

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

**Evaluación del impacto de la producción de sedimentos aplicando un enfoque local de
identificación de áreas de infraestructura natural en la cuenca Rontoccocha – Abancay
– 2024**

Asesor:

MSc. Maldonado Mendívil, Ángel

Autor:

Gomez Achulli, Aderlee

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025



Universidad Tecnológica de los Andes

Transformando vidas

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 024

En la ciudad de Abancay año 2025 en el mes de febrero día viernes del 28 siendo las 11:00 de la mañana, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0192-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 20 de febrero del 2025, de la Escuela Profesional de Facultad de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

| | |
|---------------|------------------------------------|
| Presidente : | Dra. Vera Teves, Rosa Marina |
| Dictaminante: | Ing. Espinoza Asto, Edwin Reynaldo |
| Replicante : | Ing. Gamarra Mota, Rubén |

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Evaluación del impacto de la producción de sedimentos aplicando un enfoque local de identificación de áreas de infraestructura natural en la cuenca Rontoccocha-Abancay-2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Gomez Achulli, Aderlee

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

| Bachiller (Apellidos y Nombres) | Calificación (**) |
|---------------------------------|-------------------|
| Gomez Achulli, Aderlee | Aprobado |

Siendo las 13:00 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Dra. Vera Teves, Rosa Marina

Dictaminante: Ing. Espinoza Asto, Edwin Reynaldo

Replicante: Ing. Gamarra Mota, Rubén

Abancay 06 de marzo del 2025

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 322.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 321559
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565
Filial Andahuaylas, Juan Antonio Trelles N° 513 Teléfono (083) 421752
www.utaa.edu.pe

(*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.
(**) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.




22% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 17%  Fuentes de Internet
- 6%  Publicaciones
- 15%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

| Datos del Autor | |
|--|---|
| Apellidos y Nombres | : Gomez Achulli Aderlee |
| Tipo de documento de identidad | : DNI |
| Número de documento de identidad | : 70821975 |
| URL ORCID | : https://orcid.org/0009-0009-2505-915X |
| Datos del asesor | |
| Apellidos y Nombres | : Maldonado Mendivil Ángel |
| Tipo de documento de identidad | : DNI |
| Número de documento de identidad | : 06788424 |
| URL ORCID | : https://orcid.org/0000-0001-9002-1910 |
| Datos de la investigación | |
| Escuela | : Ingeniería |
| Escuela Profesional | : Ingeniería Civil |
| Línea de investigación | : Gestión de la infraestructura para el desarrollo sostenible |
| Rango de años en que se realizó la investigación | : 2024 |
| Fuente de financiamiento | : Autofinanciado |
| Porcentaje de similitud | : 22% |
| URL de OCDE | : https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 |

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi padre Juan, quien ya no está a mi lado, pero cuyo amor y recuerdo permanecen profundamente arraigados en mi ser. Su presencia sigue viva en cada uno de mis logros, y su cariño me acompaña siempre.

A mi madre Romalda, mi más sincero agradecimiento por su amor incondicional, su apoyo constante y su infinita paciencia. Ella es un verdadero ejemplo de lucha y superación para todos sus hijos. Gracias, mamá, por ser mi guía, mi fortaleza y mi inspiración. Estaré eternamente agradecido.

A mi hermana, a mis hermanos, a mis cuñados(as) y a la persona que me acompaña, les expreso mi gratitud más profunda por su constante apoyo. Su compañía ha sido un pilar fundamental en mi vida. Gracias por estar presentes, por creer en mí y en mis sueños. Este logro es tan vuestro como mío.

Aderlee Gomez Achulli

Agradecimiento

A la Universidad Tecnológica de los Andes, y a todos los ingenieros civiles de la carrera, quienes han dedicado su tiempo, paciencia y sacrificio para compartir sus vastos conocimientos y experiencias, completando así nuestra educación profesional de manera integral.

A mi asesor, Ing. Ángel Maldonado Mendívil, expreso mi más sincero agradecimiento por su respaldo constante, Al Ing. Danny Daniel Saavedra Ore, mi mentor quien no solo me brindó su apoyo incondicional en cada etapa del proceso, sino que también me brindo instrucciones precisas y detalladas de la investigación. Su compromiso con mi formación fue más allá del ámbito académico, ya que también me brindó apoyo moral en momentos difíciles, mostrándome la importancia del compañerismo y la perseverancia.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a mis amigos y compañeros, quienes con su apoyo moral me ayudaron a realizar este trabajo y que la lista sería muy extensa sin embargo ellos saben del agradecimiento profundo que les tengo.

Aderlee Gomez Achulli

Resumen

La unidad hidrográfica Rontoccocha, situada en la cabecera de la cuenca Mariño, en la ciudad de Abancay, Perú; enfrenta desafíos significativos, Por ello el objetivo de la investigación es determinar la erosión del terreno y la generación de partículas sedimentarias que afectan directamente la calidad y disponibilidad del agua. Esta zona es crucial para el suministro recurso hídrico en Abancay, ha sufrido una degradación continua por la pérdida de cobertura vegetal, el sobrepastoreo y los impactos del cambio climático. El principal reto es sostener como apta la calidad del agua para consumo humano. La investigación se aplicó el método RUSLE para cuantificar la erosión del suelo, integrando datos de precipitación, topografía, tipo de suelo y cobertura vegetal; tipo de investigación descriptivo y correlacional, nivel de investigación aplicada, enfoque cuantitativo y diseño de la investigación no experimenta. Los resultados mostraron que 2.55 km² del área presentan sedimentación superior a 100 tn/ha/año, con nivel de erosión grave en zonas de pendientes pronunciadas y escasa vegetación. Además, se da una relación directa entre la producción de sedimentos, la calidad del agua y los costos de tratamiento. A pesar de la erosión, los niveles de turbidez y pH se mantuvieron dentro de los límites máximos permisibles, es posible mitigar algunos efectos negativos. Se recomienda establecer un sistema de monitoreo continuo de la producción de sedimentos, utilizar técnicas de teledetección para mapear cambios en la erosividad, establecer un monitoreo exhaustivo en la calidad del agua y realizar evaluaciones periódicas de los costos.

Palabras clave: Ecuación universal revisada de pérdida de suelo (RUSLE), sedimento, Calidad de agua, Costo directo, Mecanismo de retribución por servicios ecosistémicos (MERESE).

Abstract

The Rontoccocha hydrographic unit, located in the upper part of the Mariño watershed, in the city of Abancay, Peru, faces significant challenges, so the objective of the research is to determine soil erosion and the generation of sedimentary particles that directly affect water quality and availability. This area is crucial for water supply in Abancay and has suffered continuous degradation due to loss of vegetation cover, overgrazing and the impacts of climate change. The main challenge is to maintain water quality for human consumption. The research applied the RUSLE method to quantify soil erosion, integrating data on precipitation, topography, soil type and vegetation cover; descriptive and correlational type of research, applied level of research, quantitative approach and non-experimental research design. The results showed that 2.55 km² of the area present sedimentation higher than 100 tn/ha/year, with severe erosion level in areas with steep slopes and scarce vegetation. In addition, there is a direct relationship between sediment production, water quality and treatment costs. Despite erosion, turbidity and pH levels remained within the maximum permissible limits, it is possible to mitigate some negative effects. In addition, there is a direct relationship between sediment production, water quality and treatment costs. Despite erosion, turbidity and pH levels remained within the maximum permissible limits, it is possible to mitigate some negative effects. It is recommended to establish a continuous monitoring system for sediment production, use remote sensing techniques to map changes in erosivity, establish comprehensive water quality monitoring, and conduct periodic cost assessments.

Keywords: Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Sediment, Water Quality, Direct Cost, Mechanism of Remuneration for Ecosystem Services (MERESE).

Índice general

| | |
|---|-------------|
| Portada | i |
| Acta de sustentación | ii |
| Reporte de similitud | iii |
| Metadatos | iv |
| Dedicatoria | v |
| Agradecimiento | vi |
| Resumen | vii |
| Abstract | viii |
| Índice general | ix |
| Índice de Tablas | xiv |
| Índice de figuras | xv |
| Índice de anexos | xvi |
| I. Introducción | 17 |
| II. Planteamiento del problema | 19 |
| 2.1. Descripción y formulación del problema | 19 |
| 2.1.1. Formulación del problema..... | 22 |
| 2.1.2. Problema general | 22 |

| | |
|---|-----------|
| 2.1.3. Problemas específicos..... | 22 |
| 2.2. Objetivos..... | 23 |
| 2.2.1. Objetivo general | 23 |
| 2.2.2. Objetivos específicos | 23 |
| 2.3. Justificación e importancia | 23 |
| 2.4. Hipótesis | 25 |
| 2.4.1. Hipótesis general | 25 |
| 2.4.2. Hipótesis específicas..... | 25 |
| 2.5. Variables..... | 26 |
| III. Marco Teórico..... | 28 |
| 3.1. Antecedentes de la investigación..... | 28 |
| 3.2. Bases teóricas | 35 |
| 3.2.1. Suelo | 35 |
| 3.2.1.1. Propiedades del suelo | 36 |
| 3.2.2. Erosión hídrica..... | 37 |
| 3.2.2.1. Proceso de erosión hídrica..... | 37 |
| 3.2.2.2. Las principales formas de erosión hídrica | 39 |
| 3.2.2.3. Agentes que intervienen en la erosión hídrica..... | 40 |
| 3.2.3. Calidad de agua | 47 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 3.2.3.1. | Turbidez..... | 47 |
| 3.2.3.2. | PH del agua..... | 49 |
| 3.2.4. | Costo de producción de agua potable..... | 50 |
| 3.3. | Definición en términos | 52 |
| IV. | Metodología..... | 57 |
| 4.1. | Tipo y nivel de investigación..... | 57 |
| 4.1.1. | Tipo de investigación | 57 |
| 4.1.2. | Nivel de investigación | 57 |
| 4.2. | Ámbito temporal y espacial..... | 58 |
| 4.2.1. | Ámbito temporal..... | 58 |
| 4.2.2. | Espacial..... | 58 |
| 4.3. | Población, muestra | 59 |
| 4.3.1. | Población | 59 |
| 4.3.2. | Muestra..... | 59 |
| 4.4. | Instrumentos | 59 |
| 4.4.1. | Instrumentos | 59 |
| 4.4.1.1. | Ficha de observación o cotejo | 59 |
| 4.4.1.2. | GPS (Sistema de Posicionamiento Global) | 60 |
| 4.4.1.3. | ArcGis..... | 60 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4.1.4. Pluviómetro | 61 |
| 4.4.1.5. Turbidímetro..... | 62 |
| 4.4.1.6. Peachimetro | 62 |
| 4.4.2. Técnicas | 63 |
| 4.4.2.1. Observación directa | 63 |
| 4.4.2.2. Análisis documental | 63 |
| 4.5. Procesamientos | 63 |
| 4.6. Análisis de datos..... | 64 |
| 4.7. Consideraciones éticas..... | 65 |
| V. Resultados y discusión..... | 66 |
| 5.1. Resultados..... | 66 |
| 5.1.1. Impacto de la Producción de sedimentos. | 66 |
| 5.1.2. Producción de sedimentos en la calidad del agua..... | 76 |
| 5.1.3. Costo de producción de agua para consumo humano..... | 80 |
| 5.1.3.1. Captación | 81 |
| 5.1.3.2. Transporte y distribución..... | 81 |
| 5.1.3.3. Tratamiento y operación..... | 82 |
| 5.1.3.3.1. Tratamiento con sulfato de aluminio | 82 |
| 4.2. Discusión | 88 |

| | | |
|--------------|---|------------|
| VI. | Conclusiones..... | 93 |
| VII. | Recomendaciones..... | 94 |
| VIII. | Referencias Bibliográficas | 95 |
| IX. | Anexos..... | 105 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Indicadores de las Variables en Estudio | 27 |
| Tabla 2 Calculo del factor P, según la pendiente y las tres prácticas de control de erosión | 46 |
| Tabla 3 Estaciones pluviométricas alrededor del área de estudio | 66 |
| Tabla 4 Precipitación mensual de dos años hidrológicos (mm) | 67 |
| Tabla 5 Precipitación anual de dos años hidrológicos (mm)..... | 68 |
| Tabla 6 Tipo de suelo (Lithosuelos) | 70 |
| Tabla 7 Clasificación de niveles de erosión | 74 |
| Tabla 8 Características de la red de distribución de agua potable..... | 81 |
| Tabla 9 Valores mínimos y máximos de dosificación de sulfato de aluminio | 83 |
| Tabla 10 Costos mínimos de sulfato de aluminio..... | 85 |
| Tabla 11 Costos máximos de sulfato de aluminio..... | 86 |
| Tabla 12 Gastos generales proyectados entre 2019 y 2024..... | 86 |
| Tabla 13 Costos de operación y mantenimiento anuales..... | 87 |

Índice de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Proceso de erosión hídrica | 38 |
| Figura 2 Esquema de metodología | 41 |
| Figura 3 Esquema de proceso para determinar la turbidez..... | 48 |
| Figura 4 Esquema de proceso para determinar la turbidez..... | 49 |
| Figura 5 Equipo de Peachimetro | 50 |
| Figura 6 Representación gráfica de GPS..... | 60 |
| Figura 7 Software ArcGis..... | 61 |
| Figura 8 Representación gráfica de pluviómetro..... | 61 |
| Figura 9 Representación gráfica de turbidímetro | 62 |
| Figura 10 Representación gráfica de peachimetro | 62 |
| Figura 11 Precipitación mensual de dos años hidrológicos de los cinco pluviómetros | 68 |
| Figura 12 Resultado del mapa del factor Erosibilidad (R) | 69 |
| Figura 13 Factores empíricos para el cálculo de la erosión..... | 72 |
| Figura 14 Producción de Erosión en la cuenca Rontoccocha (tn/ha/año) | 73 |
| Figura 15 Mapeo según la tabla de clasificación de perdida de suelos de Producción de Erosión de suelos en la cuenca Rontoccocha (tn/ha/año) | 75 |
| Figura 16 Valores de turbiedad del agua obtenidos en diferentes meses | 77 |
| Figura 17 Valores comparados del parámetro turbidez..... | 78 |
| Figura 18 Valores de PH medido en diferentes meses | 79 |
| Figura 20 Valores de PH comparados | 80 |

Índice de anexos

| | |
|--|-----|
| Anexo 1 Matriz de Consistencia | 105 |
| Anexo 2 Indicadores de las Variables en Estudio | |
| Anexo 3 Delimitación espacial de la unidad hidrológica Rontoccocha..... | 106 |
| Anexo 4 Cronograma de actividades | 108 |
| Anexo 5 Formato de toma de muestra de PH y Turbiedad | 109 |

I. Introducción

La erosión hídrica representa una de las trascendentales amenazas para el desarrollo sostenible de los ecosistemas y la disponibilidad de recursos hídricos a nivel global. En el Perú, este fenómeno se ve exacerbado por las características geográficas del país, particularmente en regiones montañosas como la sierra de Apurímac. La unidad hidrográfica Rontoccocha, la cual se localiza en la parte superior de la cuenca Mariño en Abancay, no es ajena a esta problemática. Esta zona, crucial al suministrar agua a la ciudad, enfrenta desafíos significativos debido a la reducción de la cubierta vegetal y con ello a la deterioración del suelo y los impactos del cambio climático.

Para contrarrestar estos efectos, a nivel mundial se están llevando a cabo iniciativas para implementar esquemas de Pago por Servicios Ecosistémicos (PSE), convirtiéndose en una de las herramientas de políticas públicas más fomentados y ampliamente aceptados (Okiria al., 2021; Gaglio al., 2023; Mamedes al., 2023; López al., 2020; Perevochtchikova al., 2021). Estos esquemas buscan mejorar la administración de cuencas hidrográficas y mantener la calidad del agua, destacando estrategias como la conservación de vegetación nativa y la restauración de áreas erosionadas (Rigonato et al., 2023).

En el Perú, alineado con esta tendencia global, la Ley N°30215 ha establecido la implementación de los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MERESE). Estos mecanismos están diseñados para financiar la protección y la restauración del medio ambiente en las áreas de captación de agua de las Empresas Prestadoras de servicios (EPS), reconociendo la naturaleza multidimensional del agua y la importancia de identificar procesos y barreras que afectan directamente a los sistemas socio-ecológicos (Dextrea et al., 2022). En

ese sentido desde el 2019, la implementación del MERESE es obligatoria para las EPS, según el D.S. N°019-2017-VIVIENDA.

En este contexto, la EPS EMUSAP ABANCAY S.A., con el apoyo de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), ha implementado un plan de acuerdos con las Comunidades Campesinas de Atumpata y Micaela Bastidas en el sector de Rontoccocha. Desde el 2019, se han realizado diversas intervenciones, incluyendo la forestación utilizando especies de árboles locales, la plantación de ichu, la salvaguarda de áreas reforestadas mediante cercos perimétricos, construcción de diques naturales, entre otras acciones de conservación.

El presente estudio propone evaluar la efectividad de estas intervenciones y proporcionar una base científica para futuras acciones. Para alcanzar este objetivo, se aplicó el método RUSLE (“Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada”), integrando una variedad de datos, como la cantidad de precipitación, las características topográficas, el tipo de suelo presente y la cobertura vegetal existente. Mencionado enfoque, permitirá cuantificar la erosión del suelo, mapear su distribución espacial y analizar el impacto de las intervenciones realizadas.

La principal finalidad de este estudio, es determinar cómo la producción de sedimentos afecta a la cuenca arreica Rontoccocha, aplicando un enfoque local para identificar áreas críticas y priorizar intervenciones mediante infraestructura natural. Específicamente, se busca: (1) determinar la incidencia de la producción de sedimentos en el factor de erosividad, (2) evaluar el efecto en la calidad del agua, y (3) analizar las implicaciones en los costos de obtención de agua potable. A través de estos objetivos, se espera generar información crucial para la mejora de mecanismos efectivos de conservación y administración sostenible de la cuenca,

contribuyendo así a la optimización de los programas MERESE y a la mejora de la gestión de recursos hídricos.

II. Planteamiento del problema

2.1.Descripción y formulación del problema

La erosión hídrica, agravada por las consecuencias del cambio climático, ha emergido como una problemática de alcance global, con repercusiones devastadoras en la esfera económica y el bienestar general de las comunidades. La erosión afecta a la calidad del recurso hídrico destinado para el consumo humano, resultando en un incremento de los costos de tratamiento del cuerpo hídrico en las plantas potabilizadoras (Piaggio & Siikamäki, 2021). Países como México, vulnerables a los cambios en la precipitación, han experimentado una intensificación en la erosión del suelo, afectando negativamente la productividad agrícola y generando impactos económicos significativos (Calixto Flores & Silva Mar, 2023; Gutiérrez, 2020).

Además del aumento en la precipitación debido al cambio climático, otros factores a considerar son la alteración en el uso del terreno, la deforestación, los incendios y la construcción de carreteras también contribuyen al incremento de la producción de sedimentos (Saavedra et al., 2024). Esta problemática ejerce un impacto especialmente significativo en naciones ubicadas en regiones tropicales, subtropicales y con climas áridos, manifestándose de manera más pronunciada en África, donde afecta al 65 % de las áreas de cultivo, seguido por Latinoamérica con un 51 % y Asia con un 38 % (Liou & Galindo, 2020).

La magnitud del problema es alarmante, con estimaciones que revelan que entre el 15% y el 26% de las tierras agrícolas en el Caribe y el Lationamérica han enfrentado problemas de erosión (Tarakanov, 2023). La intensidad de la erosión durante eventos de lluvia se correlaciona estrechamente con la energía erosiva de los escurrimientos, subrayada a la importancia de

gestionar y comprender eficientemente el flujo de agua en el paisaje para mitigar sus efectos (Pedroza-Parga et al., 2022). Este fenómeno se ve exacerbado por una serie de labores humanas, como la construcción de infraestructuras, la expansión urbana y la extracción de recursos, que alteran la cubierta vegetal y aumentan la vulnerabilidad del suelo con respecto a la erosión (Abbondanza, 2019). Además, la erosión y el deterioro del terreno no solo amenaza la naturaleza y productividad del suelo, sino que también constituyen una amenaza a la estabilidad económica global (Vargas, 2022). Esta degradación de las tierras afecta aproximadamente al 40% de la superficie terrestre del planeta, poniendo en peligro la mitad del PIB mundial (United Nations Convention to Combat Desertification, 2022).

En el Perú, el cambio climático ha intensificado la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas en la región andina al acelerar el proceso de retroceso glaciares en los Andes, lo que incrementa el riesgo de erosión en áreas con altas pendientes y escasez de cobertura vegetal (Lozano-Povis et al., 2021). Esta situación también afecta el uso del agua para consumo poblacional, ya que la erosión contribuye a la sedimentación de ríos y embalses, reduciendo el acceso y calidad del agua para las comunidades (Saavedra et al., 2024). La geografía montañosa del país y la presencia de importantes ríos como el Amazonas y el Ucayali hacen que el Perú se posicione como uno de los importantes generadores de sedimentos a nivel global (Sanjurjo-Vílchez & Bendayán-Acosta, 2024). Este fenómeno es especialmente notable en valles áridos y semiáridos, como en la provincia de Tacna, donde la disponibilidad de agua se ha visto comprometida, afectando tanto a la agricultura como al suministro de agua potable. Los cultivos han experimentado una reducción significativa en sus rendimientos debido a la erosión del suelo, lo que, a su vez, impacta en la seguridad hídrica y alimentaria de las poblaciones locales

(Condori Tintaya et al., 2022). La combinación de erosión y sedimentación no solo amenaza los ecosistemas, además se plantea un desafío crítico para la gestión sostenible del agua en el país.

A nivel local, en la ciudad de Abancay, el crecimiento urbano desordenado desde la década de los 80, ha generado una serie de problemas ambientales, entre ellos: la erosión del suelo por la disminución de cobertura vegetal. La migración desde zonas rurales hacia la ciudad debido a la crisis social, resultando en un crecimiento explosivo y espontáneo que ha contribuido al desorden urbano (Ramos Acuña et al., 2022).

La presente investigación se realizó en la cuenca Rontoccocha, ubicada en la provincia de Abancay de la región de Apurímac, el cual cuenta con una extensión de área de 8,9 km² y una altitud entre 4200 a 4660 m.s.n.m. Los principales usos del suelo en esta unidad hidrográfica incluyen los pajonales, que cubren 593,76 hectáreas, representando el 80,03% del área total; los bofedales, con 139,33 hectáreas, equivalentes al 17,55%; y los bosques de Polylepis, que ocupan 22,29 hectáreas, constituyendo el 2,42% del área. Esta cuenca viene presentando problemas como la producción de sedimentos a causa de proceso de degradación por la pérdida de forma parcial o total de sus componentes de cubierta vegetal y suelo, los cuales son cada vez más afectadas por la intervención del poblador que desarrolla actividades económicas (por ejemplo, sobre pastoreo de animales, cultivo de papa, entre otros), dentro de la zona de estudio. Adicionalmente, el impacto del cambio climático y uso de suelo no permiten una buena hidratación y recuperación de los ecosistemas, como en el caso de los bofedales y cuerpos hídricos, a causa de esto también se tiene otro problema con la calidad del agua donde esta cuenca es una de las más importantes fuentes que aporta a la ciudad de Abancay.

Por otro lado, en la región, representa una fuente clave de recursos hídricos para la capital del departamento de Apurímac (SUNASS, 2022). Se enfrenta a amenazas como las quemas forestales y crecimiento de la frontera agrícola, que han provocado la pérdida de un 30% de superficie boscosa en los últimos años. Estos factores han acelerado la rápida deterioración del terreno y la reducción en la capacidad de la biósfera para proporcionar servicios esenciales, como la regulación de la erosión y la provisión de recursos hídricos (Ruiz-Guevara, 2023).

2.1.1. Formulación del problema

2.1.2. Problema general

¿Cómo la aplicación de enfoques locales de identificación de áreas de infraestructura natural permitirá identificar las áreas con mayor producción sedimentos en la cuenca Rontoccocha, Abancay?

2.1.3. Problemas específicos

¿Cómo la aplicación de enfoques locales de identificación de áreas de infraestructura natural permitirá determinar la producción de sedimento en la cuenca Rontoccocha, Abancay?

¿Cómo la aplicación de enfoques locales de identificación de áreas de infraestructura natural permitirá determinar el impacto de la producción de sedimentos en la calidad de agua en la cuenca Rontoccocha, Abancay?

¿Cómo la aplicación de enfoques locales de identificación de áreas de infraestructura natural permitirá determinar la optimización en el costo de producción de agua potable en la cuenca Rontoccocha, Abancay?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Determinar de qué manera la aplicación de enfoques locales de identificación de áreas de infraestructura natural permitirá identificar las áreas con mayor producción sedimentos en la cuenca Rontoccocha, Abancay

2.2.2. Objetivos específicos

Establecer el impacto de la producción de sedimentos aplicando un enfoque local de identificación de áreas de infraestructura natural en la cuenca Rontoccocha, Abancay.

Determinar cómo la generación de sedimentos afecta la calidad de agua aplicando un enfoque local de identificación de áreas de infraestructura natural en la cuenca Rontoccocha, Abancay.

Determinar cómo la generación de sedimentos impacto en el costo de producción de agua potable aplicando un enfoque local de identificación de áreas de infraestructura natural en la cuenca Rontoccocha, Abancay.

2.3. Justificación e importancia

En esta investigación el es objetivo es abordar una problemática ambiental significativa en la región de Abancay, Perú, donde la degradación del suelo en las cuencas de Rontoccocha pone en peligro la calidad y accesibilidad del agua destinada al consumo de las personas. Esta situación es especialmente preocupante dado la ampliación de la población y el crecimiento urbana en Abancay, que incrementan la demanda de agua potable. La degradación en las áreas elevadas del valle puede llevar a una mayor productividad de sedimentos, afectando

negativamente las características del agua que suministra a la ciudad. Este deterioro representa efectos dañinos en la salud de la población y, adicionalmente, podría aumentar los costos asociados al tratamiento del agua. Además, la cuenca de Rontoccocha, que es una fuente esencial de agua para Abancay, enfrenta amenazas como la expansión agrícola y los incendios forestales, que han ocasionado el deterioro de suelos y la disminución de servicios ecosistémicos vitales, tales como el control de la degradación y la regulación hídrica. En consecuencia, la investigación proporcionará datos cruciales para el desarrollo y conservación de los cuerpos hídricos en la cuenca de Rontoccocha. Esto permitirá distinguir áreas clave para la intervención mediante soluciones basadas en la infraestructura natural, con el objetivo de aminorar los efectos desfavorables de la erosión del suelo y asegurar un suministro sostenible de agua de calidad para la población en crecimiento de Abancay.

Desde un enfoque técnico y metodológico, la investigación adquiere relevancia al analizar una problemática que incide directamente en poblaciones locales dependientes del recurso hídrico para el abastecimiento doméstico. La acumulación de sedimentos puede deteriorar las características del agua, lo que influye en la salud de las personas y en la viabilidad de la agricultura. Esto, a su vez, podría influir en la salud y seguridad alimentaria general de los ciudadanos. Por ende, entender cómo la erosión hídrica impacta la producción de sedimentos es crucial para asegurar la disponibilidad a agua potable y promover un desarrollo sostenible en la región.

Desde una perspectiva ambiental, esta investigación ofrece una valiosa contribución a la comprensión y conservación de los ecosistemas acuáticos y terrestres en la unidad hidrográfica de Rontoccocha, en Abancay. El desgaste del suelo y la generación de sedimentos pueden

impactar negativamente los hábitats acuáticos al alterar las características del agua y modificar la estructura del lecho del río. Asimismo, estos procesos pueden afectar los ecosistemas terrestres, reduciendo la biodiversidad y limitando la capacidad de los suelos para regenerarse. En conclusión, la investigación no solo proporciona información práctica para la gestión de los cuerpos hídricos, sino que también aborda cuestiones sociales y ambientales, contribuyendo a la calidad de vida de las personas y a la conservación de los ecosistemas.

2.4.Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Aplicando variadas estrategias en enfoques locales de identificación de áreas de infraestructura natural permitirá identificar las zonas con mayor producción de sedimentos en la cuenca Rontoccocha, Abancay.

2.4.2. Hipótesis específicas

Aplicando variadas estrategias de enfoques locales de identificación de áreas de infraestructura natural permitirá determinar el impacto de la producción de sedimentos en la cuenca Rontoccocha, Abancay.

Aplicando variadas estrategias de enfoques locales de identificación de áreas de infraestructura natural permitirá determinar el impacto en la calidad de agua en la cuenca Rontoccocha, Abancay.

Aplicando variadas estrategias de enfoques locales de identificación de áreas de infraestructura natural permitirá determinar el impacto en el costo de producción de agua para consumo humano en la cuenca Rontoccocha, Abancay.

2.5.Variables

Las variables de estudio en esta investigación se han definido del siguiente modo:

Variable dependiente: Infraestructura natural.

Variable independiente: Producción de sedimentos.

Tabla 1

Variables de operacionalización del Proyecto de investigación.

| Variable | Definición conceptual | Dimensión | Indicadores | Instrumentos |
|---|--|---|--|---|
| Dependiente: Infraestructura natural | Es una red de espacio natural que conserva las funciones de los ecosistemas y valores (Decreto Supremo - N° 017-2018-MINAM, 2018). | - Forestación - Revegetación | Ha, km^2 | GPS, ArcGis, Qgis |
| Independiente: Producción de sedimentos | Se atribuye principalmente a las precipitaciones pluviales, que provocan la dispersión y transporte de suelos debido al impacto de las gotas de lluvia y al escurrimiento superficial del agua (Skarbøvik et al., 2023). | - Sedimento - Calidad de agua - Costo de producción de agua para consumo humano | tn/ha/año - NTU - PH - m^3 /día | Qgis, Arcgis Turbidimetro Peachimetro |

Nota. Elaboración propia.

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes de la investigación

En el terreno a estudiar no se cuenta con información de trabajos de investigación que sea relacionado a la erosión de suelo con la metodología que se propuso. Por otro lado, se ha encontrado estudios similares aplicando el método RUSLE de manera geoespacial con (SIG) en otros ámbitos a nivel internacional y nacional el cual se describe lo siguiente.

Antecedentes internacionales, Según **Arias et al. (2023)**, se centraron en hallar cuantitativamente y entender la distribución espacial de la erosión hídrica en distintas cubiertas de suelo dentro de la cuenca del río Mira, en los Andes de Ecuador. Utilizando el modelo RUSLE, recopilaron datos de precipitación tanto mensual como anual, así como información sobre la composición del suelo y la topografía de la zona de estudio. Además, emplearon imágenes satelitales para evaluar la cobertura del suelo. Los datos fueron procesados con el software SAGA GIS para realizar un recorte espacial y un ajuste estadístico. Los resultados mostraron que el factor de Erodabilidad (R) oscilaba entre 208.905 y 1954.9 MJ mm/h ha año, lo que indicaba una variabilidad significativa en función de la altitud. En cuanto al factor de Erosión del suelo (K), se determinó que los valores iban desde 0 hasta 0.11 tn ha h/ ha MJ, evidenciando una alta erodabilidad en áreas con valores más altos. Por otro lado, el factor topográfico (LS) presentó valores desde 0.01 en sectores planos hasta cifras más altas en áreas con pendientes pronunciadas de hasta 67.5, lo que resalta la influencia significativa de la topografía en el transcurso de erosión. Respecto al factor de cobertura del suelo (C), se observaron valores que variaban entre 0 y 1, distribuidos de acuerdo con las diferentes coberturas vegetales presentes en la cuenca. En cuanto al factor de prácticas de conservación

(P), no se encontraron datos disponibles, por lo que se asignó un valor de 1. Al combinar estos factores en la fórmula del modelo RUSLE, se obtuvieron resultados de erosión que oscilaban desde 0 toneladas por hectárea por año hasta 63.46 toneladas por hectárea por año. En conclusión, estos hallazgos subrayan la gravedad del problema de la degradación del suelo en la cuenca estudiada, lo que podría resultar en pérdidas irreversibles de suelo si no se implementan medidas de conservación adecuadas.

Echavarría et al. (2020), desarrollaron un trabajo de investigación con el objeto de determinar cómo el cambio climático afecta la erosión del agua en zonas de pastizales y diversas formas de vegetación en Zacatecas. Utilizando el modelo RUSLE (Ecología de pérdida de suelo revisada), se examinaron cinco factores: erosividad del suelo (K), erosividad de la lluvia (R), topografía (LS), cobertura vegetal (C) y prácticas de manejo (P). Utilizando dos panoramas de emisiones (RCP 8.5 y 4.5) y proyecciones climáticas, se observó que presentaba una tendencia general al decrecimiento de la degradación hídrica a lo largo del periodo estudiado, desde el año 2010 hasta el año 2070. Bajo el escenario de emisiones RCP 4.5, se encontró que la erosión de suelos de pastizales disminuyó gradualmente, pasando de 500 toneladas por año en 2010 a 480 toneladas por año en 2070. Similarmente, para los suelos de matorral, la erosión disminuyó de 385 toneladas por año en 2010 a 351 toneladas por año en 2070. Por otro lado, bajo el escenario de emisiones RCP 8.5, se observó una tendencia similar de reducción en la erosión de suelos de pastizales y matorral a lo largo del periodo estudiado. En conclusión, estos hallazgos sugieren que el calentamiento global podría tener un efecto mitigador en la degradación hídrica del suelo en la región de Zacatecas, debido a la disminución proyectada en la precipitación pluvial. Sin embargo, es importante tener en cuenta que estos resultados están sujetos a la incertidumbre

asociada con los modelos climáticos y las proyecciones futuras, y que se necesitan más investigaciones para comprender completamente las consecuencias del calentamiento global en la degradación del suelo y sus implicaciones para la gestión de recursos naturales en la región.

En el trabajo realizado por **Martínez (2019)**, se buscó calcular la velocidad a la que el suelo se pierde debido a la erosión, y crear un mapa que represente estas pérdidas utilizando la ecuación universal revisada para la pérdida de suelos (RUSLE). La metodología empleada incluyó la recopilación de información climática, la delimitación de la cuenca, el estudio pluviométrico utilizando datos de nueve estaciones pluviométricas, el análisis de la cobertura vegetal mediante imágenes satelitales y la implementación de un sistema de información geográfica (SIG) para obtener los valores de los diferentes factores. Los resultados revelaron una variabilidad significativa en los factores que contribuyen a la degradación del suelo, con precipitaciones anuales que oscilaban entre 558 mm y 880 mm, y valores de erosividad (R) que iban desde 2550 hasta 3675 MJ*mm/ha. Además, se observaron altos valores de erodabilidad del suelo (K) en suelos con textura franco arenosa y una amplia gama de valores para el factor topográfico (LS). En la evaluación de la cobertura vegetal mostró que el 56% de la cuenca tenía una cobertura de 0.435, mientras que áreas con suelos degradados presentaban una cobertura de 1. En cuanto a la práctica de conservación (P), se consideró que la cuenca carecía de esta práctica. Los resultados indicaron que el 76.11% del área de la cuenca presentaba una erosión muy alta, mientras que el 6.45% mostraba una erosión alta y el 9.14% tenía una erosión ligera a baja. En conclusión, se destacó que la mayor parte de la zona de la cuenca, principalmente en el departamento de Boyacá, experimentaba una erosión significativa debido a la escasa cubierta vegetal, la falta de prácticas de manejo y las altas pendientes del terreno. Se resaltó la Relevancia

de aplicar estrategias de manejo y conservación de suelos orientadas a reducir los procesos erosivos y proteger los recursos naturales en la cuenca del embalse La Copa.

Aramayo et al. (2024), abordaron la problemática de la erosión de tipo hídrica, que representa uno de los principales efectos de degradación de tierras. Que determinaron cuán susceptible a la degradación hídrica es la cuenca y los factores que la predisponen a ello, en una cuenca de la región árida de la Patagonia norte, utilizando el modelo USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo). Para ello, emplearon herramientas de SIG, teledetección y análisis de componentes principales. Incluyendo la obtención de capas ráster para cada factor del modelo USLE a partir de datos georreferenciados. Los resultados identificaron una tasa promedio de disminución de suelo por degradación hídrica de 27 toneladas por hectárea por año, revelando diferentes grados de afectación en el área de estudio. La evaluación de los factores que más influyeron en la variabilidad de la erosión fueron la erodabilidad del suelo y la pendiente del terreno. Además, al evaluar tres escenarios posibles, encontraron que las variaciones en la degradación a partir de las precipitaciones tuvieron un impacto significativo en la erosión estimada. Por ejemplo, en el escenario de protección menor en la cubierta vegetal, el factor C presentó ser superior al promedio, lo que determinó una menor pérdida en la estimación de suelos, con un 81 % de la superficie en el tipo de degradación leve y un 19 % en la moderada. En contraste, en el escenario de mayor protección por cubierta vegetal, el factor C tomó valores menores, lo que aumentó la proporción de superficie afectada por la clase de pérdida de suelos moderada y alta. Además, observaron que el factor que mostró el control en la variabilidad mayor, con respecto a la degradación hídrica fue el que depende de la pendiente del terreno. En

conclusión, estos resultados sugieren la necesidad de considerar diferentes escenarios y factores en el planeamiento y desarrollo de la conservación de suelos en áreas áridas como la Patagonia.

Antecedentes nacionales, según **Condori et al. (2022)**, desarrollaron un estudio titulado “Estimación de erosión hídrica en suelos de laderas semiáridas de la subcuenca Cairani-Camilaca, Perú”, con el propósito de evaluar la erosión en esta región semiárida. Utilizando el método de la ecuación universal de pérdida de suelos (EUPS), se analizaron cinco factores que influyen en la erosión. El primero, el factor de erosividad (R), se determinó a partir de datos de precipitación mensual recopilados de cinco estaciones climatológicas durante el periodo de 1964-2019. El factor de erodabilidad del suelo (K) se calculó según la ecuación de Williams, utilizando muestras de suelo para determinar su tipo. La topografía (LS) se evaluó mediante métodos específicos que incluyeron el ángulo de inclinación del terreno y el índice de vegetación normalizado (NDVI), utilizando el software ArcGIS. Los resultados indicaron una alta erosión potencial en ciertas áreas, con valores de 101.40 a 103.70 MJ.mm/ha.h en el flanco Cairani y 101.20-109.09 MJ.mm/ha.h en el flanco Camilaca. Además, se observaron variaciones en la erodabilidad del suelo, con suelos franco arenosos predominantes. La topografía reveló áreas no aptas para cultivos debido a pendientes pronunciadas, con un rango de factor topográfico de 0.3 a 28.5 adimensional. Respecto a la cobertura vegetal, se encontró una mayor densidad durante la temporada de lluvias, con un promedio de 73% a 90%, mientras que en la temporada seca la cobertura disminuyó significativamente a un promedio del 19%. En cuanto a las prácticas de conservación, se evidenció una cierta actividad, reflejada en valores de 0.7 a 0.9 adimensional. Estos resultados permitieron estimar la erosión actual y potencial, con una erosión promedio en el flanco Camilaca de 15.5 tn/ha/año y en el flanco Cairaca de 10.3 tn/ha/año, con una erosión

potencial máxima de 45.7 tn/ha/año y mínima de 7 tn/ha/año, destacando la importancia de implementar medidas de preservación del suelo para mitigar los efectos de la erosión en la zona.

Por otro lado, el estudio realizado por **Escobar et al (2021)**, se enfocó en abordar la erosión hídrica en la subcuenca Vilca de la región Huancavelica para el año 2020 mediante el modelo USLE y la implementación de SIG. El método empleado, RUSLE, consta de cinco factores clave para estimar las pérdidas de suelo anuales. El factor de erosividad (R) se calculó utilizando datos de precipitación mensual y anual obtenidos del SENAMHI. El factor de erodabilidad (K) se evaluó mediante la ecuación de Smith y Wischmeir, utilizando información de tipos de suelos y sus propiedades. Para el factor topográfico (LS), se empleó una ecuación específica que requiere datos de pendiente y longitud de pendiente, obtenidos en función de un modelo digital de elevación. La cobertura vegetal (C) se evaluó mediante imágenes satelitales LandSat 8, y las prácticas de conservación (P) se determinaron según la clasificación de Kim. En cuanto a los resultados obtenidos, el factor de prácticas de conservación (P) mostró un valor constante de 1 en toda el área de la cuenca, lo que indica la falta de aplicación de prácticas de conservación del suelo en la región de estudio. Respecto al factor de cubierta vegetal (C), se identificaron 11 tipos distintos de cobertura, con valores que van entre 0 y 1. Los valores más altos de C, cercanos a 1, correspondieron a áreas propensas a la erosión, donde predominan suelos desnudos. En relación con el factor topográfico (LS), se observaron valores que van desde 0.17 hasta 34.09 metros para la longitud de la pendiente y desde 0 hasta 15 grados para la pendiente, indicando que las áreas con mayor inclinación y longitud de pendiente presentan mayores tasas de erosión. En cuanto al factor de erodabilidad del suelo (K), se determinó que los suelos son poco erodables, con valores que varían entre 0 y 0.436 tn.ha. hr/MJ.mm.ha.

Finalmente, en relación con el factor de erosividad de la lluvia (R), se obtuvieron valores que van desde 0 hasta 160 MJ.mm/ha.año. En conclusión, los resultados indican una amplia variabilidad en la degradación hídrica del suelo en la subcuenca Vilca, con tasas que oscilan de 0 hasta 300 toneladas por hectárea por año, lo que resalta el requisito de implementar medidas de conservación del suelo para garantizar su sostenibilidad en la región Huancavelica.

El estudio de García et al. (2021), se basaron en analizar el impacto de los escenarios de precipitación en la degradación del suelo en la zona de Conservación Privada Tilacancha en Perú, la cual abastece de agua dulce a la ciudad de Chachapoyas. Mediante el uso del modelo USLE, se estimaron los factores que impactan en la erosión del suelo, como la erosividad de la lluvia (R), la erodibilidad del suelo (K), la longitud y grado de pendiente (LS), la cobertura del suelo (C) y las prácticas de conservación (P). Los resultados mostraron una amplia gama de niveles de erosión, con valores que van desde 0.4 hasta 665.20 toneladas por hectárea por año, distribuidos en seis rangos distintos. Se observó que el 31.1% del área total de la ACP presentaba niveles de erosión considerados como bajos, mientras que otros rangos abarcaban desde niveles moderados hasta extremos. Además, al simular una disminución del 15% en la precipitación, se estimó que la disminución de suelo debido a la degradación podría variar desde 0.20 hasta 301.56 toneladas por hectárea por año, lo que resalta la importancia de tomar medidas para minimizar los efectos de la erosión en esta área vital para el abastecimiento de agua en la ciudad de Chachapoyas. Por otro lado, una proyección de incremento del 15% en la precipitación indicó que la erosión podría aumentar significativamente, con estimaciones que van desde 0.20 hasta 1028.84 toneladas por hectárea por año. En conclusión, subrayan la necesidad de implementar estrategias de conservación adaptadas a los diferentes escenarios climáticos, con el fin de

proteger la integridad de los suelos y asegurar el suministro de agua en la región, especialmente frente a los retos que implica el cambio climático.

Mejía et al. (2021), estudiaron la degradación hídrica del suelo en una región árida del sur de Perú, utilizando como área de estudio la Quebrada del Diablo. El objetivo fue desarrollar una herramienta efectiva para establecer áreas, tasas de erosión y mapas, empleando los modelos USLE y RUSLE en conexión con sistemas de información geográfica (GIS) e implementación de técnicas de teledetección. Los datos revelaron que, debido a precipitaciones extraordinarias en 2020, se observó una variación considerable en las tasas de erosión, clasificadas en rangos de baja, ligera y moderada. Específicamente, el modelo USLE estimó tasas menores a 10 t/ha/año para el 71,81 % del área, mientras que el modelo RUSLE lo hizo para el 45,27 %. Además, se identificó una diferencia significativa en el factor de erosividad de la lluvia (R) entre los modelos, con valores más altos para RUSLE. Esta variabilidad resalta la importancia de utilizar enfoques integrados para comprender la dinámica de la degradación del suelo en sitios semiáridos y áridos. En conclusión, los resultados subrayan la necesidad de implementar estrategias de gestión adecuadas para conservar los recursos naturales en áreas vulnerables como la Quebrada del Diablo en Tacna, Perú. La combinación de datos locales y teledetección proporcionó una comprensión detallada de la repartición espacial de la erosión, lo que puede informar decisiones de manejo del suelo y conservación a nivel regional y local.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Suelo

Refiere a la fina capa que cubre la superficie de la corteza terrestre, que se encuentra conformada por una combinación intrincada de componentes minerales, hídricos, aéreos,

materia orgánica y seres vivos (Benavides et al., 2023). Este concepto abarca más que simplemente su composición física, ya que destaca que el suelo es un sistema dinámico influenciado por factores como el clima, la biota y el relieve, lo que afecta sus propiedades y comportamiento (Cremona et al. 2020). Por tanto, el suelo se considera un recurso esencial cuya calidad se evalúa mediante sus propiedades físicas, químicas y biológicas, siendo crucial para garantizar su sostenibilidad y productividad en sistemas agrícolas (Castillo et al., 2021).

3.2.1.1. Propiedades del Suelo

Porosidad: Es la cantidad donde se encuentra espacios vacíos en el suelo, que está ocupado por aire y agua. La porosidad influye en la mantener la humedad y permitir el flujo de aire, lo que es crucial para el crecimiento de las raíces de las plantas (Capurro & Montico, 2020).

Textura: Refiere a la composición granulométrica del suelo, que incluye elementos como la arcilla, el limo y la arena, la cual determina su textura, la capacidad de retener nutrientes y agua, así como en la facilidad de cultivo de las plantas. Una textura equilibrada, como la franca arenosa, limo y arcillosa, puede ser favorable para el desarrollo de cultivo (Velásquez et al., 2022).

Estructura: Refiere a la disposición de las partículas del suelo en agregados o grumos. Una buena estructura del suelo favorece la aireación, el drenaje y el crecimiento de las raíces de las plantas (Cremona & Enríquez, 2020).

Color: Indica la estructura y la proporción de compuestos orgánicos presentes. Comúnmente, un suelo con tonos más sombríos es señal de que contiene una cantidad considerable de materia orgánica., mientras que los suelos más claros pueden indicar un

contenido mineral más alto. El color del suelo también puede influir en su capacidad para absorber y retener calor (Rodríguez et al., 2020).

Consistencia: Se refiere a su resistencia a la deformación o rompimiento. La consistencia del suelo puede variar según su contenido de humedad, y puede clasificarse en categorías como dura, muy dura o suave. Una adecuada consistencia del suelo es importante para facilitar el desarrollo de las raíces de las plantas y el desarrollo de los cultivos (Velásquez et al., 2022).

3.2.2. Erosión hídrica

Es un proceso natural que se genera cuando el agua este movimiento ya sea por fuertes lluvias o el flujo de cuerpos de agua, arrastra partículas de suelo a lo largo de la superficie del terreno (Capurro & Montico, 2020). Este fenómeno puede ser exacerbado por actividades antropogénicas como la degradación de bosques, agricultura intensiva y la construcción sin prácticas de preservación del suelo. Entre las consecuencias, se hallan la disminución de la capa arable del suelo , el descenso del rendimiento agrícola, la acumulación de sedimentos en ríos y lagos y la degradación del paisaje (Aramayo et al., 2024).

3.2.2.1. Proceso de Erosión Hídrica

Este proceso involucra varias etapas que incluyen la erosión, el transporte y la acumulación de sedimentos. A continuación, (Aramayo et al.,2024) se describe cada una de estas etapas

Erosión, proceso de desgaste y deterioro, suele comenzar cuando las gotas de lluvia impactan el terreno y el flujo de agua. Provocan una pérdida o separación de partículas significativas del suelo de relieve y así elaborando un vacío y a la vez una disminución del volumen.

Transporte, la escorrentía superficial transporta partículas de suelo sueltas a medida que fluye cuesta abajo. Es la segunda fase de la erosión, la velocidad del agua puede aumentar en áreas con pendientes pronunciadas, lo que contribuye al transporte de sedimentos, por otro lado, la gravedad de pendiente seca, el viento.

Acumulación, una vez transportado esto provoca ya sea tarde o temprano la acumulación de los sedimentos suspendidos pueden sedimentarse en el fondo de los ríos y los arroyos en los fondos de represas, lagos, o de un océano. Esta sedimentación puede afectar las características del agua y la integridad de los ecosistemas acuáticos.

Figura 1

Proceso de erosión hídrica.



Nota. Esquema de proceso de erosión hídrica como afecta al relieve en áreas inclinadas. Tomado de EOS DATA.

3.2.2.2.Las Principales Formas de Erosión Hídrica

Erosión laminar: se caracteriza por ser la erosión uniforme de una capa delgada de suelo debido al flujo de agua sobre la superficie. En esta etapa, una lámina de agua se desplaza de manera continua sobre la superficie del suelo, arrastrando consigo partículas de suelo sueltas. Esta acción constante y gradual puede provocar la pérdida de nutrientes, materia orgánica y la capa fértil del terreno (Blanco et al., 2023).

Erosión en surcos: es producida cuando el agua fluye sobre el suelo formando canales o surcos. Estos surcos pueden aumentar en tamaño y profundidad con el tiempo debido al flujo continuo de agua, especialmente en áreas donde la vegetación ha sido removida o degradada, como en zonas mineras (Menéndez & Muñoz, 2021).

Erosión en cárcavas: se caracteriza por la formación de grandes zanjas o cárcavas en el suelo debido al flujo concentrado de agua. Estas cárcavas pueden ser muy destructivas, ya que tienen la capacidad de afectar áreas extensas de terreno de manera significativa. Las cárcavas se forman cuando el agua fluye de manera concentrada sobre el suelo, creando canales profundos y anchos a medida que erosiona el terreno (Menéndez & Muñoz, 2021).

Erosión por salpicadura: es un proceso en el cual las gotas de lluvia caen de manera directa en el suelo. Este impacto provoca que las gotas de agua golpeen la superficie del suelo con cierta fuerza, lo que a su vez desencadena el desprendimiento de partículas de suelo. Estas partículas sueltas son luego transportadas por la acción del agua, ya sea arrastradas superficialmente o llevadas por la escorrentía hacia áreas más bajas (León et al., 2024).

3.2.2.3. Agentes que Intervienen en la Erosión Hídrica

Precipitación: la cantidad y la intensidad de la precipitación son factores esenciales que influyen en el desarrollo de la erosión en el terreno. Las lluvias intensas tienen el potencial de generar escorrentía superficial, la cual transporta los sedimentos y aumenta la erosión hídrica (Condori et al., 2022). Este fenómeno se ve agravado en regiones con altos niveles de precipitación, sobre todo durante eventos de lluvias torrenciales o prolongadas, que incrementan la capacidad erosiva del agua y, en consecuencia, la probabilidad de erosión (Sanjurjo et al., 2024).

Topografía: la topografía del terreno constituye la parte importante en el incremento de la erosión hídrica al influir en la dirección del agua, la acumulación de sedimentos y la interacción del agua con el suelo (Huang et al., 2022). La elevación del terreno determina la dirección del flujo del cuerpo hídrico y la acumulación de sedimentos, siendo las áreas más elevadas propensas a una mayor erosión debido a la mayor energía del agua que fluye cuesta abajo (Huang et al., 2023). Además, el nivel de pendiente del terreno resulta influyente en la velocidad y dirección del flujo del cuerpo hídrico, con pendientes más pronunciadas acelerando el flujo y aumentando el potencial erosivo al transportar sedimentos y desgastar el suelo de manera más eficaz; mientras que pendientes más largas permiten que el agua acumule más energía erosiva a lo largo de su trayectoria (Huang et al., 2022). Finalmente, la forma del terreno, como la planitud, concavidad o convexidad de las pendientes, y la orientación de las laderas, puede influir en la distribución de la erosión del suelo, intensificando la erosión en áreas propensas a la acumulación de agua y sedimentos (Huang et al., 2023).

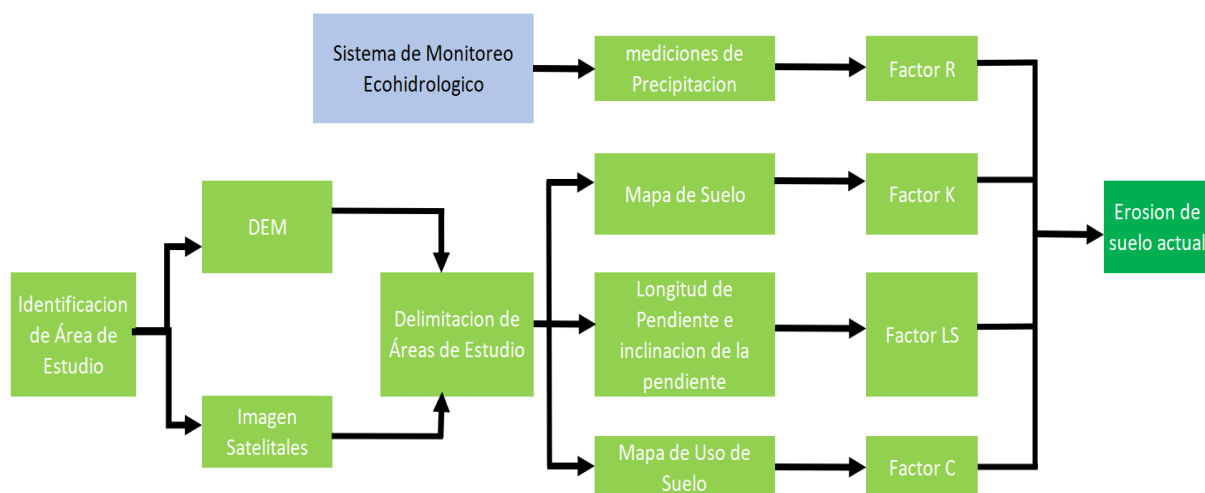
Gravedad: la fuerza gravitatoria facilita el transporte de materiales erosionados por pendientes pronunciadas. En áreas con pendientes abruptas, la gravedad puede acelerar la erosión, especialmente en terrenos inestables o con suelos poco cohesionados (Sanjurjo et al., 2024).

2.2.3. Ecuación de pérdida de suelo universal revisada (RUSLE)

La Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada (RUSLE) es un modelo matemático ampliamente utilizado en la predicción de la erosión del terreno provocada por la acción del agua (Álvarez, 2019). Adoptada por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS), la RUSLE se convierte en una herramienta esencial para determinar y predecir la erosión del suelo en diversas condiciones de uso de la tierra. Este enfoque, integrado por el NRCS, no solo permite evaluar el riesgo de erosión, sino que también facilita la planificación de prácticas de conservación y el desarrollo sostenible de la tierra, contribuyendo así a la conservación del suelo y el agua (Lesmana, 2020).

Figura 2

Esquema de metodología



Nota. Adaptado de Sabino Rojas et al. (2021)

RUSLE es un modelo matemático empírico donde combina factores climáticos, topográficos, de suelo como también del manejo del terreno para calcular la erosión del suelo. Al considerar estos factores, la ecuación da resultado a una estimación cuantitativa de la erosión potencial en un área específica, lo que es fundamental para poder planificar la conservación del suelo y la gestión de cuencas hidrográficas (Huang et al., 2022).

El modelo RUSLE se describe se da a conocer:

$$A = R.K.LS.C.P$$

Donde:

➤ Factor de erosividad (R)

Representa la capacidad de la lluvia para provocar erosión del suelo, y se determina considerando la duración e intensidad de las precipitaciones. Se cuantifica sumando el promedio anual de la capacidad de erosión de las tormentas individuales, donde está erosividad se obtiene multiplicando el total de energía de la tormenta y por la máxima intensidad en un periodo de 30 minutos (Sabino Rojas et al., 2021).

A continuación, se presenta la ecuación del Factor de Erosividad (R), desarrollada por Wischmeier y Smith en 1978

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 * 10^{1.5 \log_{10} \left(\frac{P_i^2}{p} \right) - 0.08188}$$

Donde:

R: factor de erosividad de lluvia (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹)

p: sumatoria de lluvia anual (mm)

P_i : sumatoria de lluvia mensual (mm)

➤ Factor topográfico (LS)

Representa la influencia directa de la topografía en el proceso de erosión del suelo. El cálculo es mediante la longitud del pendiente así mismo la pendiente de la zona, reconociendo así, el relieve como uno de los principales determinantes en la generación de sedimentos en las cuencas hidrográficas (Sabino et al., 2021).

Según Desmet (1996), este factor se expresa mediante una ecuación:

$$L = \frac{(\lambda)^m}{22.13}$$

$$m = \frac{F}{F + 1} \quad F = \frac{\frac{\text{sen}\beta}{0.0896}}{[0.56 + 3 * (\text{sen } \beta)^{0.8}]}$$

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

Donde:

$A_{i,j-in}$: acumulación de flujo a nivel de pixel (a grados multiplicar por 3.1416/180)

β : Pendiente

D : “tamaño de celda de la cuadrícula (m)”

X : coeficiente de forma ($x=1$ para sistema pixelada)

condición

$S = \tan(\beta) < 0.09$: $S = 10.8 \text{sen}(\theta) + 0.3$

$S = \tan(\beta) \geq 0.09$: $S = 10.8 \text{sen}(\beta) - 0.5$

En esta ecuación, θ representa el ángulo de la pendiente en grados. El valor de m fluctúa en un rango de 0 a 1. Cuando la proporción de erosión en la colina se acerca a cero, el valor de m tiende a aproximarse a cero (Sabino Rojas et al., 2021).

➤ Factor de cobertura vegetal (C)

Representa el impacto que tienen tanto la vegetación como las prácticas del control del suelo en el proceso de erosión. Este factor se determina teniendo en cuenta la cobertura vegetal presente y las técnicas agrícolas aplicadas en el terreno. Para su cálculo, se han desarrollado diversos métodos que utilizan específicamente el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), los cuales permiten estimar con precisión el grado de cobertura vegetal (Sabino et al., 2021).

Una de las ecuaciones utilizadas para este propósito es la siguiente:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

RED:

A partir del NDVI, el Factor C se calcula mediante la fórmula:

$$C = \exp \left[-\alpha * \frac{NDVI}{\beta - NDVI} \right]$$

Van der Knijff (1999)

$$C = \left[\frac{\beta - NDVI}{\alpha} \right]$$

Carvalho D (2014)

donde α y β son parámetros que determinan la forma de la curva en relación con el NDVI y el Factor C. En este caso, α se establece en 2 y β en 1, lo que influye en la forma y

sensibilidad de la relación entre la cobertura vegetal y el Factor C (Sabino Rojas et al., 2021).

➤ Factor de erodabilidad (K)

Representa la predisposición del suelo a sufrir erosión y se determina considerando diversas propiedades del suelo, estructura, textura y contenido de materia orgánica (Sabino et al., 2021).

Para calcular este factor, se emplea la siguiente ecuación:

$$K = 0.1317 * A * B * C * D$$

$$K = 0.1317 * \left[0.2 + 0.3 \exp \left(1 - \frac{SIL}{100} \right) \right] * \left[\frac{SIL}{CLA + SIL} \right]^{0.3} * \left[1 - \frac{0.025 CLA}{CLA + \exp (3.72 - 2.95 C)} \right] * \left[1 - \frac{0.7 SN1}{SN1 + \exp (-5.51 + 22.9 SN1)} \right]$$

Donde:

SAN: % de partículas de arena con tamaño entre 0.05-2.00 mm

SIL: contenido de limo, con granos con tamaño entre 0.002 a 0.05

CLA: % de contenido de carbono orgánico presente en la fracción superficial del suelo.

$$SN1 = 1 - (SAN/100)$$

El factor K cuantifica la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica, asignándose valores entre 0 y 1; 0 representa mínima propensión y 1 máxima vulnerabilidad. Su medición se expresa en toneladas por hectárea por hora por mega julio por milímetro ($\text{ton ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$), permitiendo caracterizar la erodabilidad del suelo según sus

propiedades físicas y químicas, facilitando la planificación de prácticas de conservación (Sabino Rojas et al., 2021).

➤ Factor de prácticas de conservación (P)

Representa la efectividad de las prácticas implementadas para la conservación del suelo. Este factor puede oscilar entre 0 y 1, donde 0 indica la ausencia de cualquier práctica de conservación y 1 señala una eficacia total en la aplicación de estas prácticas (Sabino et al., 2021).

Para evaluar este factor, las celdas de las cuadrículas se categorizan en cinco tipos diferentes, como se describe en la tabla 1:

Tabla 2

Determinación del factor P, en función a la pendiente y a tres medidas de control de erosión

| Pendiente (%) | Factor P | | |
|------------------|----------|--------------------|----------|
| | Terrazas | Cultivo en franjas | Contorno |
| 0.0 - 7.0 | 0.1 | 0.27 | 0.55 |
| 7.0 - 11.3 | 0.12 | 0.3 | 0.6 |
| 11.6 - 17.6 | 0.16 | 0.4 | 0.8 |
| 17.6 - 26.8 | 0.18 | 0.45 | 0.9 |
| >26.8 | 0.2 | 0.5 | 1 |

Nota. Adaptado de Sabino Rojas et al. (2021)

Los valores de P se asignan de acuerdo con la pendiente en porcentaje, siendo más altos para pendientes más pronunciadas, lo que indica una mayor necesidad y efectividad de las prácticas de conservación en terrenos más inclinados.

3.2.3. Calidad de agua

Esta refiere a una serie de características que abarcan lo físico, químico, biológico y radiológico del agua, y que determinan su aptitud para diversos fines (van Vliet et al., 2021). Esta cualidad puede variar dependiendo de su fuente, ya sea superficial o subterránea, así como por la influencia de actividades antropológicas como la agricultura, la industria o la minería, y otros factores como las condiciones climáticas y la geología del área (Saalidong et al., 2022). En el contexto de la erosión por agua y su impacto en el suelo, es relevante señalar que las características del agua pueden estar estrechamente ligada a la erosión del suelo. Durante el proceso de erosión hídrica, las partículas del suelo, junto con nutrientes y posibles contaminantes, pueden ser arrastradas por el agua y transportadas hacia cuerpos hídricos cercanos como ríos, lagos y arroyos (Capurro & Montico, 2020).

La evaluación de las características del agua se basa en la medición de diversos parámetros, como la presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos, la concentración de nutrientes, el pH, turbidez, la temperatura y la presencia de microorganismos patógenos, entre otros (Saalidong et al., 2022).

3.2.3.1. Turbidez

La turbidez se refiere a la cuantificación de la falta de limpidez del agua por presencia de sedimentos, arcilla, materia orgánica u otros materiales en suspensión (Saalidong et al., 2022). Esta condición es por diversos factores que ocasionan, como la erosión del suelo, la actividad humana, la descarga de aguas residuales, el construir carreteras y la agricultura intensiva (McMahon et al., 2020). La relación entre la turbidez del agua y la cantidad de sedimentos y partículas en suspensión es evidente, especialmente durante la erosión hídrica,

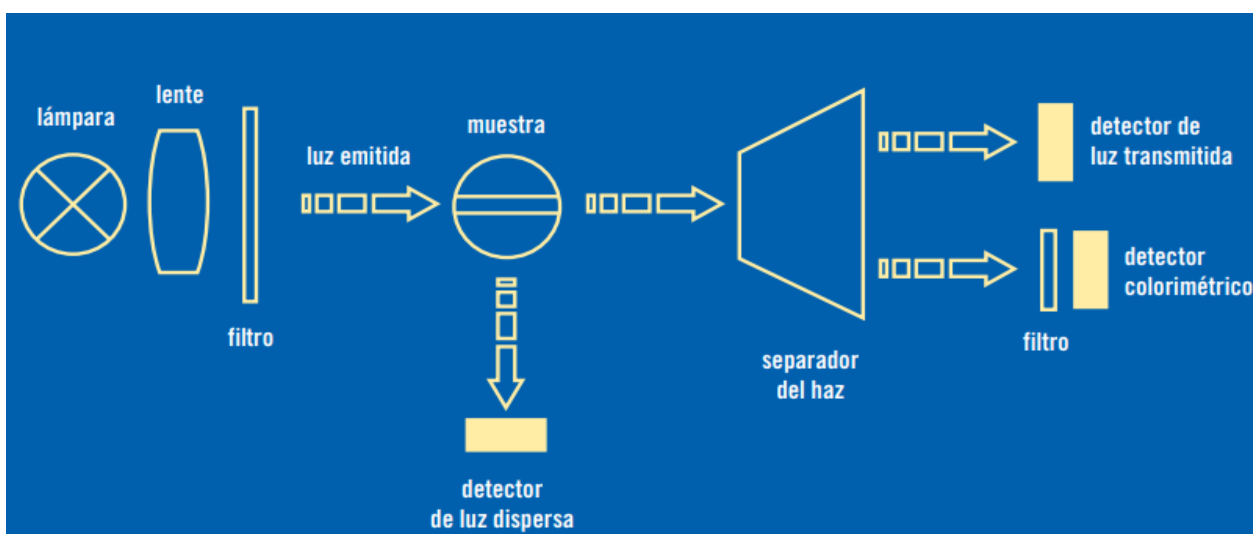
donde los sedimentos y partículas del suelo son arrastrados hacia los cuerpos de agua, aumentando así la turbidez (Patil et al., 2022).

La norma ISO 7027 describe dos métodos para medir la turbidez del agua: la nefelometría y la turbidimetría.

La nefelometría utiliza la radiación difusa y es adecuada para aguas con baja turbidez, como el agua potable. Los resultados de la medición de turbidez se reportan en unidades de turbidez nefelométrica (NTU). Para este método, los valores comunes de turbidez oscilan desde menos de 0,05 NTU hasta 400 NTU (UNE, 2016).

Figura 3

Esquema de proceso para determinar la turbidez



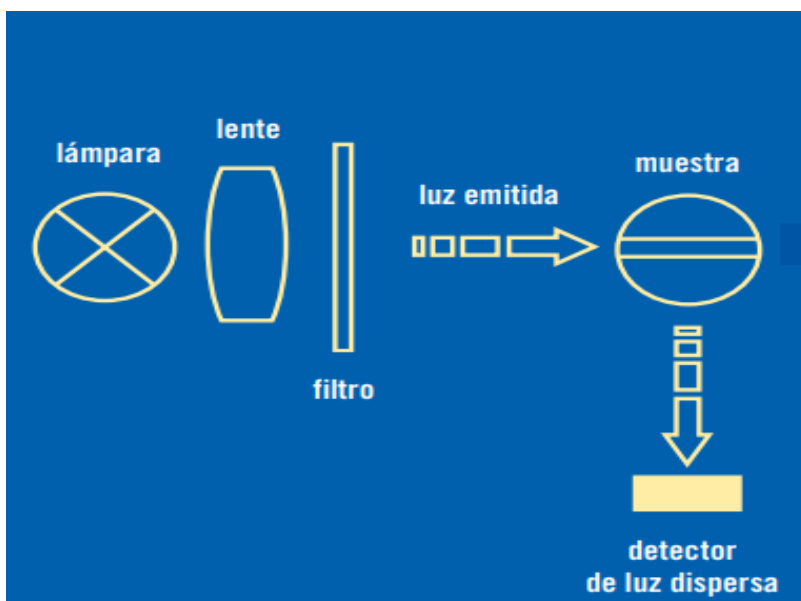
Nota. Esquema propuesto por la empresa HANNA Instrument.

Por otro lado, la turbidimetría se emplea para la medición de la turbidez en aguas altamente turbias, como las aguas residuales, y utiliza la atenuación de un flujo radiante como base de su análisis. Los resultados de esta medición se expresan en unidades de atenuación de

formazina (FAU). Para este método, los valores comunes de turbidez oscilan entre 40 FAU y 4,000 FAU (UNE, 2016).

Figura 4

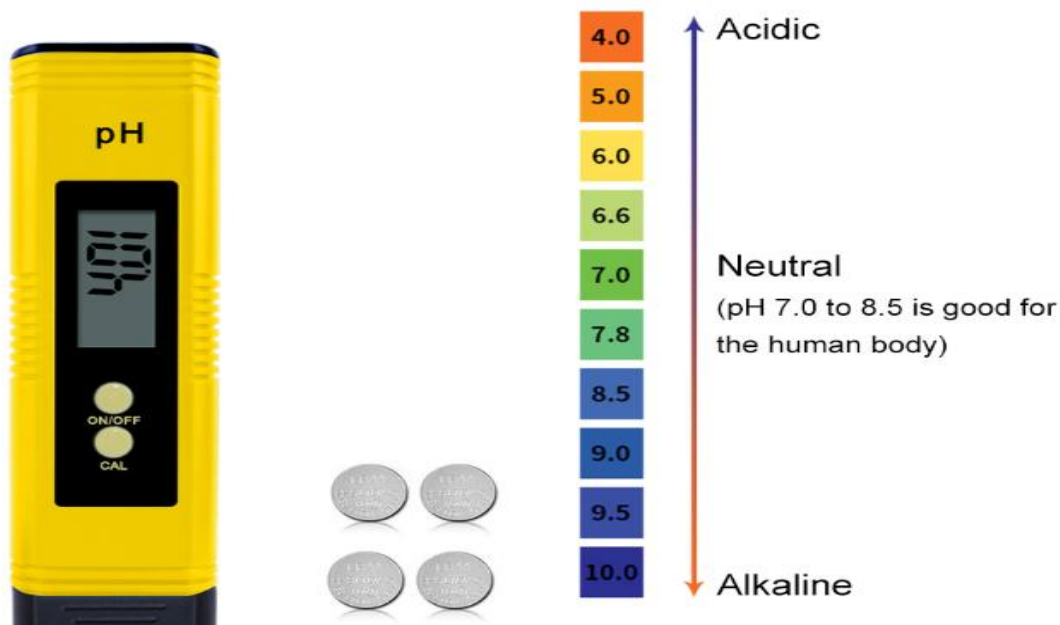
Esquema de proceso para determinar la turbidez



Nota. Esquema propuesto por la empresa HANNA Instruments.

3.2.3.2. PH del Agua

El PH es la mitad del nivel de concentración de iones de hidrógeno en una solución, determinando su carácter ácido, neutro o alcalino en una escala del 0 al 14, donde un valor inferior a 7 indican una solución ácida, un pH de 7 refleja neutralidad y valores superiores a 7 señalan soluciones alcalinas (Estupiñán et al., 2020). Este parámetro es crucial para evaluar el nivel de calidad del agua y el bienestar de los ecosistemas acuáticos, ya que puede verse afectado por cambios en los patrones de caudal de los ríos, lo que puede tener consecuencias significativas en los sistemas acuáticos (Patil et al., 2022).

Figura 5*Equipo de Peachimetro*

Nota. Equipo para determinar el PH del Agua. Obtenido de Kusitest

3.2.4. Costo de producción de agua potable

El costo de obtención de agua potable se refiere a todos los gastos y recursos que se necesitan para proceder con el sistema de tratamiento y distribución de agua potable a los beneficiados. Este costo incluye una variedad de elementos, como la búsqueda y recepción del agua cruda, el tratamiento del agua para hacerla potable, el almacenamiento, la distribución a través de la red de tuberías, el mantenimiento de las instalaciones, los costos de energía, los costos laborales, entre otros (OTASS, 2019).

Proceso de obtención de costo de producción de agua potable:

(i) Captación: Es almacenar agua y recolectar proveniente de diversas fuentes para usos de beneficio, para esta investigación se considera la captación de la fuente de Rontoccocha,

donde se ha evaluado, el costo de mano de obra como: sueldos, salarios, aportes patronales, Beneficios sociales.

(ii) Transportar-Pretratamiento: Es llevar de un lugar a otro por medios diferentes, en este caso el transporte se da mediante la conducción de tubería desde la captación de la fuente de Rontoccocha hasta la planta de tratamiento de agua potable Chancalla.

(iii) Tratamiento: se define como un conjunto de proceso de operaciones de modificar las características físicas, químicas o biológicas del agua, para esta investigación se realizará el coste del proceso de la planta de tratamiento de agua para uso población, se tomó el estudio tarifario que realizo SUNAS.

Identificación de Costos Directos e Indirectos:

- Costos Directos: Es la que está relacionado directamente con la producción de agua potable, como el costo de materias primas (tratamiento químico, electricidad, productos químicos), mantenimiento de equipos y personal directamente involucrado en la producción.
- Costos Indirectos: Incluyen gastos generales como administración, seguridad, y mantenimiento de instalaciones que no pueden asignarse directamente a la producción, pero que resultan indispensables para el funcionamiento general.

Análisis de Inversiones:

- Evaluar los costos asociados con la infraestructura inicial y las inversiones a largo plazo, como la construcción de plantas de tratamiento y mantenimiento de agua, sistemas de distribución, y otros equipos.

Determinación de Volumen de Producción:

- Estimar la cantidad de agua potable que se producirá durante un período específico. Esto puede basarse en la demanda histórica, proyecciones de crecimiento poblacional y consideraciones estacionales.

Asignación de Costos:

- Asignar los costos directos e indirectos de manera adecuada a las diferentes fases del proceso de producción, desde la captación del agua hasta su distribución.

Cálculo de Costos Variables y Fijos:

- “Identificar los costos variables que varían en función de la cantidad de agua producida y los costos fijos que permanecen constantes independientemente del volumen de producción”.

Determinación del Costo Unitario:

- Se calcula haciendo la división del costo total entre la cantidad de agua producida. Esto proporciona el costo promedio por unidad de agua.

3.3. Definición en términos

➤ **Clima**

Refiere al patrón promedio de condiciones de la atmósfera en un área específica a lo largo de un prolongado período de tiempo, generalmente de al menos 30 años. Dichas condiciones incluyen variables como la humedad, la temperatura, la precipitación, la velocidad del viento y la presión atmosférica (Montesinos et al., 2023).

➤ **Precipitación**

Engloba las distintas manifestaciones de agua que descienden de la atmósfera hacia el suelo terrestre. Esto puede incluir lluvia, nieve, granizo, llovizna, entre otras formas de agua que se condensan en la atmósfera y luego caen al suelo (Montesinos et al., 2023).

➤ **Temperatura**

La temperatura representa la energía cinética promedio de las partículas en un sistema. En meteorología, cuantifica el grado de calor o frío del aire, siendo un parámetro clave para análisis climáticos y modelaciones, que afecta directamente las condiciones climáticas. Se mide en grados Celsius (°C) o Fahrenheit (°F) y es una variable fundamental en la meteorología y climatología (Montesinos et al., 2023).

➤ **Cuenca hidrográfica**

Una cuenca hidrográfica es un territorio definido por fronteras naturales de elevación del terreno, conocidas como divisorias de aguas. Es una zona geográfica caracterizada por sus condiciones hidrológicas específicas que permiten que el agua fluya hacia un punto de salida común. En el intervalo del límite, la cuenca se compone de una variedad de suelos, formas geológicas, tipos de vegetación y patrones de uso del suelo (ANA, 2023).

➤ **Evapotranspiración**

Es un proceso combinado que involucra la evaporación de agua desde la superficie terrestre y la transpiración de agua por parte de las plantas. En otras palabras, este proceso se constituye como la pérdida de agua de un terreno debido a la evaporación directa desde el suelo y cuerpos acuáticos, así como al transpirar de las plantas a través de sus hojas (Condori et al., 2018).

➤ **Esguerrimiento**

Se refiere a la dinámica del agua desplazándose a través de la capa terrestre exterior, ya sea debido a la lluvia, el deshielo u otras fuentes de agua. En el contexto de la erosión hídrica, el esguerrimiento superficial puede transportar partículas de suelo, nutrientes y contaminantes a través del terreno, contribuyendo a la erosión y a la disminución de suelo (Capurro & Montico, 2020).

➤ **Infiltración**

La infiltración corresponde al ingreso del agua desde la superficie hacia el perfil del suelo, constituyendo un componente esencial del ciclo hidrológico y determinante en la disponibilidad hídrica y manejo sostenible de ecosistemas terrestres. La infiltración es importante para recargar los acuíferos subterráneos, mantener la humedad del suelo y prevenir la escorrentía superficial y la erosión (Capurro & Montico, 2020).

➤ **Incertidumbre**

Se refiere a la ausencia de seguridad o conocimiento preciso respecto a una circunstancia actual o por venir. En el contexto de la producción de agua potable, la incertidumbre puede estar relacionada con diversos aspectos, como la accesibilidad de recursos hídricos, las características del agua cruda, los cambios en la demanda de agua, los costos asociados a la producción, entre otros (Huamán Samaniego et al., 2020).

➤ **Incepción**

Es el proceso por el cual se forman gotas de agua en las nubes a partir de la concentración del vapor de agua en pequeñas partículas de polvo o núcleos de condensación. Estas gotas de

agua continúan creciendo por coalescencia con otras gotas cercanas hasta alcanzar un tamaño suficiente para caer como precipitación (Montesinos et al., 2023).

➤ **Pluviómetro**

Es un dispositivo empleado para cuantificar la cantidad de precipitación que cae en un lugar específico a lo largo de un intervalo de tiempo determinado. En las estaciones de meteorología y los análisis hidrológicos, se utilizan para registrar la cantidad de lluvia, nieve u otras formas de precipitación que caen en un área determinada (Montesinos et al., 2023).

➤ **Vientos**

Son los movimientos del aire en la atmósfera terrestre, causado por diferencias en la presión atmosférica y la rotación del planeta. El aire se desplaza de áreas de alta presión a áreas de baja presión, creando corrientes que pueden variar en velocidad, dirección y duración (Menéndez & Muñoz, 2021),

➤ **Costo**

Se define como el valor monetario que se asigna a los recursos que se requieren para efectuar una actividad o producir un bien o servicio. En el contexto de la producción de agua potable, el costo incluiría todos los gastos asociados con la extracción, tratamiento, distribución y suministro de agua potable, como el mantenimiento de infraestructuras, el uso de productos químicos, la energía requerida, el personal involucrado, entre otros aspectos (Huamán Samaniego et al., 2020).

➤ **Infraestructura natural**

Comprende la red de espacios naturales que mantienen los valores y funciones de los ecosistemas (árboles y vegetación), ofreciendo servicios ecosistémicos diversos. Esta noción

implica la adopción de acciones dirigidas a múltiples objetivos, incluida la reducción del riesgo de desastres. Conservar y fomentar esta infraestructura no solo promueve la biodiversidad y mejora la calidad del medio ambiente, sino que también contribuye a la mitigación de riesgos naturales y al bienestar humano (Decreto Supremo - N° 017-2018-MINAM, 2018).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

4.1.1. Tipo de investigación

Según los autores Marotti y Wood (2019, p. 338), definen la investigación aplicada como la investigación que es realizada para generar nuevos conocimientos, pero que también tiene como objetivo proporcionar una solución final o específica en forma de investigación concreta o práctica, es un método ideal elegido utilizando una variedad de conocimientos preexistentes y también específicos.

Lo anterior permite identificar que la investigación actual pertenece al tipo aplicada, que, según Sánchez et al. (2018, p. 79) la define como pragmática o utilitaria, utilizando tipos de conocimientos previamente adquiridos que son fundamentales o utilitarios. Investigación teórica, para generar nuevos conocimientos y ofrecer soluciones a problemas inmediatos como en esta investigación se propone soluciones que impacten en un tiempo corto.

4.1.2. Nivel de investigación

Con base en lo anterior, este estudio se considera como un nivel explicativo, que según Cifuentes (2019, p. 203) determina las causas que originan un determinado fenómeno, por qué ocurre y por qué dos o más fenómenos se relacionan entre sí.

Finalmente, lo anterior permite afirmar que la investigación actual será de nivel interpretativo porque, según los autores Castro et al., (2020), demuestran que la investigación interpretativa ofrece una explicación concreta del problema.

4.2.Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Ámbito temporal

Esta investigación corresponde al año 2024, los datos de precipitación utilizados en la investigación abordan en la temporada comprendido entre setiembre 2017 a agosto de 2019, cubriendo dos años hidrológicos.

4.2.2. Espacial

El presente proyecto de investigación tiene la delimitación espacial en la parte superior de la cuenca Mariño y se enfocara en el área de la unidad hidrográfica Rontoccocha, cuyas coordenadas aproximadas son las siguientes: Latitud, entre 13° 40' y 13° 42' Sur y Longitud, entre 72° 47' y 72° 46' Oeste (Ver anexo 02)

4.3.Población, muestra

4.3.1. Población

Según Ñaupas et al. (2018), la población se define como “la suma de unidades de investigación que contienen las características necesarias para ser consideradas dentro del grupo, las cuales son personas, objetos, grupos, hechos o incluso fenómenos seleccionados con propiedades requeridas” (p. 334).

La población en la presente investigación corresponde a la cuenca Mariño es una de las cuencas muy importantes de la provincia de Abancay departamento de Apurímac.

4.3.2. Muestra

Hernández y Carpio (2019, p. 76), a la muestra define como un subconjunto del universo o una parte representativa de una misma población, que simultáneamente se compone de las unidades muestrales que se convierten en el elemento objeto de estudio”.

En esta investigación, para la muestra se tomó la cuenca de Rontoccocha, tiene un área aproximada de 8.9 km² y su rango de elevación de 4200 a 4660 msnm, pertenece territorialmente a la comunidad Micaela bastidas y Atumpata, distrito de Abancay, de la provincia de Abancay departamento de Apurímac.

4.4.Instrumentos

4.4.1. Instrumentos

4.4.1.1.Ficha de Observación o Cotejo

Según Ñaupas et al. (2018, p.289).), esta ficha de cotejo sirve como el instrumento o herramienta de investigación para observar, también llamado control o lista, consiste en una lista o formulario para determinar la presencia de conductas, secuencia de actividades, habilidades,

competencias, aspectos de salud, actividades sociales, etc. Se utilizó para inventariar técnicas, métodos, estrategias, materiales y equipos, en general, bibliotecas, departamentos o todo tipo de departamentos administrativos, etc. Las fichas de recojo de la presente investigación se colocarán en los anexos 4 y 5.

4.4.1.2. GPS (Sistema de Posicionamiento Global)

El sistema global de radionavegación por satélite brinda de forma continua y gratuita servicios confiables de posicionamiento, navegación y cronometraje a usuarios civiles globalmente. Este sistema garantiza ofrecer la ubicación y la hora exacta a cualquier persona con un dispositivo receptor GPS.

Figura 6

Representación gráfica de GPS



Nota. Imagen extraída de Google Chrome.

4.4.1.3. ArcGis

Es el nombre de un conjunto de paquete de software en el campo de los (SIG).

Figura 7

Software ArcGis



Nota. Imagen extraída de Google Chrome

4.4.1.4.Pluviómetro

Es un dispositivo que se utiliza en análisis meteorológicos con ello se mide la cantidad de precipitación, como nieve o lluvia que cae en un lugar específico durante un período determinado.

Figura 8

Representación gráfica de pluviómetro



Nota. Imagen extraída de Google Chrome

4.4.1.5. Turbidímetro

Es un instrumento para medir las partículas suspendida que se encuentran dentro de un líquido, donde muestra el valor en NTU (por sus siglas en inglés Nephelometric Turbidity Unit.), dando resultados precisos y fiables.

Figura 9

Representación gráfica de turbidímetro



Nota. Imagen extraída de Google Chrome

4.4.1.6. Peachimetro

“El pH-metro o también conocido como potenciómetro es un sensor empleado en el método electroquímico para determinar el nivel de pH de una disolución”.

Figura 10

Representación gráfica de peachimetro



Nota. Imagen extraída de Google Chrome

4.4.2. Técnicas

4.4.2.1. Observación Directa

Para Arias y Covinos (2021, p. 87), la observación directa es definido como la observación sin interacción entre el investigador y el objeto de estudio, caracterizada porque el investigador observa claramente el fenómeno o el objeto de estudio. Por lo tanto, para participar en la investigación, los investigadores se separan físicamente de la población de estudio, Esto significa que el investigador se convierte en un observador pasivo, buscando registrar comportamientos, eventos y fenómenos tal como ocurren en su entorno natural, sin influir en ellos

4.4.2.2. Análisis Documental

Arias (2020, p. 52), plantea que el análisis documental consiste en una revisión que tiene como objetivo extraer datos significativos de dichos documentos seleccionados, los documentos seleccionados pueden ser fuentes primarias o secundarias y por lo tanto empoderan al investigador para obtener datos, permitiéndole presentar resultados y publicar resultados de investigaciones.

4.5. Procesamientos

Para la adecuada ejecución de la investigación, se requerirá la implementación de las siguientes técnicas:

Paso 1: Delimitación de la zona de estudio

Para el proceso de delimitar o definir los límites geográficos de la unidad hidrográfica Rontoccocha, este será delimitado empleando el software, Qgis.

Paso 2: Recolección de información climatológica del área de estudio

La recolección de datos climatológicos se realizará del sistema monitoreo eco hidrológico de la zona de estudio, el cual realiza este monitoreo la EPS EMUSAP Abancay mediante el área de asuntos ambientales y relaciones comunitarias con el programa de mecanismo de retribución por servicios ecosistémicos (MERESE), vienen implementando el sistema de monitoreo eco hidrológico desde el año 2016 “se tienen cinco (05) estaciones pluviométricas instaladas, los datos registrados se tienen desde el periodo del mes de abril 2016 a la actualidad, por lo tanto para la investigación se utilizaron datos de 01 de septiembre del 2017 a 31 de agosto del 2019, (que son dos años hidrológicos)”.

Paso 3: Creación de mapas temáticos

Para la creación de mapas temáticos se utilizó el uso de suelo, se empleó la imagen satelital Landsat 8 OLI/TIRS, con resolución espacial de 30 m. Se seleccionó el registro correspondiente a agosto de 2018, descargado de manera gratuita desde la plataforma ASF Data Search del Servicio Geológico de Estados Unidos, permitiendo analizar y clasificar las coberturas de terreno mediante técnicas de interpretación digital ((<https://earthexplorer.usgs.gov/>))

4.6. Análisis de datos

Los datos topográficos se han obtenido del “(DEM, por sus siglas en inglés) Modelo Digital de Elevación de la Misión de Radar del Transbordador (SRTM, por sus siglas en inglés) de la NASA en el año” 2000, del portal web del Servidor Geológico de Estados Unidos, donde se puede descargar en: (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

El tipo de suelo se obtendrá del FAO de mapa digital de los suelos del mundo, realizando un proceso de identificación y el tipo de suelos, Se realizará usando, portales web, Rater y Shapes, mediante Arcgis.

4.7.Consideraciones éticas

Se gestionó adecuadamente el suelo y el agua para evitar la contaminación de áreas fuera de la zona de estudio.

Se tomaron medidas para evitar impactos negativos en el entorno natural durante la recolección de datos y observación.

Se respetaron los saberes tradicionales de las comunidades, citando adecuadamente los datos obtenidos con su consentimiento.

Toda la información obtenida de fuentes externas fue citada correctamente, respetando los derechos de autor.

Las recomendaciones promovieron el uso sostenible de los recursos, beneficiando equitativamente a las comunidades locales.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Impacto de la Producción de sedimentos.

Para el desarrollo de la presente investigación, se realizó el cálculo de la producción de sedimentos aplicando el método del modelo RUSLE, descrito metodológicamente en la figura 2.

En el siguiente se detalla el proceso y obtención de cada factor:

Factor de erosividad (R): Se utilizaron datos de precipitación de estaciones pluviométricas, mostrados en la Tabla 3.

Tabla 3

Estaciones pluviométricas alrededor del área de estudio

| Codificación de Estación | Cuenca de Estudio | Variables medidas | Codificación de Equipo | X | Y | Elevación |
|--------------------------|-------------------|-------------------|------------------------|---------|--------|-----------|
| CCA_P01 | Intervenida-01 | Precipitación | CCA_P01_P01 | 8486804 | 738599 | 4098 |
| CCA_P02 | Intervenida-01 | Precipitación | CCA_P02_P02 | 8487744 | 739563 | 4340 |
| MOR_P01 | Intervenida-02 | Precipitación | MOR_P01_P01 | 8486600 | 741274 | 4414 |
| PAC_P01 | Testigo | Precipitación | PAC_P01_P01 | 8485398 | 739039 | 4323 |
| PAC_P02 | Testigo | Precipitación | PAC_P02_P02 | 8484535 | 739482 | 4482 |

Nota. MERESE EPS EMUSAP Abancay (2023)

A partir de los datos obtenidos, se determinaron las precipitaciones mensuales desde el 01 de septiembre de 2017 hasta 31 de agosto de 2019, correspondiente a dos años hidrológicos, como se evidencia la tabla 4 y la figura 11.

Tabla 4*Precipitación mensual de dos años hidrológicos (mm)*

| Estación CCA_P01 | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Año | Set | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago |
| 2017 | 11.2 | 65.4 | 73.4 | 112.6 | 163.8 | 269.4 | 172.6 | 37.5 | 1.3 | 55.6 | 29 | 61.2 |
| 2018 | 26.2 | 138.4 | 97.2 | 82.4 | 295.8 | 247.2 | 176 | 38 | 18.6 | 8.8 | 15.4 | 2.8 |
| Total | 37.4 | 203.8 | 170.6 | 195 | 459.6 | 516.6 | 348.6 | 75.5 | 19.9 | 64.4 | 44.4 | 64 |

| Estación CCA_P02 | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Año | Set | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago |
| 2017 | 26.4 | 68 | 68.4 | 131.6 | 225 | 271.1 | 177.8 | 39.1 | 1.8 | 49.4 | 36.2 | 59 |
| 2018 | 1.4 | 111 | 73.4 | 82.2 | 297.8 | 239.8 | 192 | 32.4 | 19.8 | 7.4 | 14 | 1.2 |
| Total | 27.8 | 179 | 141.8 | 213.8 | 522.8 | 510.9 | 369.8 | 71.5 | 21.6 | 56.8 | 50.2 | 60.2 |

| Estación MOR_P01 | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Año | Set | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago |
| 2017 | 20.9 | 72.6 | 77.9 | 130.2 | 201 | 208.5 | 159.2 | 40.4 | 2.1 | 44.8 | 25.4 | 49 |
| 2018 | 29.2 | 129 | 98.2 | 96.6 | 305.2 | 230.4 | 205.6 | 32.8 | 21 | 6.6 | 13 | 1.6 |
| Total | 50.1 | 201.6 | 176.1 | 226.8 | 506.2 | 438.9 | 364.8 | 73.2 | 23.1 | 51.4 | 38.4 | 50.6 |

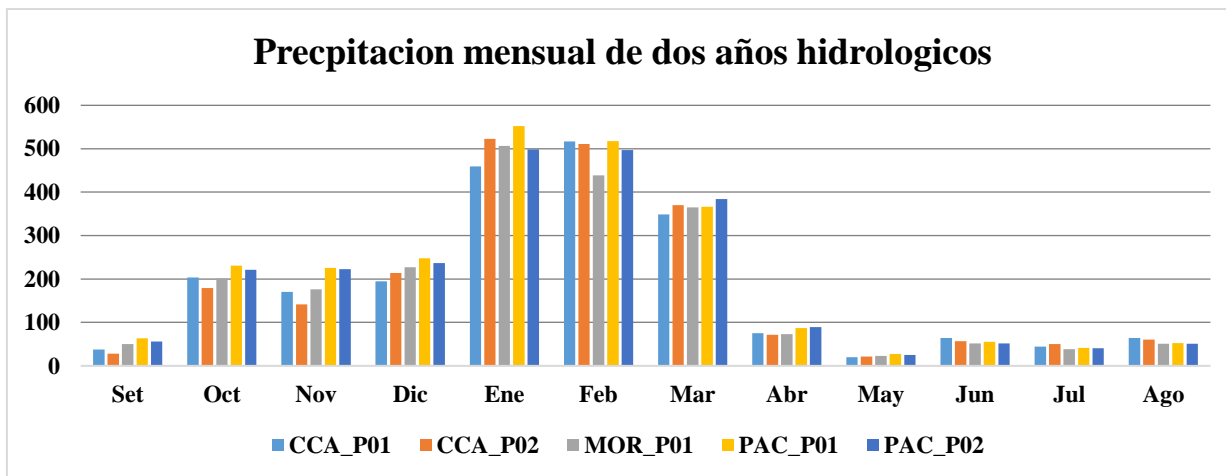
| Estación PAC_P01 | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Año | Set | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago |
| 2017 | 25 | 87.6 | 91.2 | 141 | 215 | 251.6 | 185.8 | 54.6 | 1.8 | 49.4 | 26.6 | 48.8 |
| 2018 | 38.8 | 143 | 134.4 | 106.6 | 337 | 265.6 | 181 | 32.6 | 25.6 | 6 | 14.6 | 3.8 |
| Total | 63.8 | 230.6 | 225.6 | 247.6 | 552 | 517.2 | 366.8 | 87.2 | 27.4 | 55.4 | 41.2 | 52.6 |

| Estación PAC_P02 | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|-------------|--------------|------------|--------------|--------------|--------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Año | Set | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago |
| 2017 | 23 | 83.1 | 86.8 | 130.1 | 220.2 | 255.8 | 203.6 | 49.6 | 1.7 | 46.6 | 26.2 | 44.2 |
| 2018 | 32.8 | 137.8 | 136.2 | 106.6 | 278.2 | 241 | 180.4 | 39.8 | 23.6 | 4.8 | 14.4 | 6.4 |
| Total | 55.8 | 220.9 | 223 | 236.7 | 498.4 | 496.8 | 384 | 89.4 | 25.3 | 51.4 | 40.6 | 50.6 |

Nota. Elaboración propia.

Figura 11

Precipitación mensual de dos años hidrológicos de los cinco pluviómetros



Nota. Elaboración propia.

Por otra parte, la precipitación anual se calculó sumando las precipitaciones mensuales, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Precipitación anual de dos años hidrológicos (mm)

| Fecha | CC_AP01 | CCA_P02 | MOR_P01 | PAC_P01 | PAC_P02 |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 01/09/2017-31/08/2018 | 1053 | 1154 | 1032 | 1178.4 | 1171 |
| 01/09/2018-31/08/2019 | 1146.8 | 1072 | 1169 | 1289 | 1202 |

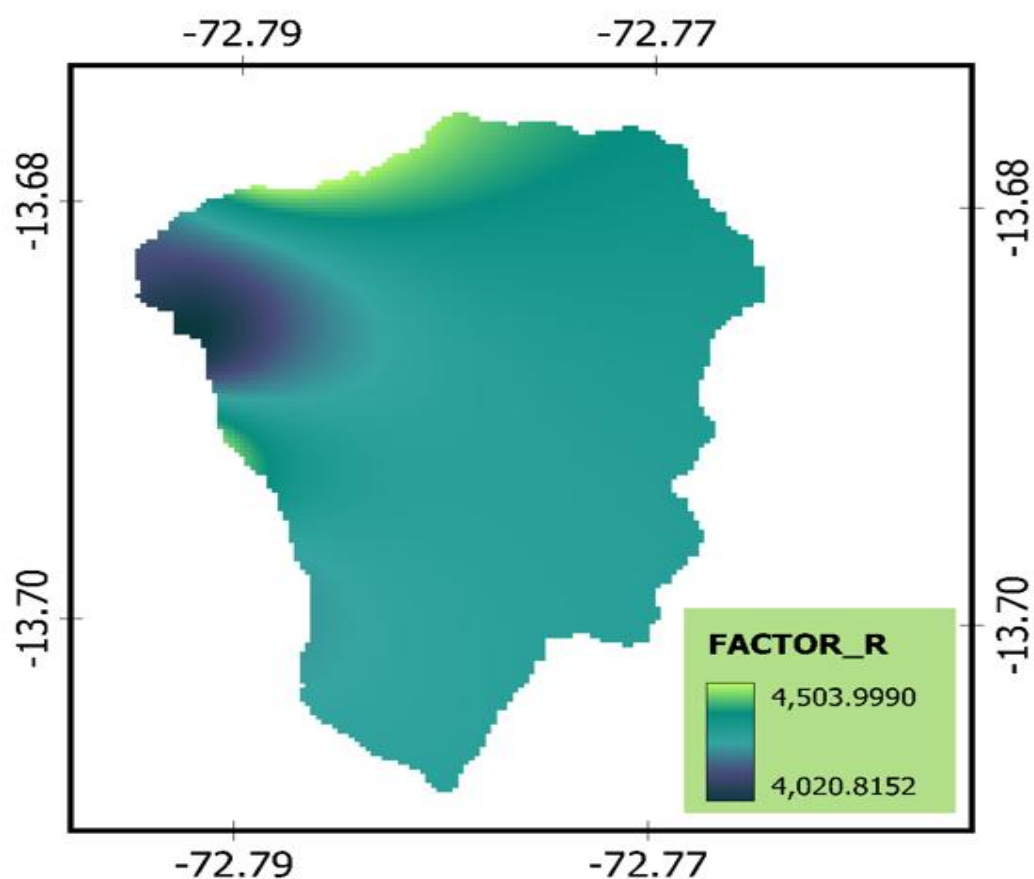
Nota. Elaboración propia.

Los datos de precipitación se interpolaron mediante IDW en RStudio para obtener un archivo TIF del área de estudio. Este archivo se importó a QGIS para calcular el Factor de erosividad según la fórmula de Wischmeier y Smith (1978).

se calculó un rango de 4020.852 a 4502.999 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹, como se muestra en la Figura 14. Los resultados indican que el valor de este factor aumenta con la elevación dentro de la cuenca, lo cual tiene coherencia con el comportamiento de las precipitaciones.

Figura 12

Resultado del mapa del factor Erosibilidad (R)



Nota. Elaboración propia obtenido de QGIS.

Factor de erodabilidad del suelo (K): para este factor se utilizó datos de mapa digital de suelos del mundo de la "Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)", a escala 1:5,000,000. Se identificaron los tipos de suelos presentes, obteniendo que el

suelo tipo I (Lithosuelos) contiene 16.2% de limo, 24% de arcilla , 58% de arena y 0.97% de carbono orgánico. Los resultados se evidencian en la tabla 6

Tabla 6

Tipo de suelo (Lithosuelos)

| DOMSO I | % arena | % limo | % arcilla | carbono orgánico | A | B | C | D |
|---------|---------|--------|-----------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| I | 58.9 | 16.2 | 24.9 | 0.97 | 0.285 | 0.756 | 0.927 | 0.994 |

Nota. FAO

Los datos fueron integrados en QGIS empleando una imagen satelital Landsat 8 OLI/TIRS con resolución espacial de 30 m. La escena, correspondiente a agosto de 2018, se obtuvo desde la plataforma ASF Data Search del Servicio Geológico de Estados Unidos para su análisis geoespacial. seguidamente, se empleó la fórmula de Nyesheja et al. (2019), obteniendo un valor uniforme de 0.082, debido a que se encontró un solo tipo de suelo.

Factor de longitud de pendiente e inclinación de la pendiente (LS): se utilizaron datos topográficos obtenidos del Modelo Digital de Elevación (DEM) de 12.5 x 12.5 de la Misión de Radar del Transbordador (SRTM) de la NASA (2000). Aplicando la fórmula de Desmet and Govers (1996), la cual consta del producto de factor de longitud y pendiente, se obtuvo un valor entre 0.31 y 17.3820 (adimensional).

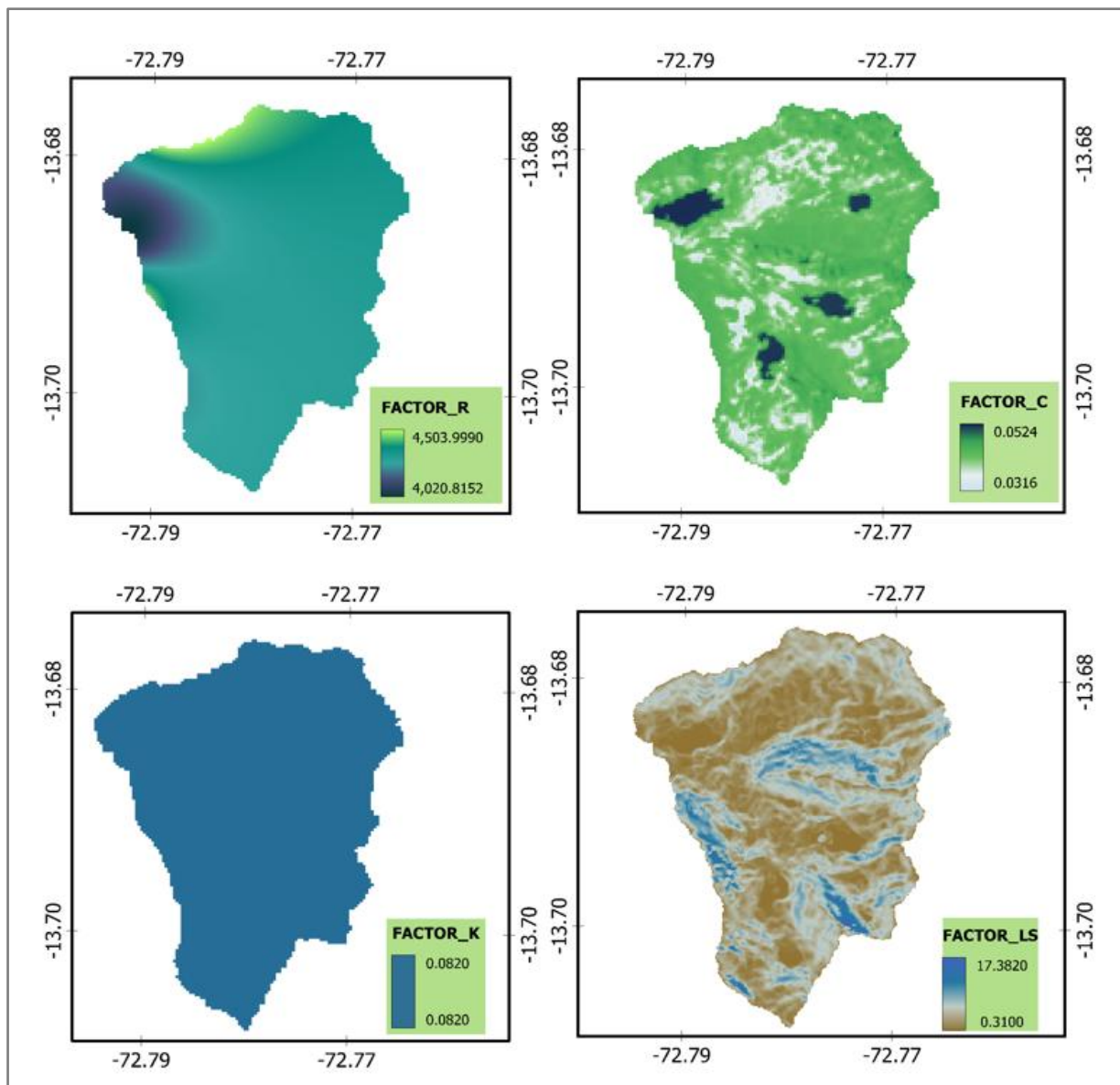
Factor de cobertura vegetal (C): se trabajó con una imagen satelital Landsat 8 OLI/TIRS de resolución espacial de 30 m de agosto 2018. Se calculó utilizando la fórmula de Rejani et al. (2016), que incluye el índice NDVI y los parámetros $\alpha=2$ y $\beta=1$

Factor de prácticas de conservación (P): se consideraron las características de erosión del suelo en el área de estudio, identificadas según Nyesheja et al. (2019), los cuales están detallados en la Tabla 1.

Basándose en estos factores, se calculó la generación de sedimentos en la cuenca (Figura 13). Los resultados mayores se ubicaron en áreas que tienen pendientes pronunciadas y escasa vegetación, mientras que los valores más bajos se concentraron en zonas que tiene pendiente baja, también en presencia de bofedales o vegetación (como bosques de queuña e ichu).

Figura 13

Factores empíricos para el cálculo de la erosión.

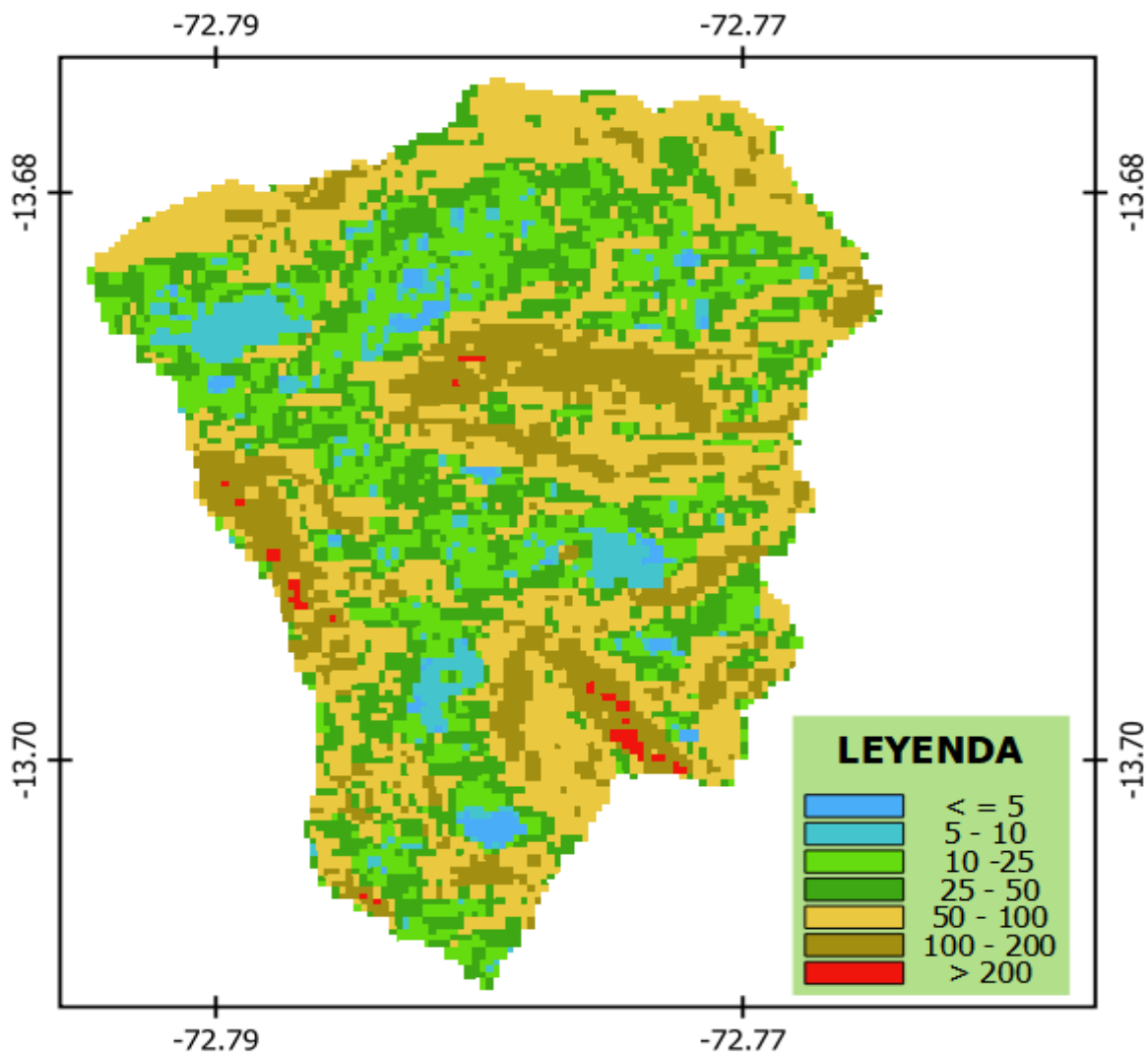


Nota. Elaboración propia obtenido de QGIS

Finalmente, el análisis reveló que un área de 2.55 km² presenta una sedimentación superior a 100 tn/ha/año. Además, en las áreas con presencia de bosques de polylepis (queuña), vegetales y bofedales la erosión es inferior a 50 tn/ha/año, tal como se evidencia en la figura 14.

Figura 14

Generación de Erosión en la cuenca Rontoccocha (tn/ha/año)



Nota. Elaboración propia obtenido de QGIS

En tal sentido, se concluye que la cuenca analizada muestra niveles significativamente altos de erosión, específicamente en el intervalo de 50 a 100 tn/ha/año. Según la clasificación proporcionada en la Tabla 7, estas áreas se caracterizan por procesos erosivos graves, donde la erosión es claramente visible a simple vista.

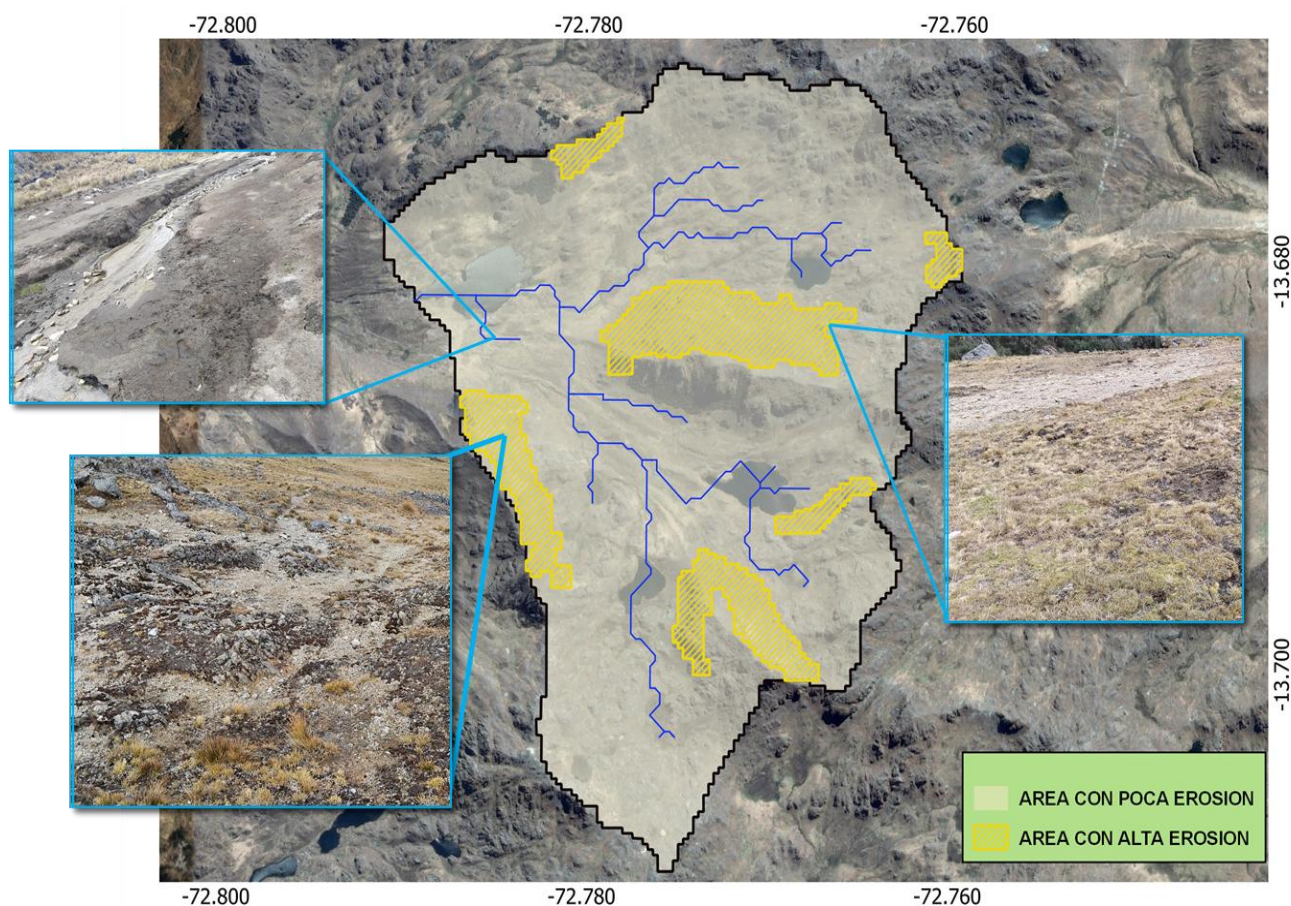
Tabla 7*Clasificación de niveles de erosión*

| PÉRDIDAS DE SUELO | INTERPRETACIÓN |
|------------------------|--|
| 0 (tn/ha/año) | Áreas con baja susceptibilidad a la erosión, correspondientes a entornos urbanizados, vías de transporte y embalses”. |
| 0 a 5 (tn/ha/año) | Áreas con tasas mínimas de erosión y pérdida de suelo dentro de límites tolerables, sin evidencia de erosión neta. |
| 5 a 10 (tn/ha/año) | Sectoros con tasas mínimas de erosión y pérdidas edáficas dentro de límites tolerables, evidenciando estabilidad superficial y ausencia de erosión neta. |
| 10 a 25 (tn/ha/año) | Áreas con procesos erosivos incipientes; la erosión está presente, pero no es visualmente evidente. |
| 25 a 50 (tn/ha/año) | Áreas con dinámica erosiva intermedia, donde los procesos de degradación del suelo ocurren sin manifestaciones visuales evidentes. |
| 50 a 100 (tn/ha/año) | Áreas con intensa degradación edáfica, donde la erosión del suelo es severa y visiblemente evidente. |
| 100 a 200 (tn/ha/año) | Sectoros presentan severos procesos de erosión hídrica, evidenciados visualmente por pérdida significativa de suelo superficial. |
| Más de 200 (tn/ha/año) | Áreas con intensa degradación del suelo, evidenciando erosión severa observable visualmente. |

Nota. Gobierno Vasco, (2005)

Figura 15

Mapeo según la tabla de clasificación de pérdida de suelos de Generación de Erosión de suelos en la cuenca Rontoccocha (tn/ha/año)



Nota. Elaboración propia obtenido de QGIS

Según la tabla de clasificación de pérdida de suelos se analizó que se tiene un área de 2.55 km² que presenta una sedimentación superior a 100 tn/ha/año o Alta erosión y en campo, se ha verificado que la erosión es evidente a simple vista, manifestándose en las zonas identificadas que son áreas desnudas del suelo, la reducción de la cobertura vegetal y la formación de surcos o laderas inestables. Además, en las áreas con presencia de queuña (*polylepis*), *Vegetación*

(*ichu, pastos alto andinos*) y bofedales, la erosión es inferior a 50 tn/ha/año, como se aprecia en la figura 15.

5.1.2. Generación de sedimentos y su influencia en la calidad del agua

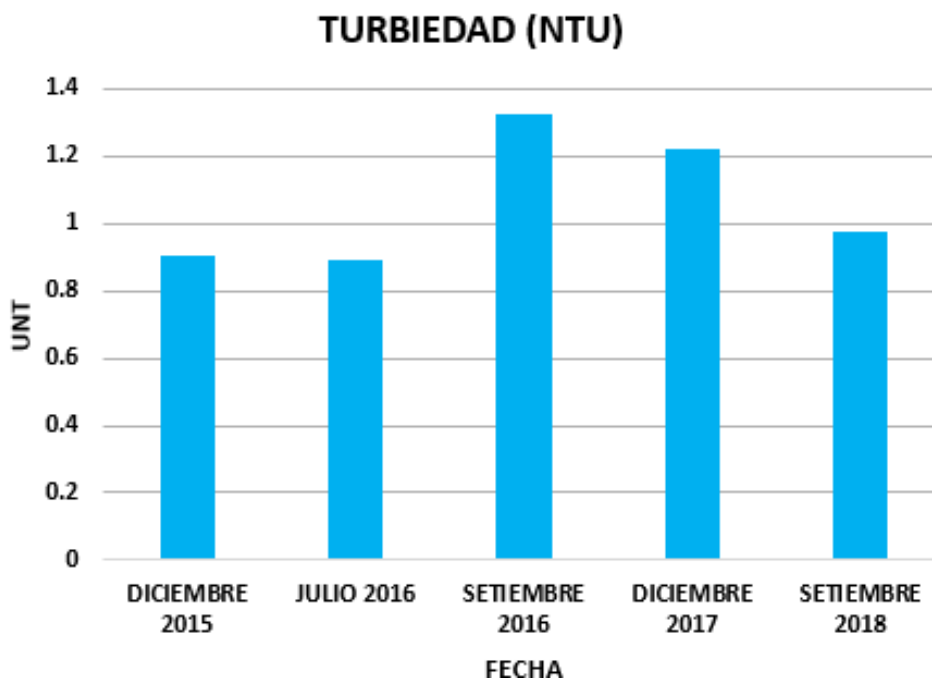
Para determinar cómo la erosión influye en la calidad del agua evaluaremos dos parámetros fundamentales: la turbidez y el PH del agua.

4.1.2.1. Turbidez

En la Figura 16 se puede observar que, en junio de 2016, se obtuvo un resultado mínimo, de 0.89 unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). Por otro lado, el valor máximo se registró en septiembre de 2016, con una concentración de 1.32 UNT. Al realizar la comparación entre el parámetro de turbidez con los datos del Límite Máximo Permisible (LMP) según lo estipulado en el DS N° 031-2010-SA, Reglamento de Calidad del Agua destinada al consumo humano, se puede concluir que todas las muestras cumplen con la normativa, ya que no superan el límite de 5 UNT.

Figura 16

Valores de turbiedad del agua obtenidos en diferentes meses

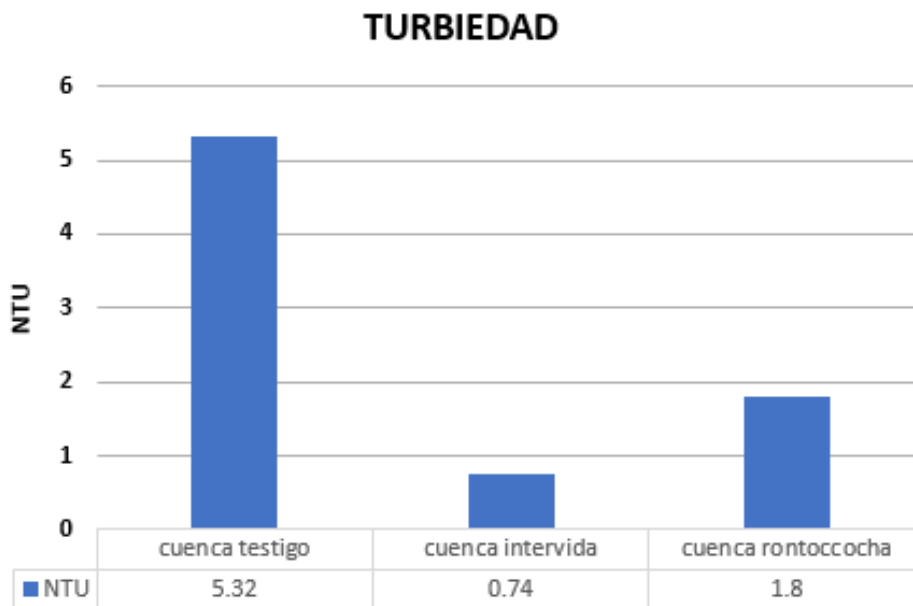


Nota. Elaboración propia

Asimismo, para el año 2024 del mes febrero se realizó una comparación de la turbiedad del agua en tres cuencas distintas: cuenca testigo (Pachacani), cuenca intervenida (Ccayllahuasi) y cuenca Rontoccocha, como se evidencia en la figura 17. En la cuenca Ccayllahuasi realizaron un proceso de intervención mediante forestación, revegetación y construcciones de diques, mientras que en la cuenca testigo no se realizó ninguna intervención. En la cuenca Rontoccocha, a pesar de tener áreas forestadas, también se identificaron zonas sin intervención mediante forestación y revegetación.

Figura 17

Valores comparados del parámetro turbidez



Nota. Elaboración propia

La comparación sugiere, que las actividades de forestación y la revegetación da un impacto positivo en la disminución de la turbidez del agua. La cuenca intervenida (Ccayllahuasi), donde se realizó forestación, construcción de diques y revegetación, presenta el nivel más bajo de turbidez (0.74 NTU), mientras que la cuenca testigo sin intervención tiene el nivel más alto (5.32 NTU). En el caso de la cuenca Rontoccocha, donde se encontraron áreas sin forestación, la turbidez es mayor (1.8 NTU) que, en la cuenca intervenida con forestación completa, pero menor que en la cuenca testigo sin intervención alguna.

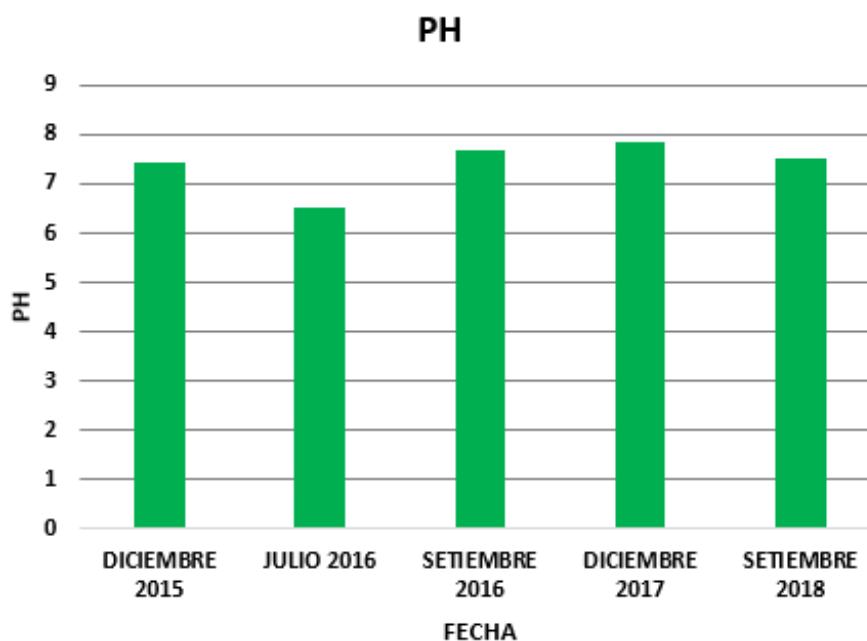
4.1.2.2. PH del Agua

La Figura 18, se muestra en los meses que se realizaron el muestreo así mismo sus resultados. Se evidenciar que el valor mínimo de pH se registró en julio de 2016, con 6.51,

coincidiendo con el periodo de estiaje o sequía. Por otro lado, el valor máximo se observó en diciembre de 2017, con un pH de 7.86, correspondiente a la época de lluvias. Estos resultados indican que el pH del agua fluctúa a lo largo del año, con valores más cercanos al rango ácido durante la temporada seca y valores más cercanos a la neutralidad dentro de la temporada de lluvias. En cualquier situación, los registros de pH permanecen dentro del intervalo máximo autorizado (6.5–8.5), conforme a lo dispuesto en el D.S. N.º 031-2010-SA, Reglamento sobre la Calidad del Agua destinada al Consumo Humano.

Figura 18

Valores de PH medido en diferentes meses



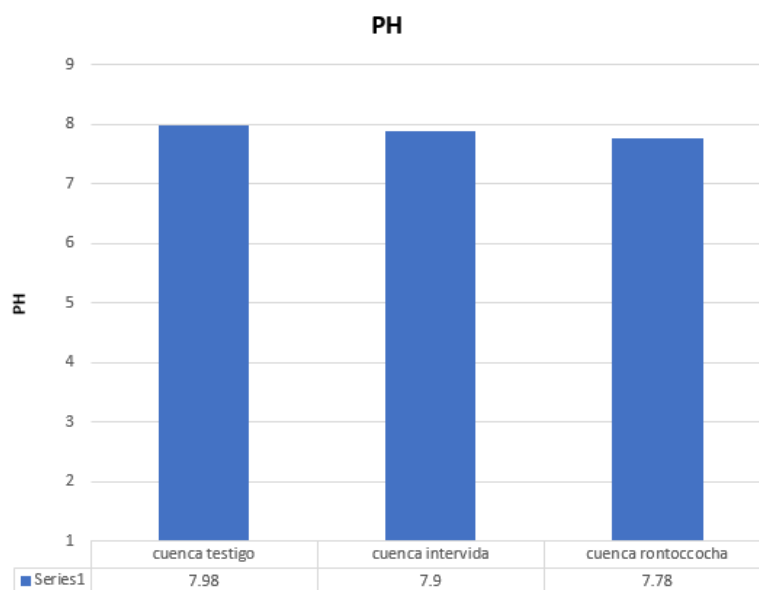
Nota. Elaboración propia.

En esa misma línea, en la figura 19, se tiene la comparación de los valores de pH en tres cuencas distintas del mes de febrero del 2024, correspondiente a la época de lluvias. En la cuenca intervenida se implementó un proceso de forestación, revegetación y construcción de diques,

mientras que en la cuenca testigo no se realizó ninguna intervención. Por otra parte, la cuenca Rontoccocha tiene áreas tanto forestadas como no forestadas.

Figura 19

Valores de PH comparados



Nota: Elaboración propia.

Los resultados muestran valores de pH ligeramente alcalinos en las tres cuencas, con la cuenca testigo registrando un pH de 7.98, la cuenca intervenida con un pH de 7.9, y la cuenca Rontoccocha con un pH de 7.78. que, durante la temporada de lluvias, los resultados de pH tienden a ser más elevados en comparación a la época de estiaje, manteniéndose dentro de los límites permisibles para consumo humano, independientemente de las actividades de forestación realizadas en la cuenca Rontoccocha.

5.1.3. Costo de producción de agua para consumo humano

Para el costo de producción de agua potable se debe considerar el proceso de operación y administración del servicio.

5.1.3.1. Captación

La laguna Rontococha representa una de la principal fuente superficial de abastecimiento de la EPS EMUSAP ABANCAY. Está compuesta por tres lagunas que, en conjunto, aportan un caudal de 45 lps con una masa anual de 622,080 m³. Sin embargo, durante la época de estiaje, la laguna Rontococha produce caudales bajos (15-20 lps), lo que afecta el servicio de agua.

5.1.3.2. Transporte y Distribución

Esta sección comprende los segmentos de las líneas de conducción que transportan agua sin tratar, las cuales enlazan las captaciones y los reservorios. La longitud aproximada de estas líneas es de 34.8 km, y el agua es transportada aprovechando la energía gravitacional. A lo largo del sistema de conducción de Rontococha se disponen veinte cámaras rompe presión (CRP) que regulan la energía hidráulica. A continuación, se detallan las características técnicas de dicha línea de conducción:

Tabla 8

Características de la red de distribución de agua potable.

| Diámetro (mm) | Longitud (m) | Antigüedad (años) | Estado Físico | Tipo de Tubería |
|---------------|--------------|-------------------|---------------|-----------------|
| 6" | 1 686 | 23 | Regular | PVC UF |
| 8" | 9 103 | 23 | Regular | PVC UF |
| 10" | 120 | 23 | Regular | PVC UF |
| 12" | 12 048 | 23 | Regular | PVC UF |

Nota. Adaptado de SUNASS - EPS EMUSAP ABANCAY S.A.C.

5.1.3.3. Tratamiento y Operación

5.1.3.3.1. *Tratamiento con sulfato de aluminio*

La calidad del agua destinada al consumo humano requiere un tratamiento de purificación que puede realizarse mediante diversos métodos y adyuvantes naturales y sintéticos, tales como el sulfato de aluminio. El costo asociado al tratamiento del agua está directamente relacionado con la reducción de la turbidez y el color del agua a niveles mínimos admisibles, lo cual se logra mediante la aplicación de sulfato de aluminio.

La dosificación de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) es un paso crítico en el tratamiento de aguas para la eliminación de turbidez y partículas suspendidas. A continuación, se describe el método general para calcular esta dosificación:

- Determinación de la Demanda de Sulfato de Aluminio: se lleva a cabo mediante pruebas de jarras en el laboratorio, donde se añaden diferentes concentraciones de sulfato de aluminio a muestras de agua y se observa la eficiencia en la remoción de turbidez.
- Preparación de la Solución de Aluminio: preparar una solución estándar de sulfato de aluminio en agua. La concentración de esta solución puede ser del 1% al 5% (10,000 mg/L a 50,000 mg/L), dependiendo de los requerimientos específicos del tratamiento y la calidad del agua.
- Pruebas de Jarras: se utilizan jarros de agua contaminada con diferentes dosis de la solución de sulfato de aluminio. La mezcla se agita rápidamente durante 1 a 2 minutos para asegurar una buena dispersión del coagulante. Luego, la mezcla se agita lentamente durante 15 a 20 minutos para permitir la formación de flóculos. Por último, se deja entre 30 y 60 minutos en reposo para su sedimentación.

- Evaluación de Resultados: se mide la turbidez residual del agua tratada en cada jarra. La dosis óptima es aquella que produce la menor turbidez residual sin causar un incremento significativo en la cantidad de sólidos disueltos.
- Cálculo de la Dosificación: la dosificación se expresa generalmente en miligramos por litro (mg/L). Si se determina que la dosificación de sulfato de aluminio es óptima, por ejemplo, 20 mg/L, esta dosis se aplicará en el tratamiento de agua. Se emplea la fórmula general para la dosificación de coagulantes en el tratamiento de agua:

$$D = \frac{C \times Q \times 8.34}{\% \text{pureza}}$$

Donde:

D es la cantidad de sulfato de aluminio en libras por millón de galones (lb/MG).

C es la concentración deseada del coagulante en mg/L.

Q es el caudal de agua a tratar en millones de galones por día (MGD).

% pureza es el contenido de sulfato de aluminio.

Finalmente, en la tabla 9 se observa los valores mínimos y máximos de sulfato de aluminio obtenidos por cada muestra.

Tabla 9

Valores mínimos y máximos de dosificación de sulfato de aluminio

| Fecha | Muestras | Turbiedad (UNT) | Dosificación mínima (mg/l) | Dosificación máxima(mg/l) |
|----------------|----------|-----------------|----------------------------|---------------------------|
| Diciembre 2015 | 1 | 0.9 | 4.691108709 | 39.69110871 |
| Julio 2016 | 1 | 0.89 | 4.637144667 | 39.63714167 |
| Setiembre 2016 | 1 | 1.32 | 6.540961288 | 41.54096129 |

| | | | | |
|-------------------|---|------|-------------|-------------|
| Diciembre 2017 | 1 | 1.22 | 6.160449648 | 41.16044965 |
| Setiembre 2018 | 1 | 0.97 | 5.052882028 | 40.05288202 |

Nota. Elaboración propia

4.1.3.3.1.1. Determinación del costo sulfato de aluminio requerido

La tabla 10 y 11 muestran los costos mínimos y máximos del sulfato de aluminio requerido para la dosificación de las muestras tomadas de agua en la fuente de captación de aguas crudas superficiales administrado por la EPS EMUSAP ABANCAY. Es importante tener en cuenta que, para el caso de turbiedades menores a 5 unidades nefelométricas de turbidez (UNT), no es necesario adicionar coagulantes como el sulfato de aluminio, ya que el agua cumple con el valor del parámetro establecido en la normativa.

Los resultados evidencian que la turbidez del agua en la cuenca intervenida, donde se han implementado actividades de forestación y revegetación, presenta valores menores a 5 UNT, cumpliendo con el Valor Límite Máximo Autorizado (LMP) según la normativa nacional. Por lo tanto, para este caso, no sería necesario adicionar sulfato de aluminio u otros coagulantes químicos para el tratamiento del agua.

En contraste, la cuenca testigo sin intervenciones de conservación registró valores de turbidez superiores a 5 UNT, lo que requeriría la aplicación de sulfato de aluminio u otros insumos químicos para reducir la turbidez y cumplir con los estándares de calidad.

El cálculo del costo está basado en el precio comercial de 15 soles por kilogramo de sulfato de aluminio en el mercado local. Estos cálculos se realizaron con el objetivo de conocer teóricamente el impacto económico que tendría el tratamiento del agua en una cuenca con alta

producción de sedimentos, en comparación con la cuenca intervenida, donde las actividades de forestación y revegetación han permitido mantener la turbidez dentro de los límites aceptables.

Adicionalmente, es importante destacar que, si bien no es necesario aplicar coagulantes en la cuenca intervenida debido a los bajos niveles de turbidez, el análisis comparativo de los costos demuestra que las acciones recuperación y conservación de los ecosistemas en la cuenca han permitido un ahorro significativo en los costos operativos de la planta de tratamiento. Esta comparación subraya la relevancia de las intervenciones ambientales como una estrategia efectiva para la reducción de costos en el tratamiento de agua, lo cual es particularmente evidente al considerar el tratamiento necesario para la cuenca testigo.

Tabla 10

Costos mínimos de sulfato de aluminio

| Fecha | Muestras | Turbiedad (UNT) | Dosificación mínima (mg/l) | costo g/l | costo kg/l | |
|-----------------------------|----------|-----------------|----------------------------|------------|-------------------|--------------|
| Diciembre 2015 | 1 | 0.9 | 4.691108709 | 0.00007037 | 0.07036663 | |
| Julio 2016 | 1 | 0.89 | 4.637144667 | 0.00006956 | 0.06955717 | |
| Setiembre 2016 | 1 | 1.32 | 6.540961288 | 0.00009811 | 0.09811442 | |
| Diciembre 2017 | 1 | 1.22 | 6.160449648 | 0.00009241 | 0.09240674 | |
| Setiembre 2018 | 1 | 0.97 | 5.052882028 | 0.00007579 | 0.07579323 | |
| Costo mínimo promedio kg/m3 | | | | | 0.08124764 | Soles |

Nota. Elaboración propia

Tabla 11*Costos máximos de sulfato de aluminio*

| Fecha | Muestras | Turbiedad (UNT) | Dosificación mínima (mg/l) | costo g/l | costo kg/l | |
|-----------------------------|----------|-----------------|----------------------------|------------|-------------------|--------------|
| Diciembre 2015 | 1 | 0.9 | 39.69110871 | 0.00059537 | 0.59536663 | |
| Julio 2016 | 1 | 0.89 | 39.63714167 | 0.00059456 | 0.59455713 | |
| Setiembre 2016 | 1 | 1.32 | 41.54096129 | 0.00062311 | 0.62311442 | |
| Diciembre 2017 | 1 | 1.22 | 41.16044965 | 0.00061741 | 0.61740674 | |
| Setiembre 2018 | 1 | 0.97 | 40.05288202 | 0.00060079 | 0.60079323 | |
| Costo máximo promedio kg/m3 | | | | | 0.60624763 | Soles |

Nota. Elaboración propia

Por otro lado, los costos administrativos asociados a EPS EMUSAP ABANCAY. se vinculan con la supervisión y gestión de las operaciones generales de la empresa, estos costos comprenden salarios del personal, servicios de terceros, cargas de gestión, etc., como se evidencia en la tabla 13.

Tabla 12*Gastos generales proyectados entre 2019 y 2024.*

| Descripción | 1 año | 2 año | 3 año 3 | 4 año | 5 año |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Coordinación General y Administrativa | 284 495 | 289 923 | 295 317 | 300 670 | 305 985 |
| Organización y Progreso | 104 114 | 106 044 | 107 961 | 109 863 | 111 750 |
| Apoyo técnico | 67 159 | 69 025 | 70 895 | 72 766 | 74 639 |
| Ingeniería | 29 995 | 31 144 | 32 307 | 33 482 | 34 668 |

| | | | | | |
|--------------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Publicación empresarial | 271 802 | 279 144 | 286 537 | 293 973 | 301 449 |
| Gestión de personas | 67 824 | 70 412 | 73 031 | 75 675 | 78 346 |
| Sistematización | 253 840 | 258 046 | 262 238 | 266 412 | 270 569 |
| Finanzas | 98 176 | 100 684 | 103 193 | 105 697 | 108 199 |
| Servicios Generales | 267 244 | 274 275 | 281 310 | 288 341 | 295 366 |
| Gastos Generales | 427 654 | 438 390 | 449 118 | 459 829 | 470 519 |
| Impuestos y contribuciones | 93 824 | 98 875 | 100 934 | 103 030 | 105 170 |
| TOTAL, GASTOS ADMINISTRATIVOS | 1 966 126 | 2 015 964 | 2 062 840 | 2 109 739 | 2 156 660 |

Nota. Adaptado de SUNASS - EPS EMUSAP ABANCAY.

Polielectrolitos: Para mejorar la coagulación y floculación.

- **Costo unitario:** Aproximadamente 30 soles por kilogramo.
- **Dosificación:** Entre 0.5 y 2 mg/L.

Cal Hidratada: Para ajustar el pH del agua tratada.

- **Costo unitario:** 10 soles por kilogramo.
- **Dosificación:** Entre 1 y 5 mg/L depende de la alcalinidad del agua.

Cloro: Para la desinfección del agua.

- **Costo unitario:** 25 soles por kilogramo.
- **Dosificación:** Entre 1 y 2 mg/L.

Tabla 13

Costos de operación y mantenimiento anuales

Personal de la PTAP

| | |
|--|----------------|
| Jefe de planta (0.5 UND) a S/. 3,500.00 | S/. 21,000.00 |
| Operadores de planta (2 UND) a S/. 2,500.00 | S/. 60,000.00 |
| Especialistas en eléctrico (0.5 UND) a S/. 2,500.00 | S/. 15,000.00 |
| Guardias (3 UND) a S/. 930.00 | S/. 33,480.00 |
| Insumos | |
| Cloro Gas (68KG) (66 UND) a S/. 476.00 | S/. 31,416.00 |
| Flete de Cloro Gas (68KG) (66 UND) a S/. 230.00 | S/. 15,180.00 |
| Sulfato de Aluminio (kg) | S/. 245,980.62 |

Nota. Para una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) operando a un caudal de 70-80 l/s

4.2. Discusión

Los resultados evidencian que las zonas de mayor elevación en la cuenca de Rontoccocha presentan una mayor erosividad (factor R), lo cual coincide con el comportamiento observado de las precipitaciones. Este resultado es consistente con investigaciones previas que han demostrado la relación directa entre las características topográficas y climáticas, particularmente la intensidad de las lluvias, y la susceptibilidad a la erosión del suelo.

En concordancia con la investigación de Arias et al. (2023), existe una notable variación en el factor R en función de la altitud y las condiciones meteorológicas de la cuenca. Esto respalda la relación directa entre la erosividad pluvial y las características topográficas y de precipitación, tal como se menciona en las bases teóricas (Capurro & Montico, 2020; Sanjurjo & Bendayán, 2024).

Además, los resultados obtenidos para el factor R en la cuenca de Rontoccocha se encuentran dentro del intervalo reportados en otros estudios realizados en áreas similares. Por

ejemplo, Condori Tintaya et al. (2022) obtuvieron resultados de R entre 101.20 a 109.09 MJ.mm/ha.h en la subcuenca Camilaca, que es similar al resultado de la presente investigación.

Por otra parte, la metodología utilizada para el cálculo del factor R a partir de datos de precipitación mensual y anual es coherente con los enfoques empleados en los antecedentes revisados, como el estudio de Guio Martínez (2019) y Soto & Anccasi (2021), quienes también utilizaron ecuaciones empíricas basadas en datos climáticos para estimar este factor.

Adicionalmente, los factores LS (pendiente y longitud de ladera), C (uso y cobertura del suelo) y K (erodabilidad) permiten determinar zonas con mayor vulnerabilidad a la erosión en la cuenca. La combinación de pendientes pronunciadas, escasa cobertura vegetal y suelos propensos a la erosión puede resultar en tasas de producción de sedimentos significativas.

Cabe destacar que la influencia del factor R en la generación de sedimentos se ve potenciada por la interacción con otros factores de la ecuación RUSLE, con el ello el factor topográfico (LS), la cobertura vegetal (C) y la erodabilidad del suelo (K). Esta interacción de factores es consistente con las bases teóricas descritas por Sabino Rojas et al. (2021) y Huang et al. (2022, 2023), quienes resaltan la importancia de considerar múltiples factores para una evaluación integral de la erosión del suelo.

En cuanto a la condición del agua, los resultados muestran que, a pesar de la erosión y la carga de sedimentos presentes en la cuenca, los niveles de turbidez y pH del agua se mantienen en rangos aceptables para consumo humano establecidos por la legislación nacional. Sin embargo, es importante destacar que se observan fluctuaciones en estos parámetros, lo que

sugiere la necesidad de un monitoreo constante y la ejecución de medidas preventivas para evitar el deterioro de la calidad del agua a largo plazo.

Respuesta similar a los estudios de Guio Martínez (2019) y García et al. (2021), se observa una relación directa entre la erosión del suelo y el incremento de la turbidez del agua debido al transporte de sedimentos. Esto respalda la teoría expuesta por Saalidong et al. (2022) y McMahon et al. (2020), ellos afirman que la presencia de partículas suspendidas, principalmente sedimentos, favorece a incrementar la turbidez de los cuerpos de agua.

Asimismo, los rangos de valores de turbidez reportados en la presente investigación son comparables con los encontrados en otros estudios similares, como el de Mejía et al. (2021), donde se observaron niveles de turbidez clasificados como bajos, ligeros y moderados en función de la carga de sedimentos.

En cuanto al pH del agua, los resultados obtenidos muestran que, si bien se observaron fluctuaciones, los valores se mantuvieron dentro de los límites permisibles para consumo humano. Esto coincide con las bases teóricas consultadas, donde se menciona que el pH puede verse afectado por diversos factores, incluida la erosión del suelo y el transporte de sedimentos (Estupiñán et al., 2020; Patil et al., 2022).

Los datos obtenidos revelan que la generación de sedimentos en la cuenca de Rontoccocha influye considerablemente en los gastos asociados a la elaboración de agua potable. En áreas con alta producción de sedimentos, los costos de tratamiento del agua se incrementan debido a la necesidad de procesos adicionales para eliminar los sedimentos y garantizar que el agua cumpla con las normas de potabilidad.

Sin embargo, se destaca que, en la cuenca intervenida, donde se han implementado actividades de forestación y revegetación, los niveles de turbidez son inferiores a 5 UNT, por lo que no se requiere la adición de coagulantes químicos como el sulfato de aluminio para el tratamiento del agua. Esto representa un ahorro significativo en los costos de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, en comparación con la cuenca testigo sin intervención, donde los niveles de turbidez superan el LMP y sí se requiere el uso de dichos insumos.

Al comparar estos hallazgos con estudios previos y las bases teóricas, se encontró que la relación entre la producción de sedimentos y los costos de tratamiento del agua está bien documentada. Por ejemplo, Arias et al. (2023) utilizaron el modelo RUSLE para cuantificar la erosión del suelo y encontraron que áreas con alta erosión requerían mayores intervenciones para mitigar la pérdida de suelo y mejorar la calidad del agua. De manera similar, el estudio de Guio Martínez (2019) reveló que la falta de cobertura vegetal y las altas pendientes aumentaban significativamente la erosión del suelo, lo que a su vez elevaba los costos de conservación y tratamiento del agua en la cuenca del embalse de la Copa.

Además, investigaciones nacionales como la de Condori et al., (2022), en la subcuenca Cairani Camilaca en Perú, demostraron que las áreas con alta erosión del suelo presentaban mayores desafíos en términos de gestión del agua. Los datos de este estudio mostraron que los suelos con alta erodabilidad y pendientes pronunciadas aumentaban la sedimentación en cuerpos de agua, incrementando los costos asociados con su tratamiento.

Asimismo, Soto et al., (2021) encontraron que en la subcuenca Vilca, las áreas con escasa aplicación de conservación del suelo presentaban mayores tasas de erosión, lo que elevaba los costos de tratamiento del agua debido a la mayor turbidez y contaminación sedimentaria.

VI. Conclusiones

- El análisis del impacto en la generación de sedimentos dentro de la cuenca Rontoccocha permitió determinar zonas prioritarias con elevada tasa de aporte sedimentario. El enfoque local facilitó la identificación precisa de estas zonas, posibilitando la priorización de actividades de forestación. Este proceso es crucial para mitigar la erosión del suelo y mejorar la calidad del agua, asegurando la sostenibilidad a largo plazo de los recursos hídricos en la región de Abancay.
- La producción de sedimentos afecta significativamente el factor de erosividad, evidenciando variaciones importantes en las zonas de intervención. El enfoque local permitió utilizar la infraestructura natural para identificar las áreas más vulnerables a la erosión, lo que resultó en estrategias más efectivas de manejo y conservación del suelo.
- El estudio reveló que la producción de sedimentos impacta directamente la calidad del agua, con aumentos en la turbidez y disminuciones en la calidad general. La identificación de áreas de intervención mediante un enfoque local permitió implementar medidas específicas para reducir la carga de sedimentos, mejorando así la calidad del agua en la unidad hidrográfica.
- La producción de sedimentos incrementa los costos de tratamiento del agua para consumo humano. Al aplicar un enfoque local para identificar y actuar sobre las áreas de alta producción de sedimentos, se logró reducir estos costos al disminuir la cantidad de sedimentos que necesitan ser tratados, resultando en un proceso más eficiente y económico para el abastecimiento de agua.

VII. Recomendaciones

- Se recomienda implementar un programa de monitoreo continuo y a largo plazo en la unidad hidrográfica de Rontoccocha para evaluar la generación sedimentaria. Esto permitirá analizar de forma más específica el impacto de las actividades de forestación y otras medidas de conservación del suelo en la reducción de la erosión y la producción de sedimentos.
- Se sugiere utilizar técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica (SIG) para monitorear y mapear de manera continua los cambios en el factor de erosividad y otros factores relacionados con la producción de sedimentos. Esto permitirá identificar con mayor precisión las áreas críticas que requieren intervenciones específicas, como la forestación y otras medidas de conservación del suelo.
- Se recomienda establecer un programa de monitoreo exhaustivo de la calidad del agua en la unidad hidrográfica de Rontoccocha, que incluya la evaluación de parámetros adicionales como la presencia de contaminantes, nutrientes y microorganismos. Esto posibilitará una evaluación integral del efecto de la generación de sedimentos sobre la calidad del recurso hídrico, permitiendo implementar acciones de mitigación apropiadas.
- Se recomienda efectuar análisis regulares sobre los gastos implicados en la producción de agua potable, considerando los gastos inmediatos del tratamiento como también los costos indirectos asociados con la mitigación de la terrestre y la generación de sedimentos. Esto permitirá una asignación más eficiente de recursos y la adopción de estrategias costo-efectivas para disminuir los costos a largo plazo.

VIII. Referencias Bibliográficas

- Abbondanza, S. (2019). *Cambios en la cobertura vegetal y erosión del suelo en Sierras Chicas – Córdoba, en el periodo 2005-2017: aproximaciones desde el modelo RUSLE con base en la teledetección*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Córdoba]. <http://hdl.handle.net/11086/17655>
- Álvarez Benaute, L. (2019). Indicadores para medir la erosión de los suelos por acción de la “Precipitación: análisis técnico centrado en procesos de estabilización de suelos a gran escala y en la gestión eficiente de las tasas de erosión superficial (Revista Investigación Agraria, 1(1), 76–87). <https://doi.org/10.47840/ReInA2019v1n1p.76-87>
- Autoridad Nacional del Agua. (s/f). *Enfoque de cuenca*. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. <https://acortar.link/tCZm2v>
- Aramayo, V., Nosoletto, M., & Cremona, M. (2024). Análisis de la susceptibilidad a la erosión hídrica en una cuenca de la Patagonia árida bajo distintos escenarios. *Investigaciones Geográficas*, 81, 181–199. <https://doi.org/10.14198/INGEO.25246>
- Arias, J., & Covinos, M. (2021). *Diseño y metodología de la investigación*. Enfoques Consulting. <http://hdl.handle.net/20.500.12390/2260>
- Arias, P., Saz, M., & Escolano, S. (2023). Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador. *Investigaciones Geográficas*, 79, 207-230. <https://doi.org/10.14198/INGEO.22390>
- Arispe, C., Yangali, J., Guerrero, M., Lozada, O., Acuña, L. y Arellano, C. (2020). *La investigación científica. Una aproximación para los estudios de posgrado*. Universidad Internacional del Ecuador. <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4310>

- Benavides, M. , Gallego, S., Groppa, M. , Pena, L. , & Zawoznik, M. (2023). El suelo: un recurso natural fundamental para la vida. *Farmacia y Bioquímica En Foco*. <http://hdl.handle.net/11336/227812>
- Blanco, R., & Javier, F. (2023). Buenas prácticas agrícolas para el control de la erosión hídrica del suelo en los cultivos anuales de las montañas de Guatemala y Nicaragua. *Ikara. Revista de Geografías Iberoamericanas*, (3). <https://doi.org/10.18239/Ikara.3319>
- Calixto, R., & De los Ángeles, M. (2023). *Educación ambiental, agua y cambio climático: nuevos escenarios*. Universidad Pedagógica Nacional. <https://www.uv.mx/bdh/files/2023/11/Educacion-ambiental-agua-y-cambio.pdf>
- Capurro, J., & Montico, S. (2020). Efecto de los cultivos de cobertura sobre las pérdidas de agua y suelo por erosión hídrica. *Cuadernos Del CURIHAM*, (26), 41–47. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7679947>
- Castillo, V, X., Etchevers, B., Hidalgo, M, C., & Aguirre, G., (2021). Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.698>
- Castro, A., Parra, E. y Arango, I. (2020). Glosario para metodología de la investigación. *Working Paper ESACE*, (8), 1-38. <http://doi.org/10.17605/OSF.IO/5ANJB>
- Cifuentes, A. (2019). Tendencias en metodología de investigación en Psicoterapia: Una aproximación epistemométrica*. *Diversitas: Perspectivas en Psicología*, 15(2), 201-210. <https://doi.org/10.15332/22563067.3856>
- Condori, Ñ., & Huamaní, G., (2018). *Aplicación del estabilizador Z con polímero en el incremento del valor del CBR del material utilizado como afirmado en la carretera*

departamental ap-103, tramo puente Ullpuhuaycco – Karkatera (l= 14.050 kms) Abancay-Apurímac 2018. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de los Andes].

<https://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/133>

Condori, F., Pino, E., & Tacora, P. (2022). Pérdida de suelos por erosión hídrica en laderas semiáridas de la subcuenca Cairani-Camilaca, Perú. *Idesia (Arica)*, 40(2), 7–15.

<https://doi.org/10.4067/S0718-34292022000200007>

Cremona, M., & Enriquez, A. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento. *Presencia*, XXXI (73), 5–8. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/7709>

Decreto Supremo - N° 017-2018-MINAM (2018).

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/264537/DS_017-218-

[MINAM y Anexo.pdf](#)

Dextrea, R., Hernandez, M., & Eschenhagen, M., (2022). Evaluación de los servicios ecosistémicos hídricos en la cuenca alta del río Santa, integrando dimensiones sociales y ecológicas mediante análisis interdisciplinario cuantitativo y cualitativo

<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101454>

Echavarría, C., Medina, G., & Ruiz, C., (2020). Efecto en la erosión hídrica del suelo en pastizales y otros tipos de vegetación por cambios en el patrón de lluvias por el calentamiento global en Zacatecas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*,

(11), 63–74. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4694>

Estupiñán, T., Navia, S., & Aguirre, D., Torres, R., (2020). Características bacteriológicas, físicas y pH del agua de consumo humano del municipio de Une-Cundinamarca.

Nova, 18(33), 101-112. <https://doi.org/10.22490/24629448.3702>

- García, L., & Veneros, J., (2021). Geospatial Analysis of Soil Erosion including Precipitation Scenarios in a Conservation Area of the Amazon Region in Peru. *Applied and Environmental Soil Science*, 2021, 1–21. <https://doi.org/10.1155/2021/5753942>
- Gaglio, M., Lanzoni, M., Goggi, F., Fano, E., & Castaldelli, G. (2023). Integrating payment for ecosystem services in protected areas governance: The case of the Po Delta Park. *Ecosystem Services*, 60, 101516. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101516>
- Guio Martinez., (2019). *Determinación y mapificación de pérdidas de suelos en la cuenca del embalse de la copa*. [Maestría en Ingeniería Ambiental, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia]. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/3480>
- Gutiérrez, P., (2020). *Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de las comunidades indígenas en la sierra Otomí (Centro de México)*. Instituto Politécnico Nacional-CIEMAD. <https://www.pincc.unam.mx/wp-content/uploads/2022/02/vulnerabilidad.pdf>
- Hernández, C., & Carpio, N., (2019). Introducción a los tipos de muestreo. *Alerta. Revista Científica del Instituto Nacional de Salud*, 2(1), 75-79. <https://doi.org/10.5377/alerta.v2i1.7535>
- Hernández, R., & Mendoza, C., (2018). *Metodología de la investigación (1ra ed.)*. McGraw Hill. <http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/1292>
- Huamán, H., Arauco, S., Rojas, R., & Rojas, J. (2020). Optimización de la cantidad de coagulantes para la producción de agua potable en zonas de la sierra del Perú. *UCV-SCIENTIA*, 12(1), 9-13 <https://doi.org/10.18050/revucv-scientia.v12i1.920>

- Huang, D., Su, L., Fan, H., Zhou, L., & Tian, Y. (2022). Identification of topographic factors for gully erosion susceptibility and their spatial modelling using machine learning in the black soil region of Northeast China. *Ecological Indicators*, 143, 109376. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109376>
- Huang, D., Su, L., Zhou, L., Tian, Y., & Fan, H. (2023). Assessment of gully erosion susceptibility using different DEM-derived topographic factors in the black soil region of Northeast China. *International Soil and Water Conservation Research*, 11(1), 97–111. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2022.04.001>
- León, C., Troya, H., & Rodríguez, C., (2024). La cuenca del río Pastaza como recurso didáctico para el desarrollo de competencias geográficas: una experiencia didáctica con Estudiantes de Primera Generación. *Cuaderno de Pedagogía Universitaria*, 21(41), 115–125. <https://doi.org/10.29197/cpu.v21i41.563>
- Lesmana, D. (2020). PERBANDINGAN HASIL PREDIKSI LAJU EROSI DENGAN METODE USLE, MUSLE, RUSLE BERDASAR LITERATUR REVIEW. *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan (SEMATAN)*, 2(1), 307-312. <https://ejournal.itats.ac.id/semitan/article/view/994>
- Liou, J., & Galindo, A. (17 de agosto del 2020). *Estudio de los sedimentos de un embalse argentino mediante técnicas de base nuclear*. IAEA. (<https://www.iaea.org/es/newscenter/news/estudio-sedimentos-rio-volcan-argentina>)

- Lozano, A., Alvarez, C., & Moggiano, N., (2021). Climate change in the Andes and its impact on agriculture: a systematic review. *Scientia Agropecuaria*, 12(1), 101–108. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.012>
- Mamedes, I., Guerra, A., Rodrigues, D., Garcia, L., De Faria, R., & Oliveira, P., (2023). Brazilian payment for environmental services programs emphasizes water-related services. *International Soil and Water Conservation Research/International Soil and Water Conservation Research*, 11(2), 276-289. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.01.001>
- Marotti, A., & Wood, T., (2019). What is applied research anyway? *Revista de Gestão*, 26(4), 338- 339. <https://doi.org/10.1108/REGE-10-2019-128>
- McMahon, Olley y Smart (2020) analizaron cómo la conectividad longitudinal de sedimentos gruesos y la cobertura vegetal influyen en la eficacia de la restauración ecológica para disminuir la erosión ribereña y la turbidez en fuentes de agua potable.. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135904>
- Mejía, J., & Vargas, E., (2021). Predicción espacial de la erosión del suelo en zonas áridas mediante teledetección. Estudio de caso: Quebrada del Diablo, Tacna, Perú. *Revista Ingeniería UC*, 28(2), 252–264. <https://doi.org/10.54139/revinguc.v28i2.24>
- Menéndez, J., & Muñoz, S., (2021). CONTAMINACIÓN DEL AGUA Y SUELO POR LOS RELAVES MINEROS. *Paideia* XXI, 11(1), 141–154. <https://doi.org/10.31381/paideia.v11i1.3622>

- MINAGRI. (2019). *El MINAGRI presentó un estudio técnico en Huancavelica orientado al manejo sostenible de suelos y optimización del rendimiento agrícola en Huando, mediante AGRO RURAL.*, RSS Noticias. <https://acortar.link/8uJ1TW>
- Montesinos, C., Lavado, W., Quijada, N., Gutiérrez, L., & Felipe, O., (2023). *Desarrollo de Curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) determinadas por el SENAMHI, empleadas para el análisis pluviométrico nacional.* <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-106.pdf>
- OTASS. (2019). Estudio “Análisis de costos de agua potable y alcantarillado por procesos en las EPS en Régimen de Apoyo Transitorio”. <https://acortar.link/f13tDo>
- Okiria, E., Zaki, M., & Noda, K., (2021). A Review of Payment for Ecosystem Services (PES) in Agricultural Water: Are PES from the Operation of Agricultural Water Control Structures Ubiquitous? *Sustainability*, 13(22), 12624. <https://doi.org/10.3390/su132212624>
- Patil, R., Wei, Y., Pullar, D., & Shulmeister, J. (2022). Effects of change in streamflow patterns on water quality. *Journal of Environmental Management*, 302, 113991. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113991>
- Pedroza, E., Velásquez, M., & Yáñez, L., (2022). The impact of vegetation cover on soil erosion and soil deposition due to runoff. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 144(1), 17–31. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2021.12.135>
- Piaggio, M., & Siikamäki, J. (2021). The value of forest water purification ecosystem services in Costa Rica. *Science of The Total Environment*, 789, 147952. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147952>

- Ramos J., et al. (2022). Impact of Environmental Management in the Province of Abancay - 2021. *Sinergias Educativas*.
<https://sinergiaseducativas.mx/index.php/revista/article/view/266>
- Rigonato, M., De Mello, K., Valente, R., & Faria, L (2023). Payment for Water-Related Ecosystem Services as a Strategic Watershed Management Approach. *Journal Of Environmental Protection*, 14(08), 660-684. <https://doi.org/10.4236/jep.2023.148038>
- Rodríguez, I., Pérez, H., García, R., & Quezada, A. (2020). Efecto del manejo agrícola en propiedades físicas y químicas del suelo en diferentes agroecosistemas. *Revista Universidad y Sociedad*, 12(5), 389–398. <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v12n5/2218-3620-rus-12-05-389.pdf>
- Ruiz, N., (2023). *Plan de Acción para la Restauración del Paisaje en el Bosque Modelo Abancay – Apurímac (Perú)*. CATIE (13).
<https://intranet.catie.ac.cr/flipbook/EB051188/go/pdf/Plan-accion-bosque-Abancay-NRuiz.pdf>
- Saalidong, B., Aram, S., Otu, S., & Lartey, P. (2022). Analiza la interacción entre el pH del agua y parámetros de calidad en sistemas de aguas subterráneas y superficiales mediante evaluación comparativa y mediciones estandarizadas
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262117>
- Sabino, E., Lavado-Casimiro, W., & Asencios, H. (2021). *Atlas de producción de sedimentos del “Perú: una evaluación histórica y futura con énfasis en las cuencas de aporte de las EPS. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú”*. ATLAS.
<https://hdl.handle.net/20.500.12542/1609>

- Sánchez, H., Reyes, C. y Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. Universidad Ricardo Palma.
<https://hdl.handle.net/20.500.14138/1480>
- Sanjurjo-Vílchez, J., & Bendayán-Acosta, L. (2024). Erosión, sedimentación y dinámica lateral Área de estudio comprendida entre la unión de los ríos Marañón y Ucayali hasta la localidad de Indiana, en Loreto, región amazónica del Perú (Revista de Teledetección, 63, 23–36. <https://doi.org/10.4995/raet.2024.20142>
- Saavedra, D., Montesinos, C. & Lavado, W. (2023). *Evaluación técnica del impacto del cambio climático y del uso del suelo en la dinámica hidrológica, en el marco de los MERESE, aplicada a una cuenca andina peruana (SENAMHI)*.
<https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/3346>
- Skarbøvik, H., Edistian, A. (2023). Comparing in situ turbidity sensor measurements as a proxy for suspended sediments in North-Western European streams. *CATENA*, 225, 107006.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107006>
- Soto Escobar, C., & Escobar Ancasi, J. L. (2021). *Erosión hídrica mediante el modelo RUSLE para la sostenibilidad del suelo de la subcuenca Vilca a través de sistemas de información geográfica en la región Huancavelica 2020*. [Tesis de titulación, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/64730>
- SUNASS. (2022). Determinación del área de prestación de servicios del departamento de Apurímac. https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/10/Informe-ADP-Apurimac_VP.pdf

- Tarakanov, V. (2023). ¿Qué es la erosión del suelo? ¿Cómo se puede estudiar y mitigar con técnicas nucleares? *Organismo Internacional de Energía Atómica*, 28.
- UNE. (2016). *Calidad del agua. Determinación de la turbidez. Parte 1: Métodos cuantitativos*. ISO 7027-1:2016.
- United Nations Convention to Combat Desertification. (2022). *Global land outlook (Segunda Edición)*. UNCCD. <https://drive.google.com/file/d/1NfxqrezhaB30eh1FUPrXpka4-SQAjBWp/view>
- Van, M., Jones, E., Flörke, M., Franssen, W., Hanasaki, N., Wada, Y., & Yearsley, J. (2021). Global water scarcity including surface water quality and expansions of clean water technologies. *Environmental Research Letters*, 16(2), 024020. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abbfc3>
- Vargas, R. (2 de diciembre del 2022). *Los suelos, origen de los alimentos*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/los-suelos-origen-de-los-alimentos>
- Velazquez, R., Del Valle, W., Pallarozo, R., & Duma, K. (2022). Determination of the physical and chemical properties of agricultural soils. *Sinapsis: La Revista Científica Del ITSUP*, 2(21). <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9052304>