltración y aumentan la escorrentía superficial (Algeet-Abarquero et al., 2015).

Los resultados no indican diferencias significativas de escorrentía superficial para SPE y SPC; sin embargo, la precipitación como factor desencadenante de escorrentía fue 25 % menor para SPC. Las actividades antropogénicas como intensidad y frecuencia de pastoreo explican el aumento de escorrentía alcanzando valores semejantes a SPE, tal como se demuestra en estudios similares (Molina et al., 2007; Tian et al., 2019). Pese a ello, se evidencia la influencia de la precipitación sobre la escorrentía, a medida que aumenta la precipitación la escorrentía es mayor con sus consecuentes efectos sobre la pérdida de suelo.

Por el contrario, SSP generó 82 % menos escorrentía en comparación con SPE a pesar de su baja cobertura vegetal a nivel del suelo. Sin embargo, SSP fue el único sistema con cobertura arbórea cuya influencia está relacionada con disminución de la escorrentía. Las gotas de lluvia son interceptadas por la cobertura arbórea, algunas pueden evaporarse directamente y nunca llegar al suelo; además el tronco vegetal actúa ralentiza el flujo terrestre (Ríos, 2006) y los sistemas de raíces de los árboles juegan un papel importante en la disminución de la escorrentía al mejorar las características del suelo (Mohammad & Adam, 2010). Hausinger (2016) demostró en Honduras que los sistemas agroforestales reducen en promedio el 70% de escorrentía superficial en comparación con suelos de pasto natural. La FAO (2018) demostró que sistemas convencionales de cultivo producen significativamente cuatro veces más escorrentía que sistemas agroforestales de Kuxur Rum de 7 y 14 años.

SPC mostró los valores más altos de erosión a pesar de que en promedio no presentó los valores más altos de escorrentía. Es evidente que el sobrepastoreo conduce a la ruptura de la estabilidad de los agregados, la pérdida de la cubierta vegetal, la exposición de las partículas del suelo al impacto directo de las gotas de lluvia y el consecuente desprendimiento. Finalmente las partículas resultantes son fácilmente transportadas por el efecto de dilución del sedimento en el agua de escorrentía (Yasar, 2018). En el SSP, la erosión hídrica se redujo hasta el 90% en comparación con los otros sistemas, en principio porque la cantidad de escorrentía superficial era menor y, por el aporte con materia orgánica al suelo (mantillo) de

la cobertura arbórea, como se sustenta en estudios similares (El Kateb et al., 2013). Esto sugiere que la adición de materia orgánica puede ayudar en la conservación del agua y suelo.

En promedio la erosión hídrica para la microcuenca Pomacochas fue de 424.16 kg/ha que abarcó sitios con pendientes entre 23 – 28%, valor considerablemente menor al obtenido por Vásquez & Tapia (2011) para las laderas semiáridas de la sierra peruana que alcanzó las 45 tn/ha para pendientes de laderas entre 18 – 40%. La pérdida por erosión sumamente alta para la sierra peruana se debe a las condiciones semiáridas y la amplitud de las pendientes características de la zona de estudio, sumada la presión demográfica y malas prácticas agrícolas, por tanto, estos ecosistemas son altamente frágiles. El SENAMHI (2017), haciendo uso de los Sistemas de Información Geográfica y Teledetección, empleó la metodología RUSLE para estimar la erosión hídrica en la región hidrológica Atlántico 09 que abarca la microcuenca de esta investigación, obteniendo una pérdida de suelo promedio de 1.4 tn/ha, el valor es ligeramente superior porque emplean una metodología paramétrica (RUSLE) cuyos valores de entrada son obtenidos de fuentes indirectas, lo que conduce a la sobreestimación.

Goñas (2017), investigó la pérdida de suelo en dos sistemas de producción ganadera en suelos con pendiente de 6% en el distrito de Pomacochas, empleando parcelas de escorrentía y obteniendo 48 muestras de erosión para un año de estudio; los resultados obtenidos demuestran que el sistema silvopastoril presenta menor pérdida de suelos por efecto de la erosión obteniendo una pérdida de 585.1 kg/ha/año frente a sistemas ganaderos a campo abierto con pérdidas de 968 kg/ha/año. Resultados ligeramente consistentes con los obtenidos en este estudio, sin embargo, la mayor diferencia se muestra en el sistema silvopastoril dónde para el caso de nuestra investigación la erosión promedio fue de 73.83 kg/ha/año. A pesar de emplear en ambos estudios parcelas de escorrentía para la obtención de las variables, la diferencia en los valores obtenidos se sustenta en la frecuencia de lectura de los mismos. Goñas realizó 2 lecturas mensuales para las variables de interés, es decir obtenía valores acumulados para escorrentía y erosión lo que condujo a una falta de exactitud; a diferencia de nuestro estudio donde las lecturas se realizaron diariamente. También hay que considerar que la precipitación como factor desencadenante de procesos erosivos fluctúa cada año, lo que

inevitablemente conduce a la obtención de resultados diferentes para una misma microcuena en diferentes años de estudio.

El uso de la tierra y la vegetación juegan un papel decisivo en la generación de escorrentía superficial y erosión en áreas antropogénicas (Yasar, 2018). En las condiciones en las cuales se realizó la investigación, las áreas con vegetación degradada por sobrepastoreo con baja calidad de preservación aumentaron la degradación del suelo. El SSP redujo significativamente la escorrentía que a su vez conduce a la reducción de la erosión hídrica; por lo tanto, el riesgo de escorrentía y erosión puede reducirse aumentando el crecimiento de especies arbóreas para mantener una cubierta vegetal adecuada y con aporte estable de materia orgánica. Además, los sistemas de gestión, que se centren en lograr una estabilidad de la cobertura vegetal en términos de resistencia y resiliencia para mantener sus funciones, son apropiados para fines de conservación del suelo y agua.

Los resultados obtenidos se pueden utilizar para la planificación territorial, así como en la evaluación ambiental a los cambios en el uso del suelo en el contexto actual de cambio global. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para mejorar las estimaciones con registros más extensos y analizar los patrones en escalas temporales y espaciales mayores.

VI. CONCLUSIONES

Los principales sistemas de usos de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca Pomacochas identificados fueron, los sistemas de pastos cultivados (SPC), sistemas de pasto enmalezado (SPE) y sistemas silvopastoril (SSP). Este último fue el que menor cobertura a nivel del suelo presenta (87.60 %), sin embargo, fue el único con cobertura vegetal arbórea (66.30%).

el comportamiento de la escorrentía superficial durante meses lluviosos para cada sistema de uso de suelo sigue básicamente el patrón de cantidad de precipitación; es decir, mayores niveles de precipitación acarren mayores niveles de escorrentía. Sin embargo, factores como el sobrepastoreo explican la mayor la mayor generación de escorrentía en SPC.

Se determinó que la variable desencadenante de la pérdida de suelo es la precipitación, la prueba de correlación de Pearson demostró que el rendimiento de sedimentos es consistente con la cantidad de precipitación. Los resultados sugieren que la cobertura vegetal de SSP tiene una gran influencia en la erosión, ya que reduce la cantidad de precipitación que incide directamente en el suelo, reduciendo la escorrentía superficial y consecuentemente la erosión.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar con las mediciones de campo para los parámetros anteriormente descritos en una mayor escala temporal y espacial, permitiendo incrementar la base de datos, contribuyendo a un universo más amplio de arreglos que permitan recomendar planes de conservación más beneficiosos para los pobladores en términos ambientales y económicos.

Se recomienda realizar estudios complementarios que incluyan otras variables hidrológicas como: infiltración, compactación del suelo y/o humedad antecedente que permitan respaldar los resultados encontrados, conocer a mayor detalle la influencia de la cobertura vegetal y estimar con más precisión la pérdida de suelo.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Algeet-Abarquero, N., Marchamalo, M., Bonatti, J., Fernández-Moya, J., & Moussa, R. (2015). Implications of land use change on runoff generation at the plot scale in the humid tropics of Costa Rica. *Catena*, *135*, 263–270.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.08.004>
- Caiqiong, Y., & Jun, F. (2016). Application of HYDRUS-1D model to provide antecedent soil water contents for analysis of runoff and soil erosion from a slope on the Loess Plateau. *Catena*, *139*, 1–8.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.11.017>
- El Kateb, H., Zhang, H., Zhang, P., & Mosandl, R. (2013). Soil erosion and surface runoff on different vegetation covers and slope gradients: A field experiment in Southern Shaanxi Province, China. *Catena*, *105*, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.12.012>
- FAO. (2018). *Caracterización de los sistemas agroforestales Kuxur Rum y Quesungual en el corredor seco de Guatemala y Honduras*.
- Fayas, C. M., Abeysingha, N. S., Nirmanee, K. G. S., Samaratunga, D., & Mallawatantri, A. (2019). Soil loss estimation using rusle model to prioritize erosion control in KELANI river basin in Sri Lanka. *International Soil and Water Conservation Research*, *7*(2), 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.01.003>
- Gelagay, H. S., & Minale, A. S. (2016). Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, *4*(2), 126–136.
<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.01.002>
- Goñas, N. (2017). *Pérdida de suelo por erosión hídrica en dos sistemas de producción en pastos en el distrito de Pomacochas-Bongará, región Amazonas* (pp. 1–41).
- Hausinger, I. (2016). *Monitoreo ambiental en zonas de recarga hídrica en el Trifinio* (pp. 0–94).
- Luo, Z., Deng, L., & Yan, C. (2015). Soil erosion under different plant cover types and its influencing factors in Napahai Catchment, Shangri-La County, Yunnan Province, China. *International Journal of Sustainable Development and World*

- Ecology*, 22(2), 135–141. <https://doi.org/10.1080/13504509.2014.924448>
- MINAGRI, M. de A. y R., & SENAMHI, S. N. de M. e H. del P. (2017). *Reducción de la Degradación de Suelos Agrarios*.
- Mohammad, A. G., & Adam, M. A. (2010). The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. *Catena*, 81(2), 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.01.008>
- Molina, A., Govers, G., Vanacker, V., Poesen, J., Zeelmaekers, E., & Cisneros, F. (2007). Runoff generation in a degraded Andean ecosystem: Interaction of vegetation cover and land use. *Catena*, 71(2), 357–370. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.04.002>
- Mounirou, L. A., Yacouba, H., Karambiri, H., Paturel, J. E., & Mahé, G. (2012). Measuring runoff by plots at different scales: Understanding and analysing the sources of variation. *Comptes Rendus - Geoscience*, 344(9), 441–448. <https://doi.org/10.1016/j.crte.2012.08.004>
- Pinay, G., Pannard, A., Souchon, Y., Souchu, P., Moatar, F., Le Moal, M., Lefebvre, A., Étrillard, C., Ménesguen, A., Levain, A., & Gascuel-Oudou, C. (2018). Eutrophication: A new wine in an old bottle? *Science of The Total Environment*, 651, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.139>
- Ríos, J. (2006). *Comportamiento hidrológico de sistemas de producción ganadera convencional y silvopastoril en la zona de recarga de la subcuenca del río Jabonal, cuenca del río Barranca, Costa Rica* (pp. 0–116).
- Sabino, E., Felipe, O. G., & Lavado, W. C. (2017). Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas del Perú. In *Senamhi* (p. 132).
- Sarkar, R., Dutta, S., & Dubey, A. K. (2015). An insight into the runoff generation processes in wet sub-tropics: Field evidences from a vegetated hillslope plot. *Catena*, 128, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.01.006>
- Singh, G., & Panda, R. K. (2017). Grid-cell based assessment of soil erosion potential for identification of critical erosion prone areas using USLE, GIS and remote sensing: A case study in the Kapgari watershed, India. *International Soil and Water Conservation Research*, 5(3), 202–211.

<https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.006>

- Tian, S., Xu, M., Jiang, E., Wang, G., Hu, H., & Liu, X. (2019). Temporal variations of runoff and sediment load in the upper Yellow River, China. *Journal of Hydrology*, 568(May 2018), 46–56. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.033>
- Vásquez, A., & Tapia, M. (2011). *Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana*. 18(septiembre-diciembre 2011), 42–50. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70723269005%0ACómo>
- Wijesundara, N. C., Abeysingha, N. S., & Dissanayake, D. M. S. L. B. (2018). GIS-based soil loss estimation using RUSLE model: a case of Kirindi Oya river basin, Sri Lanka. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(1), 251–262. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0419-z>
- Yasar, S. (2018). *Catena Effects of the land use / cover on the surface runoff and soil loss in the Ni ğ de- Akkaya Dam Watershed , Turkey*. 163(August 2017), 233–243. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.12.023>

ANEXOS

Anexo 1. Medidas resumen de cobertura de aliso en SSP

Variable	n	Media	D.E.	E.E.	CV	Mín	Máx
%	10	66,30	5,58	1,76	8,41	59,00	77,00

Anexo 2. Medidas resumen de precipitación

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
P-SPC	315	220,52	329,51	0,00	1346,74
P-SPE	316	284,19	395,67	0,00	1809,51
P-SSP	316	222,16	318,33	0,00	1757,52

Anexo 3. Medidas resumen de escorrentía

Variable	n	Media	D.E.	CV	Mín	Máx
Es-SPC	316	8,78	25,71	292,70	0,00	147,92
Es-SPE	316	11,70	28,91	247,01	0,00	169,49
Es-SSP	316	2,16	7,98	368,55	0,00	74,88

Anexo 4. Medidas resumen de erosión

Variable	n	Media	D.E.	Mín	Máx
ERO-SPC	316	761.29	2335.61	0,00	15687.85
ERO-SPE	316	437.37	1174.18	0,00	9435.64
ERO-SSP	316	73.83	343.56	0,00	3631.87

Anexo 5. Panel fotográfico



Caracterización de la cobertura vegetal



Instalación de parcelas experimentales



Sistema de recolección de agua de escorrentía y erosión



Sistema de Pasto Cultivado



Sistema de Pasto Enmalezado



Sistema Silvopastoral



Determinación de la erosión en laboratorio