

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS BIOLÓGICAS**



TESIS:

**Características fisicoquímicas del suelo y del agua
superficial en zonas con diferente tipo de cobertura
vegetal, microcuenca Toccto, Chiara, Ayacucho 2021**

Para optar el grado académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS, MENCIÓN
GESTIÓN AMBIENTAL Y BIODIVERSIDAD**

PRESENTADO POR:

Bach. Juan Carlos PRADO FLORES

ASESOR:

Dr. Carlos Emilio CARRASCO BADAJOZ

AYACUCHO - PERÚ

2026

Dedico este trabajo a Dios, a mis padres, hermanos, sobrinos, a mis estimados maestros de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, y a mis amigos.

AGRADECIMIENTO

A mi querida Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma máter de mis estudios profesionales, donde se cultivaron mis anhelos de enrumbar la búsqueda de nuevos conocimientos en las ciencias y del gran viaje exploratorio de aprendizaje por las ciencias ambientales.

Por otro lado, a los docentes de la Maestría en Ciencias con Mención en Gestión Ambiental y Biodiversidad, Facultad de Ciencias Biológicas, Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga; aliados de mi crecimiento continuo en la comprensión del complejo mundo del conocimiento del sistema cíclico, lineal y continuo de la Gestión Ambiental y de la protección de la Biodiversidad.

Especial agradecimiento a mi muy estimado asesor Dr. Carlos Emilio Carrasco Badajoz, por su constante asesoramiento y aportes en el presente trabajo de investigación.

A mis queridos amigos y demás personas que fueron participes de mi crecimiento profesional y en las diversas actividades en el desarrollo, elaboración y conclusión de esta investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	5
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN	7
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
II. MARCO TEORICO.....	13
2.1. Antecedentes	13
2.2. Marco teórico	19
2.2.1. Los bosques en el Perú y su importancia	19
2.2.2. Las plantaciones de especies forestales en el Perú	20
2.2.3. Las coníferas	20
2.2.4. Comparación del consumo de agua entre el pino y el eucalipto	22
2.2.5. Principales impactos de la forestación con pino	23
2.2.6. El pajonal.....	25
2.3. Marco Conceptual.....	27
2.3.1. El suelo.....	27
2.3.2. Características fisicoquímicas del suelo	27
2.3.3. Características fisicoquímicas del agua.....	28
2.4. Marco Normativo	30
III. METODOLOGÍA.....	31
3.1. Ubicación política	31
3.2. Ubicación geográfica	31
3.3. Zonas de vida.....	35
3.3.1. Bosque húmedo – MONTANO SUBTROPICAL (bh-MS).....	35
3.3.2. Paramo muy húmedo – SUBALPINO SUBTROPICAL (pmh-SaS)	35
3.4. Tipo de Estudio.....	36
3.5. Tipo de diseño	36
3.6. Tipo de investigación y su alcance	36
3.7. Definición de la población y muestra.....	36

3.8.	Métodos y técnicas para la recolección de datos	37
3.8.1.	Capacidad de retención del agua y características fisicoquímicas del suelo .	37
3.8.2.	Características fisicoquímicas del agua.....	44
3.6.	Diseño de la investigación	47
3.6.1.	Diseño de muestreo de suelo para determinar la capacidad de retención del agua del suelo y las características físicas relacionadas	47
3.6.2.	Diseño de muestreo de suelo para determinar la textura y las características químicas del suelo	47
3.6.3.	Diseño para el muestreo de agua.....	48
3.7.	Análisis de datos	49
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1.	Capacidad de retención de agua del suelo	51
4.2.	Características fisicoquímicas del suelo y análisis estadístico	51
4.3.	Resultados del análisis de las muestras de agua	74
4.3.1.	Características fisicoquímicas del agua superficial y análisis estadístico de la microcuenca Toccto.....	74
V.	CONCLUSIONES	83
VI.	RECOMENDACIONES	84
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
	ANEXOS	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del área de investigación en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara 2021-2022.....	33
Figura 2. Zonas de vida del área de estudio.....	34
Figura 5. Distribución de submuestras por posición topográfica de la pendiente del suelo en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara 2022	40
Figura 6. Mapa de ubicación de las áreas de muestreo de suelo en la micrcuenca Toccto, distrito de Chiara 2022.....	43
Figura 7. Mapa de ubicación del área de muestreo del agua superficial de la microcuenca Toccto, distrito de Chiara 2021-2022.....	46
Figura 8. Cajas y bigotes de las características fisicoquímicos evaluados y la capacidad de retención de agua disponible del suelo con cobertura de pino y pajonal, microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022	56
Figura 9. Cajas y bigotes de las características fisicoquímicos del agua superficial de la microcuenca en la zona de Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2021-2022	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de la eficiencia del uso de agua entre árboles forestales	23
Tabla 2. Coordenadas de los vértices del área de estudio.....	32
Tabla 3. Población y muestras colectadas en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara 2021-2022	37
Tabla 4. Métodos de análisis de características fisicoquímicas del suelo, microcuenca Toccto, Huamanga, Ayacucho 2022.....	41
Tabla 5. Métodos seguidos para el análisis de agua, microcuenca Toccto, Huamanga, Ayacucho 2022.....	45
Tabla 6. Descripción de muestras de suelo no alterado obtenidas en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022.....	47
Tabla 7. Descripción de muestras de suelo obtenidas en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022	48
Tabla 8. Puntos de muestreo del agua superficial en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2021-2022.....	49
Tabla 9. Valor promedio de las constantes de humedad y la capacidad de retención del disponible en el suelo por tipo de cobertura, microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022	51
Tabla 10. Valor promedio de las características fisicoquímicas del suelo por tipo de cobertura, microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022.....	52
Tabla 11. Valores promedio de las características fisicoquímicas del agua superficial de la microcuenca Toccto en referencia al pino, distrito de Chiara 2021-2022.....	74
Tabla 12. Comparación de los valores promedios de las características fisicoquímicas del agua superficial con los parámetros de los Estándares de Calidad Ambiental del agua, microcuenca Toccto, Huamanga, Ayacucho 2021-2022.....	82

RESUMEN

El pajonal, que cubre más de la mitad de los ecosistemas andinos del Perú, está siendo remplazada progresivamente por plantaciones exóticas como el pino, en el marco de las actividades de forestación orientadas a mejorar la calidad del suelo y el agua. Sin embargo, diversos estudios han evidenciado efectos adversos asociados a esta sustitución. Ante este escenario, se vuelve necesario generar información empírica que permita comparar las características fisicoquímicas del suelo y agua en áreas con cobertura de pajonal y plantaciones de pino. Por tanto, el objetivo principal de este estudio fue evaluar las características fisicoquímicas del suelo y agua superficial en las áreas cubiertas con pajonal y pino (*Pinus radiata* D. Don) en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, a una altitud de 3952 m.s.n.m. Para el análisis del suelo, se establecieron dos áreas de muestreo por tipo de cobertura (pajonal y pino), recolectándose muestras en los meses de febrero y agosto 2022. Adicionalmente, se tomó una tercera muestra en junio del mismo año. Con relación al análisis del agua superficial, el río Mozojcancha se dividió en tres secciones (antes, durante y después de las áreas con cobertura de pino), y las muestras se colectaron en octubre de 2021, así como febrero y agosto de 2022. Se colectaron tres muestras de suelo por cada área de muestreo y las características fisicoquímicas fueron evaluadas en laboratorio. En el caso del agua, algunas características se midieron in situ con un equipo multiparámetro (Hanna HI 98130), mientras que otras se analizaron en laboratorio a partir de muestras de un litro por punto de muestreo. Los resultados obtenidos para la capacidad de campo (48,82 %), el punto de marchitez permanente (26,07 %) y la capacidad de retención del agua disponible (357,81 m³/ha) indican que los suelos con cobertura de pajonal presentan una mayor capacidad de retención de agua en comparación con los suelos con cobertura de pino, aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, se encontraron diferencias estadísticas en las características fisicoquímicas del suelo, donde el pino a diferencia del pajonal mostró valores superiores de densidad real (1,69 vs. 1,50 g/cc) y el pH (4,94 vs. 4,85). Por otro lado, el pajonal en comparación con el pino presentó concentraciones más altas de potasio disponible (122,73 vs. 106,33 ppm) y potasio intercambiable (0,31 vs. 0,26 Cmol(+)/kg). En cuanto al agua superficial, se observaron diferencias estadísticas en las concentraciones de sulfato entre los tramos analizados, con valores que oscilan entre 17, 64 y 0 mg/l. Las características del agua analizada se ajustan a los ECA del agua (Categoría 1-A2), permitiendo su potabilización mediante tratamiento convencional.

Palabra clave: pino, pajonal, agua, características fisicoquímicas.

ABSTRACT

The *pajonal* (Andean grassland), which covers more than half of Peru's high-altitude ecosystems, is being progressively replaced by exotic plantations such as pine. These afforestation efforts are often intended to enhance soil and water quality; however, several studies have reported adverse effects associated with this land-use conversion. Consequently, there is a critical need for empirical data to compare the physicochemical characteristics of soil and water between native grassland and pine stands. This study aimed to evaluate the soil and surface water properties in areas dominated by *pajonal* and pine (*Pinus radiata* D. Don) within the Toccto micro-watershed, Chiara district, at an elevation of 3952 m.a.s.l. For the soil analysis, two sampling sites were established per land cover type, with samples collected in February, June, and August 2022. Regarding surface water analysis, the Mozojcancha River was divided into three reaches (upstream, within, and downstream of the pine plantations), with sampling conducted in October 2021, and February and August 2022. Three soil replicates were collected per site for laboratory analysis. Water parameters were measured both *in situ* using a multiparameter probe (Hanna HI 98130) and in the laboratory using one-liter samples per point. The results for field capacity (48,82 %), permanent wilting point (26,07 %), and available water capacity (357,81 m³/ha) indicate that *pajonal* soils possess a higher water retention capacity than pine-covered soils, although these differences were not statistically significant. However, significant statistical differences were observed in other soil properties: pine plantations exhibited higher particle density (1,69 vs. 1,50 g/cc) and pH (4,94 VS. 4,85) compared to grasslands. Conversely, *pajonal* soils showed significantly higher concentrations of available potassium (122,73 vs. 106,33) and exchangeable potassium (0,31 vs. 0,26 cmol(+)/kg). Regarding surface water, significant differences in sulfate concentrations were found across the analyzed reaches, ranking from 17,64 to 0 mg/l. All water quality parameters complied with the Environmental Quality Standards (ECA) for Category 1-A2, indicating suitability for potabilization through conventional treatment.

Keywords: Pine, *pajonal*, water, physicochemical characteristics

INTRODUCCIÓN

La presencia estratégica de vegetación es crucial, ya que influye en la infiltración del agua de lluvia contribuye a la regulación del microclima y actúa como fuente de materia orgánica en el suelo (Moreno, 2012). La forestación en el departamento de Ayacucho es una práctica clave para la conservación del agua y del suelo. En particular, la forestación en los ecosistemas de pajonal mediante la introducción de especies exóticas como el pino y el eucalipto ha generado un cambio notable en la cobertura vegetal de las zonas altas de la región altoandina de los Andes tropicales. Empresas privadas, así como agencias intergubernamentales, han impulsado dicha actividad con argumentos cuestionables y una aceptación social representativa, debido a su potencial provisión de servicios ambientales. Entre las cuales podemos destacar, la captura y almacenamiento de carbono, el control de la erosión, la regulación de las crecidas y la producción de madera. Como consecuencia la actividad humana, tiene un impacto en la provisión de agua del ecosistema de pajonal, del cual no se tiene mucho conocimiento de su tipo y grado de impactos (Mosquera et al., 2022).

La microcuenca Toccto en el distrito de Chiara, Huamanga – Ayacucho, presenta cobertura vegetal dominada por el pajonal natural y plantaciones de pino. El ecosistema de pajonal se desarrolla en la fracción superior de la Cordillera Altoandina entre 3800 y 4800 m.s.n.m. (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2015). Constituidas por asociaciones de especies de pastizales de porte bajo, donde la familia más dominante taxonómicamente son las Gramíneas, Asteráceas y Rosáceas, siendo las especies más habituales la *Alchemilla pinnata*, *Calamagrostis vicunarum*, *Aciachne pulvinata*, *Hypochochoeris sp.*, *Muhlenbergia sp.*, *Poa perliculata*, *Scirpus rigidus* y otras (Gobierno Regional de Ayacucho [GRA], 2013). Este tipo de vegetación se ve afectada por actividades antrópicas como el sobrepastoreo y la quema en busca de pastos más tiernos y apetecibles para el ganado (Jiménez, 2018).

La otra especie presente en la zona es el pino (*Pinus radiata* D. Don), cuyos efectos en el ambiente pueden ser positivos o negativos (Fioroni et al., 2020), tal como se mencionó

previamente. Por un lado, algunos destacan la utilidad en la recuperación de suelos degradados (Farley et al., 2004) y su aporte en la calidad, y retención del agua en el suelo (Corporación Chilena de La Madera [CORMA], 2015). Por otro lado, existen evidencias de que esta especie puede disminuir la diversidad de las especies vegetales naturales de la zona. Lo que a su vez estaría influyendo en la capacidad retentiva de la humedad en el suelo, así como la infiltración del agua de lluvia (Fioroni et al., 2020).

Este aspecto es particularmente crítico considerando la creciente escasez de agua dulce en el contexto de cambio climático. Al respecto el trabajo de Buytaert et al. (2007), concluyeron que la instalación de *pinus patula* en la cuenca del río Paute en el sur de Ecuador redujo el rendimiento hídrico. Estudios de Medina et al. (2022), concluye que las plantaciones de pino exótico instalada para la producción de madera y secuestro de carbono sobre las plantaciones de páramo tuvo un efecto pronunciado reduciendo las especies herbáceas exigentes con la luz. Lo cual resulta diferente en las pequeñas hierbas cuya cobertura aumentó bajo el pino. Asimismo, la investigación realizada por Wang et al. (2019) en la Granja Forestal de Lianjiabian de China, afirma que la forestación de pastizales influye en la reducción del nitrógeno en el suelo. El cual a su vez da lugar a cambios en la estructura y función de las comunidades microbianas del suelo.

En este contexto, se hace necesaria la evaluación rigurosa de los efectos que tienen las plantaciones de pino sobre las características fisicoquímicas del suelo y agua en ecosistemas de pajonal. Esta información es fundamental para apoyar en la toma de decisiones de organizaciones o a quienes formulan proyectos y políticas para el desarrollo sostenible de manera que se puedan gestionar adecuadamente los ecosistemas de los pastizales altoandinos en equilibrio (pajonal). Por tales consideraciones, se planteó evaluar las características fisicoquímicas del suelo y agua superficial de la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga-Ayacucho. Los cuales se desarrollaron en dos períodos del año (lluvia y estiaje) y en dos tipos de cobertura (pino y pajonal), planteando los siguientes objetivos:

Objetivo General

Evaluar las características fisicoquímicas del suelo y agua superficial en zonas cubiertas con pajonal y pino en la microcuenca de Toccto, ubicado en el distrito de Chiara, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho durante el período 2021-2022.

Objetivos específicos

- Comparar la capacidad de retención del agua del suelo en las zonas cubiertas con pajonal y pino en la microcuenca Toccto (capacidad de campo, punto de marchitez y capacidad de retención de agua disponible).
- Evaluar las características fisicoquímicas del suelo (textura, densidad aparente, densidad real, porosidad, pH, conductividad eléctrica, carbonato de calcio, nitrógeno total, materia orgánica, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables (calcio intercambiable, magnesio intercambiable, potasio intercambiable y sodio intercambiable), acidez intercambiable y saturación de bases) en las zonas cubiertas con pajonal y pino en la microcuenca Toccto.
- Evaluar las características fisicoquímicas del agua (pH, conductividad eléctrica, turbidez, nitrato, fosfato y sulfato) en las zonas cubiertas con pajonal y pino en la microcuenca Toccto.

Hipótesis general

Las características fisicoquímicas del suelo y agua superficial presentan mejoras significativas en las zonas forestadas de la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

Hipótesis específicas

- La capacidad de retención de agua del suelo en las zonas cubiertas con pajonal mejora con la presencia del pino en la microcuenca Toccto.
- Las características fisicoquímicas del suelo de las zonas cubiertas con pajonal y pino en la microcuenca Toccto, se diferencian estadísticamente en la totalidad de sus parámetros evaluados.
- Las características fisicoquímicas del agua superficial en las zonas cubiertas con pino en la microcuenca Toccto, cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental del Agua.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

La forestación de las cabeceras de cuenca y microcuencas en la sierra peruana, así como de la región Ayacucho, mediante el uso de especies exógenas como el pino, se ha promovido con el fin de mejorar y conservar las condiciones ambientales. No obstante, esta práctica genera impactos diversos sobre el medio ambiente, particularmente en componentes clave como el suelo y agua. Estos efectos pueden ser positivos o negativos; sin embargo, el pino continúa, siendo una de las especies preferidas de los programas de forestación, desplazando el valor ecológico de especies autóctonas como los existentes en los ecosistemas de pajonal. Este tipo de ecosistemas requiere de prácticas sostenibles para su conservación, ya que cumple un rol fundamental en la mejora de las características físicas, químicas y biológicas del suelo, así como en la calidad y almacenamiento del agua, lo cual resulta de suma importancia para reducir los efectos del cambio climático en nuestra región.

En las zonas altoandinas, la cobertura vegetal natural está constituida en gran parte por pajonal altoandino, dominadas por especies herbáceas que se desarrollan y podemos hallarlas en la fracción superior de la Cordillera de los Andes entre 3800 y 4800 m.s.n.m., aproximadamente (MINAM, 2015). Estas comunidades están conformadas por asociaciones de especies de pastizales de porte bajo; siendo la familia más importante y predominante taxonómicamente la Gramínea, Asteráceas y Rosáceas. Siendo las especies más frecuentes la *Alchemilla pinnata*, *Calamagrostis vicunarium*, *Aciachne pulvinata*, *Hypochochoeris* sp., *Muhlenbergia* sp., *Poa perliculata*, *Scirpus rigidus* y otras (GRA, 2013). Los cuales cumplen una función sumamente importante al distribuir el agua a lo largo del tiempo y disminuyen la escorrentía superficial, dependiendo de su cobertura vegetal y vigor de la vegetación. A pesar de su importancia, los ecosistemas de pajonal enfrentan amenazas por el sobrepastoreo y la quema de pastizales por los

pobladores aledaños, para la obtención de pastos más tiernos, apetecibles para su ganado (Jiménez, 2018).

Respecto al uso del pino en las actividades de forestación, diversas investigaciones han documentado efectos tanto beneficiosos como perjudiciales. Por un lado, se han reportado que esta especie puede contribuir a la recuperación de suelos altamente degradados, particularmente en aquellos con alta compactación y erosión, al mejorar la retención de agua y carbono en el suelo (Farley et al., 2004). Asimismo, se han observado efectos positivos en la calidad del agua, al comparar diferentes tipos de usos de suelo, como los forestados con pino, en comparación con los suelos utilizados en la agricultura y ganadería. En estos casos la cobertura arbórea contribuye a la protección del suelo frente a los procesos erosivos, reduciendo el aporte de sedimentos a los cuerpos de agua y aumentando el contenido de materia orgánica, lo cual mejora la capacidad de retención del agua en el suelo (CORMA, 2015).

Sin embargo, también existen estudios que evidencian impactos negativos, tales como la pérdida de especies vegetales nativas, generando la falta de agua en la estructura de los suelos (Ruiz, 2014). Esta dualidad en los resultados genera incertidumbre sobre los verdaderos efectos de las plantaciones de pino, especialmente en zonas donde predominan ecosistemas frágiles como pajonales.

Dado este contexto, es necesario evaluar de forma objetiva y comparativa las características fisicoquímicas del suelo y del agua superficial en áreas forestadas y no forestadas con pino, particularmente en regiones sensibles como la microcuenca Toccto, Ayacucho. Esta zona presenta una cobertura vegetal natural dominada por el pajonal altoandino, al mismo tiempo que registra un incremento en las actividades de forestación, lo que plantea interrogantes sobre el equilibrio ecológico y la sostenibilidad de estas intervenciones.

1.2. Definición y delimitación del problema

El deterioro y la pérdida de la cobertura vegetal en las microcuencas altoandinas del Perú, especialmente en la Región Ayacucho, son procesos cada vez más evidentes. Esta degradación se atribuye principalmente a prácticas como la quema de pastizales (pajonal), el sobrepastoreo y cambio de uso de suelo asociado a actividades de forestación con especies exóticas como el pino, cuyos impactos han sido detallados anteriormente. Estos son algunos de los problemas que en la actualidad se vienen suscitando a nivel de las cabeceras de las cuencas y microcuencas de la región y que

pone en peligro los servicios ambientales, que los ecosistemas de pajonal brindan. Realidad de la cual no es ajena la microcuenca Toccto en el distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho. En consecuencia, la evaluación, de la capacidad de retención del agua, las características fisicoquímicas del suelo y agua en meses claves del año 2021 y 2022, es una alternativa que nos permitirá determinar si existen diferencias entre la cobertura de pajonal y pino. Asimismo, de aclarar la incertidumbre de los efectos que genera la forestación de pino sobre las características evaluadas.

1.3. Enunciado del problema científico

1.3.1. Problema general

¿Cuáles son las características fisicoquímicas del suelo y agua superficial según el tipo de cobertura vegetal (pino y pajonal) en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la capacidad de retención del agua del suelo según el tipo de cobertura vegetal del pino y pajonal (capacidad de campo, punto de marchitez y capacidad de retención de agua disponible)?
- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del suelo (textura, densidad aparente, densidad real, porosidad, pH, conductividad eléctrica, carbonato de calcio, nitrógeno total, materia orgánica, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables (calcio intercambiable, magnesio intercambiable, potasio y sodio intercambiables), acidez intercambiable y saturación de bases) según el tipo de cobertura vegetal (pino y pajonal)?
- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua superficial (conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, turbidez, pH, nitrato, fosfato, sulfato) según el tipo de cobertura vegetal (pino y pajonal)?

II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

En el pueblo de San Vicente, ubicado en la provincia de Azuay, Ecuador (ecosistema de páramo), situado entre los 2900 y 3700 m.s.n.m. El estudio realizado en las características fisicoquímicas del agua, en tres tipos de cobertura (nativa, pino y pajonal), evidencia de que el pino no tiene influencia en sus valores. En caso del pH se constata que en las áreas con pino no experimenta una variación significativa en comparación con el pajonal, lo que sugiere que el pino no ejerce influencia sobre ella. El cual es diferente al comparar el pino con el bosque nativo, donde hay una diferencia numérica de 0,93. Mientras los niveles de conductividad eléctrica del pino en comparación al pajonal y bosque nativo son los más bajos numéricamente. Finalmente, los valores de la turbiedad indican de que el pino en comparación con el pajonal y bosque nativo, presentan un valor superior a estas dos últimas en un 7,5 NTU (Aichholzer & Durán, 2010).

La investigación llevada a cabo en el Río de la Plata, entre Uruguay y Argentina, y España, reveló que las plantas forestales como el pino producen cambios en el ecosistema, acidificando el suelo y el agua de los arroyos en las cuencas que ocupan. El efecto mencionado se debe principalmente a la acumulación de cationes de calcio y magnesio en la biomasa arbórea. Asimismo, señala que la mayor productividad del pino genera un incremento en el consumo de agua, acompañado de un aumento del agua evapotranspirada y una disminución del 30 % en el rendimiento hidrológico. Generando una disminución en el caudal de la escorrentía cercana al 50 % (Jobbágy et al., 2006).

El estudio realizado en el río Huaylla Belén, en el sistema forestal con pino (*Pinus patula*), situado a 2750 m.s.n.m., provincia de Luya, departamento de Amazonas, indica diversos resultados relacionados con las características fisicoquímicas del agua. En términos generales, los datos demuestran que el pH disminuye conforme avanza el

cauce del río, resultando ser alcalino (superior a 7) presentando diferencias estadísticas entre los tres puntos de muestreo. La conductividad eléctrica fue superior a $40 \mu\text{S}/\text{cm}^2$ y no se observaron diferencias estadísticas entre los puntos de muestreo. Asimismo, no se observan dichas diferencias en la turbidez, manteniéndose en un rango de 5,20 a 5,53 NTU, mientras que entre los puntos de muestreo posterior al área forestada con pino y aguas abajo se redujo a 5,27 NTU. De igual manera, en el contenido de nitrato, manteniéndose entre 3,67 a 4,83 ppm NO_3^- , disminuyendo numéricamente en el transcurso del cauce del río, demostrando un bajo nivel de erosión en la zona. También, en el contenido de sólidos totales disueltos, que se mantiene en un rango aceptable, donde las muestras tomadas antes de las áreas forestadas alcanzan un máximo de 23,88 mg/l, mientras aguas abajo presentan un valor de 20,42 mg/l (Guevara, 2022).

El análisis llevado a cabo en suelos de páramo de la microcuenca San Vicente, Ecuador, ubicado entre los 2900 a 3700 m.s.n.m., señala que la producción y regulación hídrica del suelo con cobertura de pino se ve afectada negativamente. Esto se debe a que la producción hídrica por unidad de superficie de los suelos cubiertos con pino (*Pinus patula*), en comparación con el pajonal, experimenta una disminución del 4,96 %. En el análisis de las características químicas del suelo, se ha demostrado que los suelos con cobertura de pino, cuyo pH es de 4,46, a diferencia del pajonal, cuyo valor es de 4,48, no tienen diferencias significativas entre sí. Así también resultó no significativo el valor de la conductividad eléctrica, en la cual el suelo con cobertura de pino obtuvo un resultado superior en comparación con el pajonal. Además del valor de la capacidad de intercambio catiónico, que está íntimamente relacionado con el pH del suelo, la cobertura con pino fue inferior al pajonal. Por otro lado, se presentaron diferencias los valores de nitrógeno, donde el suelo con cobertura de pino obtuvo resultados superiores al pajonal; diferenciándose significativamente entre sí. Lo mismo ocurre con el contenido de fósforo y el contenido de potasio, donde el pino a diferencia del pajonal obtuvo un valor superior (Aichholzer & Durán, 2010).

En el Austro ecuatoriano, específicamente en la microcuenca del río Zhuruca que se encuentra a una altitud de 3400 a 3900 m.s.n.m. Las evaluaciones realizadas sobre el suelo de tipo Andisoles, Histosoles y Entisoles, indican que el cambio en el uso del suelo tiene consecuencias sobre este. Dado que, al efectuar la transición del suelo cubierto de pajonal a cobertura de pino, se produce un incremento en el valor del contenido de materia orgánica, el punto de marchitez y el coeficiente de conductividad hidráulica saturada, esta última indicaría la disminución de la retención del agua bajo el pino. Asimismo, se aprecia el incremento de su densidad aparente, lo cual tiene un impacto

significativo en su capacidad de almacenamiento del agua. A excepción de la humedad saturada, la capacidad de campo y la profundidad del suelo, en los que el suelo con cobertura de pino fue inferior al pajonal; sin embargo, no se presentaron diferencias estadísticas entre sí. Además de lo previamente expuesto, el presente estudio indica que el suelo experimenta una variación en sus características químicas, la cual se debe a su material parental, que está principalmente compuesto por eyecciones volcánicas aerotransportadas (Tephra), caracterizada por su rápida meteorización. Entre estas características químicas se encuentra el pH, capacidad de intercambio catiónico y la capacidad de intercambio catiónico efectivo, las cuales fueron inferiores en el caso del suelo con cobertura de pino en comparación con el pajonal. Otra de las propiedades químicas que se ven afectadas es la acidez intercambiable ($Al^{+3} + H^{+1}$), en la que la cobertura con pino obtuvo el valor más alto a diferencia del pajonal. Asimismo, se pueden observar las mismas características en el valor del carbono, el nitrato, en la relación entre el carbono y el nitrógeno, el cobre y el manganeso. Por otro lado, a diferencia de lo anterior, se ve afectado el valor de la conductividad eléctrica, nitrógeno total, amonio, fósforo, sulfato, potasio, calcio, magnesio, sodio, zinc, el boro y la saturación de bases efectiva; donde el suelo con cobertura de pino fue inferior al pajonal (Quichimbo, 2012).

El estudio realizado en tres profundidades del suelo (0-15, 15-30 y 30-45 cm), así como en dos tipos de cobertura (bosque de pino y pastizal), en la zona de Buenos Aires, Argentina, también indica los efectos del pino sobre el suelo. Demostrando que la introducción de la variedad *Pinus radiata* D. Don en suelos con cobertura de pastizal, en los cuales predomina la vegetación de la variedad Poáceas nativas y escasas exóticas (*Dactylis glomerata* y *Festuca arundinacea*) genera diversos efectos sobre ella. Entre los efectos presentes se encuentra la acentuada acidificación, la cual se manifiesta para el pastizal desde ligeramente ácida a neutra y para el pino de fuerte hasta moderadamente ácida. En ambos casos, se produjeron incrementos en las unidades de pH desde la capa superficial hasta los 30-45 cm, evidenciándose diferencias significativas entre los tratamientos hasta los 45 cm. Asimismo, se demostró que la diferencia más relevante fue a los 0-15 cm, donde se demostró una disminución promedio de 1,6 en la unidad del pH. En relación con el fósforo extraíble, el estudio mencionado ha corroborado que la introducción del pino es el factor responsable de su incremento en el suelo. El cual, en el caso del pino, es de once veces más en comparación con el pastizal en profundidades del suelo, que van de 0-30 cm y de nueve veces en profundidades de 30-45 cm. Asimismo, el contenido de fósforo soluble en el suelo se incrementó en doce veces más que el pastizal en profundidades de 0-15 cm y

de hasta veinte veces en profundidades de 15-45 cm. Mientras, el índice de absorción del fósforo tanto para el pino como para el pastizal fue disminuyendo a lo largo de la profundidad del suelo. Por último, se ha demostrado la eficacia del pino como sumidero de dióxido de carbono, fijándolo como materia orgánica del suelo. La denominación mencionada se debe a que está ha registrado un aumento de 49 mg COT.ha⁻¹ de carbono orgánico total con respecto a la línea base, en los primeros 45 cm del suelo. Además, se demostró que estas se mantienen constantes en las tres profundidades evaluadas, presentando diferencias significativas entre el pino y el pastizal (Garay et al., 2015).

El estudio realizado en suelos situados en el establecimiento agropecuario en Tandil, Buenos Aires, Argentina, también ha demostrado que el pino (*Pinus radiata*) en comparación con el pastizal natural, produce diversos cambios favorables en el suelo. En cuanto a la acidez del suelo, se pudo constatar que existen diferencias significativas entre el pino y el pastizal natural a diversas profundidades de muestreo (0-5 y 5-20 cm), así como en la interacción entre ellos. Además, la presencia del pino propicia una disminución del pH en comparación con el pastizal natural, en 0,24 unidades y un aumento en la saturación de hidrógeno en 246 %. De igual manera, se observaron diferencias significativas en la acidez intercambiable (Al⁺³ + H⁺¹) del suelo, en la cual la presencia del pino produjo un incremento en el valor de dicha acidez en comparación con el pastizal natural. Asimismo, se constató que el aluminio intercambiable del suelo no se encontraba presente en el pino ni en el pastizal natural. Motivo por el cual, considera que las variaciones detectadas se deben al remplazo de las bases intercambiables (Ca⁺² y Mg⁺²) por protones de hidrógeno. La conductividad eléctrica del suelo, por otro lado, experimento un incremento en su valor en los primeros 5 cm, con la presencia del pino, pero sin diferenciarse significativamente del pastizal natural. El carbono orgánico total en el suelo con cobertura de pino fue mayor en comparación con el pastizal, evidenciando que esta fue afectada por el tipo de cobertura vegetal, así como la profundidad de muestreo. El nivel del nitrógeno potencialmente mineralizable en los pastizales naturales fue mayor en comparación con el pino, presentando diferencias estadísticas entre zonas, profundidades y entre la interacción entre las dichas fuentes de variación. Por último, el contenido de fósforo extraíble en el suelo con cobertura de pino no presenta cambios significativos en cuanto al pastizal natural en los primeros 5 cm. Asimismo, al tomar muestras en el estrato de 5-20 cm, esta situación cambió, ya que el valor de la variable aumentó en 6,06 mg P. kg⁻¹ en comparación con el pastizal natural (Di Gerónimo et al., 2018).

En la Estación Experimental Forestal de Zoquiapan, Estado México y Puebla, situado a 3284 m.s.n.m., cuyo suelo está clasificado como Andosol Molsicos. El estudio realizado en tres coberturas vegetales (bosque de pinos, bosque de abetos y asociación de bosques de pino y aliso), ha demostrado los efectos de dichas coberturas en el contenido del carbono orgánico y nitrógeno total en el suelo. En lo que respecta al carbono orgánico (COS) en el suelo, los valores más altos corresponden a los bosques de pino-aliso, seguidos por el bosque de abetos. Al evaluar el contenido de COS en las tres profundidades (0-10, 10-20 y 20-30 cm), se pudo apreciar que los suelos con cobertura de pino obtuvieron los valores más bajos. Asimismo, este elemento en las tres pendientes evaluadas resulta irregular. Presentando un valor reducido en la pendiente baja y alta, y un aumento en la pendiente intermedia. En el caso de la cobertura con pino-aliso, se observaron comportamientos irregulares en las tres pendientes y profundidades. La pendiente con el mayor contenido de COS, en las tres profundidades del suelo, fue la pendiente baja en la cobertura de pino-aliso, observándose lo contrario en la pendiente baja en caso de la cobertura con pino. En la mayoría de los casos, el contenido del COS disminuyó a medida que aumentaba la profundidad. La cobertura con los valores más bajos fue la del pino con la pendiente baja y alta, seguida por el pino-aliso con una pendiente alta. Los tres valores de nitrógeno total (Nt) más altos fueron para la cobertura con abeto, seguidos por el pino-aliso, mientras que los valores más bajos fueron para la cobertura con pino. Al evaluar el contenido de Nt para las tres profundidades, se pudo apreciar, que la cobertura con pino-aliso, tuvo el valor más alto, mientras que la cobertura de pino fue quien obtuvo los valores más bajos. El Nt en función a la pendiente, mostró el comportamiento más irregular. Los valores fueron bajos para la pendiente baja con cobertura con pino y las profundidades más bajas e intermedias, aumentando para la pendiente intermedia y volviendo a disminuir para la pendiente alta. Además, el Nt fue menor a mayor profundidad (en dirección opuesta a la pendiente). Finalmente, el estudio realizado en esta zona señala que los suelos cubiertos con pino y asociación de pino-aliso, presentan diferencias en el contenido de carbono orgánico y nitrógeno total. Además, se puede apreciar que dicha diferencia se debe al tipo de cobertura, pendiente y profundidad. Resaltando que la influencia de la pendiente en los parámetros evaluados fueron irregulares, por lo que no tendrían influencia en su contenido en el suelo (Madriral et al., 2019).

En la provincia de Luya, Amazonas, Perú, el cual se encuentra a una altitud de 2750 m.s.n.m. El estudio realizado en pinos de diferentes edades (adulto y joven), ecosistemas naturales y a dos profundidades, indica variadas diferencias en las características químicas de los suelos con plantaciones de pino. Entre estas

características se encuentra el pH, quien presenta diferencias estadísticas a distintas profundidades (0-15 y 15-30), en el cual la muestra colectada en los primeros 15 cm presentaron un pH más bajo a las demás. Asimismo, se encontraron diferencias estadísticas, al realizar la comparación entre los suelos con cobertura con pino (*Pinus patula*) y ecosistema natural. En caso del pino se determinó que las plantaciones en edad adulta (PA) presentan en promedio un pH más alto (5,00-5,09) en las dos profundidades a diferencia de los pinos más jóvenes y del ecosistema natural (EN) que fue la más baja. Así también los resultados demuestran diferencias estadísticas significativas en la conductividad eléctricas entre zonas y a distintas profundidades. En la cual se halló que las muestras obtenidas en zonas con ecosistemas naturales a menor profundidad presentan los valores más altos. Lo cual es superior en comparación con la de mayor profundidad, el pino joven y el pino adulto, a diferentes profundidades. A diferencia de lo antes mencionado no se presentaron diferencias estadísticas en el contenido de materias orgánica entre las zonas de estudio, a distintas profundidades. Además, se observa se determinó que no existe diferencias estadísticas en el contenido de carbono orgánico y el nitrógeno en las distintas profundidades del suelo. En cuyos resultados el pino adulto presenta el valor más alto en comparación a la zona de ecosistema natural que a una mayor profundidad obtuvo el valor más bajo. En referencia al contenido de nitrógeno se demostró en general que las zonas en estudio presentan un bajo contenido, con valores inferiores al 0,5 %. El pino adulto a menor profundidad obtuvo el valor más alto a diferencia del ecosistema natural en la que se demostró que a mayor profundidad existe un menor contenido de nitrógeno (Guevara, 2022).

Por otro lado, en el centro poblado de Bella Andina, distrito de Chalamarca, provincia de Chota, Cajamarca, Perú, situado a una altitud de 3650 m.s.n.m. La evaluación realizada en suelos de textura franca y con una elevada concentración de materia orgánica, ha demostrado que el pino en comparación al pajonal tiene diversos efectos en el suelo. Entre los efectos obtenidos por el pino de la variedad *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. y Cham, se observa un incremento en la materia orgánica en los primeros 10 cm de profundidad del suelo en comparación con el pajonal. En suelos con pino de 9 años, dichos efectos se observan a los 20 cm de profundidad. En relación al pH, se observa una disminución en los primeros 10 cm, en 0,2 unidades en comparación con el pajonal. La acidez intercambiable experimentó un incremento máximo en pinos de 17 años, en los primeros 10 cm, seguido por pinos de 9 y 6 años. El nitrógeno total y el sodio de los suelos cubiertos con pino no presentaron diferencias significativas con respecto al pajonal. Presentándose únicamente un aumento numérico entre las diferentes edades de pino (9 y 17 años) a una profundidad de 10-30 cm en comparación con el pajonal.

Mientras tanto, el sodio no presenta cambios significativos en comparación con el pajonal en los primeros 10 cm. Asimismo, se pueden observar únicamente pequeñas variaciones a los 20 cm de profundidad y en plantaciones de 6 años. El contenido de fósforo, potasio, potasio intercambiable, calcio y magnesio en suelos con plantación de pino, por su parte, experimentaron cambios significativos en los primeros 10 cm de profundidad con respecto al pajonal. La capacidad de intercambio catiónico aumenta en pinos de 9 años a 20 cm y 17 años en los primeros 10 cm, en comparación con el pajonal. La suma de cationes experimenta un aumento máximo en pinos de 17 años a los 20 cm y a 10 cm de profundidad. La suma de bases y el porcentaje de saturación de bases en pinos de 17 años y en profundidades de 10 y 10-30 cm, experimentaron su mayor disminución. La conductividad eléctrica, a los 10 cm, presentó su mayor disminución en pinos de 9 años y un aumento en pinos de 17 años, con respecto al pajonal. Por otro lado, las tres edades de los pinos no tienen un impacto en la textura y el color del suelo. La densidad aparente no presentó cambios significativos en cuanto al pajonal en ambas profundidades y edades de pino evaluadas. La humedad gravimétrica experimentó un incremento en pinos de 17 años, con respecto a la humedad del pajonal en los primeros 10 cm; disminuyendo en pinos de 6 y 9 años. Asimismo, se aprecia que la humedad gravimétrica a profundidades de 10-30 cm aumentó en todas las edades de pinos evaluados, alcanzando un máximo en pino de 6 años. En relación a los resultados obtenidos, en los cuales los suelos de pajonal presentan los valores más bajos, el estudio sostiene que estas serían favorables para la flora microbiana del suelo. Dado que estas pueden ser favorables para el desarrollo de microorganismos benéficos, debido a su buena aireación. Por último, concluye que, con el paso del tiempo, los suelos con cobertura de pino en la zona de Chalamarca presentan pérdidas de nutrientes y son cada vez menos productivos (Díaz, 2023).

2.2. Marco teórico

2.2.1. Los bosques en el Perú y su importancia

Los bosques en el Perú son considerados un enorme patrimonio de la nación, tanto por su importancia socioeconómica como por su extensión. Constituyen una gran fuente de recursos genéticos, aún desconocido. La conservación de los bosques, generan diferentes servicios ecosistémicos, como la captura y almacenamiento de carbono, la protección de las fuentes de agua, la mejora de la infiltración del agua de lluvia. De igual manera, permite la regulación de la escorrentía, controlando la erosión del suelo. Asimismo, permite la acumulación e incorporación de nutrientes, la conservación de la biodiversidad (flora y fauna), estimulan el turismo (por la presencia de sus paisajes

naturales y belleza paisajística). Además de lo ya mencionado, ofrecen microclimas apropiados para diversas especies, proporcionan recursos que permiten la sobrevivencia del hombre (comunidades nativas), entre otros (Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura [FAO], 2016).

2.2.2. Las plantaciones de especies forestales en el Perú

Según las estadísticas oficiales del año 2012, el Perú tiene una extensión de 1 032 386 hectáreas de plantaciones forestales, tanto con fines de producción como de protección, que están en su mayoría conformadas por especies exógenas. Entre ellas se encuentra el pino de las especies *Pinus radiata* y *Pinus patula*. Además, se ha emprendido acciones de reforestación en la región de la sierra con especies nativas o naturales de la zona, tales como el quíñua (*Polylepis spp.*) y la tara o taya (*Caesalpinia spinosa*). Mientras tanto, en el caso de la selva amazónica, se ha realizado con plantas, tales como la bolaina (*Guazuma crinita*), capirona (*Calycophyllum scruceanum*) y el tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) (FAO, 2016).

En la actualidad existen intereses de inversión en este país, en actividades con plantaciones forestales, motivo por el cual, en setiembre del 2014 se ha puesto como propuesta a la opinión pública el proyecto de ley que promueve las plantaciones forestales comerciales. De acuerdo con el Diario Gestión publicada el 05 de octubre del 2014 (sección economía) se espera forestar 4 millones de hectáreas, con especies comerciales, buscando alcanzar en el corto plazo una ganancia de USD 1 000 millones en su primera exportación. De forma adicional se ha considerado dentro de los objetivos del Plan de Acción de Adaptación al Cambio Climático del Ministerio del Ambiente (MINAM) el aumento de la cobertura vegetal forestal con el fin de captura de carbono (FAO, 2016).

2.2.3. Las coníferas

Taxonómicamente, se encuentran dentro de la clase Coniferinea y el orden *Coniferales* (Melchior, 1964). Las coníferas agrupan a una gran variedad de árboles de gran talla y madera resinosa. Son plantas gimnospermas que, más que flores propiamente dichas, presentan estructuras reproductivas denominadas estróbilos o conos, los cuales son unisexuales. Los órganos femeninos están compuestos por escamas insertas, por lo general de forma helicoidal, sobre un eje central. Motivo por el cual, resulta un estróbilos que tiene forma de cono, como en la piña de los pinos, característica que ha servido para dar nombre al grupo. No obstante, también existen estróbilos redondeados, en los cipreses y los enebros. Asimismo, dicho órgano presenta dos tipos de escamas, como

escamas protectoras o tectrices y las seminíferas. En esta última se encuentran los óvulos y se desarrollan las semillas. Las coníferas están generalmente compuestas por especies monoicas, como el pino, pero también hay especies dioicas, como los enebros y los tejos (Tíscar, 2021).

2.2.3.1. La familia Pinaceae

La familia de *Pinaceae*, cuyo origen se encuentra en el hemisferio norte, con una cantidad de 231 especies, es la más numerosa entre las coníferas. México y una parte de Centro América, son zonas dominadas por especies de la familia *Pinaceae* (Farjon & Filer, 2013).

La familia *Pinaceae* presenta estróbilos en forma de conos o piñas y hojas estrechamente lineares, consideradas acículas que nunca se disponen en verticilos (Tíscar, 2021). Las hojas, además, son permanentes, resinosas, dispuestas en espiral, solitarias o fasciculadas. La familia *Pinaceae* presenta flores desnudas, generalmente monoicas, sostenidas por escamas; estambres numerosos, los esporangios se encuentran en la parte inferior de las escamas. Además, las flores se encuentran compuestas por numerosas escamas dispuestas en espiral, las cuales están libres o juntas. El fruto es un cono, por lo general leñoso, cerrado hasta la madurez o después de esto, compuesto por las escamas muy engrosadas y endurecidas. Las semillas son generalmente aladas a lo largo de un margen. El embrión está conformado por varios cotiledones (Standley & Steyermark, 1958).

El género de *Pinus* presenta una amplia distribución en comparación con todos los géneros de la familia *Pinaceae*, siendo compuesta por 113 especies. América del Norte y América central, tienen un mayor número de especies en comparación con Eurasia. Entre ellas se encuentra México, que por su diversidad y dominancia es considerada como la tierra de los pinos (Farjon & Filer, 2013).

En el Perú las plantaciones forestales con fines de producción y forestación, en su mayoría, se compone de especies exóticas, tales como el pino, especialmente de las variedades *Pinus radiata* y *Pinus patula* (FAO, 2016). En el caso de Ayacucho, el establecimiento de especies adaptables como el pino, es un medio para obtener materia prima para la construcción y como combustible (GRA, 2013). Además, de ser utilizado como un factor modificador microclimático y para proteger los suelos de ladera en valles y cuencas hidrográficas, los cuales presentan una extensa y acelerada erosión (GRA, 2013).

En el Perú, se presentan las especies tales como, *Pinus patula* (Subsp. *Tecunumanii*), *Pinus engelmannii*, *Pinus hartwegii*, *Pinus leiophylla*, *Pinus oocarpa*, *Pinus pseudostrobus* (subsp. *Tenuifolia*), *Pinus caribaea* (Var. *caribaea*), *Pinus ayacahuite*, *Pinus greggii*, *Pinus jeffreyi*, *Pinus michoacana*, *Pinus pseudostrobu*, *Pinus radiata* y *Pinus elliotii* (MINAM, 2019).

Según el Sistema Integrado de Información Taxonómica [ITIS] (2010), el género *Pinus*, presenta 75 especies, 4 subespecies y 18 variedades de taxones subordinados.

La jerarquía taxonómica de la especie de pino utilizada en el presente estudio (Anexo 11), según el Sistema de Clasificación de Engler y Prantl modificado por Melchior, 1964, se encuentra estructurada de la siguiente manera:

División	: Coníferas
Clase	: Coniferinea
Orden	: Coniferales
Familia	: Pinaceae
Género	: <i>Pinus</i>
Especie	: <i>Pinus radiata</i> D. Don

Fuente: Melchior, 1964.

2.2.4. Comparación del consumo de agua entre el pino y el eucalipto

El consumo de agua por parte del pino y el eucalipto es equiparable a otras especies forestales. En el mundo existen diversas especies de estas plantas forestales, 700 en caso de eucaliptos y 120 de pinos. Muchas de las cuales son cultivadas en varias zonas del planeta, incluyendo zonas con ambientes que van de semiáridos a desérticos (CORMA, 2015).

Las especies de eucalipto en Sudáfrica por ejemplo tiene una eficiencia en el uso del agua que va de 0,0008 a 0,0123 m³ de madera de tallo producida por 1 m³ agua consumida (Albaugh et al., 2013). Para producir 1 m³ de volumen fustal, por ejemplo, el *Pinus radiata* D. Don, en la zona centro sur de Chile, necesita entre 241 m³ a 717 m³ de agua. Los factores que influyeron en dicha necesidad fueron la densidad de la plantación, la temperatura estival, las características del suelo y la vegetación acompañante, ya que provocaron una variabilidad de la tasa de evapotranspiración entre las plantaciones en más de un 83 % (Huber & Trecaman, 2004).

Tabla 1. Comparación de la eficiencia del uso de agua entre árboles forestales

Árbol forestal	Eficiencia de uso de agua
Eucalipto	Para producir 2 g de biomasa total por 1 l de agua evapotranspirada.
Pino	Para producir 1 g de biomasa total por 1 l de agua evapotranspirada.

Fuente: CORMA, 2015

2.2.5. Principales impactos de la forestación con pino

2.2.5.1. En el suelo

Los rodales de pino (*Pinus radiata*), son eficientes fijadores de CO₂ como materia orgánica del suelo y además producen una acidificación acentuada del suelo. Por consiguiente, es necesario realizar estudios de impacto ambiental en caso de efectuar modificaciones en el uso del suelo (instalación de plantaciones forestales) (Garay et al., 2015).

El pino de la especie *Pinus radiata*, debido a su vinculada contribución a procesos de eutrofización, debería ser reconsiderado como especie recomendada en áreas con suelos de tipo Molisol cercanos a cursos de agua, lagos o diques artificiales (Garay et al., 2015). Dado que estos cuerpos de agua podrían verse afectados por la presencia de esta especie.

Por otro lado, el pino de la especie *Pinus patula*, al generar la acumulación de acículas, puede ser la causa de los cambios en la propiedad de los suelos, así como también en los términos de la germinación y el establecimiento de plantas nativas. Asimismo, esta puede ser la causante de la acidificación del horizonte superficial de los suelos y la disminución de la materia orgánica total (Ruiz, 2014). Asimismo, especies de pino, como el *Pinus radiata* D. Don, genera acidificación de los suelos, pero a pesar de ello, pueden mantener e incluso mejorar el contenido de carbono en el suelo (Di Gerónimo et al., 2018). Sin embargo, el impacto negativo en el valor del pH del suelo contribuye al deterioro de la calidad del suelo (Mancheno, 2011)

2.2.5.2. Agua

Existe una correlación entre la densidad y el consumo del agua de las plantaciones forestales de pino. Por ejemplo, el consumo de agua en las plantaciones de pino (*Pinus taeda* L.) de baja densidad, en precipitaciones medias de 1800 mm/año, no consumen

valores alarmantes. Por el contrario, si las plantaciones forestales son de alta densidad, sin intervención que impida el desarrollo de su área foliar, no serían recomendables desde el punto de vista hidrológico. Este último, debido a que el consumo de agua por las plantas forestales depende de su densidad de plantación, la ocupación efectiva del terreno, así como del consumo promedio de agua por plantación en relación con su diámetro (Keller, 2016).

Para producir 1 m³ de volumen de fustal en las plantaciones de pino de la especie *Pinus radiata* (D. Don), se requieren entre 241 y 717 m³ de agua (Huber & Trecaman, 2004). Este consumo está estrechamente influenciado por la densidad de plantación, la temperatura estival, las características del suelo y la vegetación acompañante, lo que explica en más de un 83 % la variación de la tasa de transpiración de las plantaciones (Huber & Trecaman, 2004).

Por ejemplo, el contenido de agua en los suelos de tipo Andisol con cobertura vegetal de pastizal, se mantiene en cantidades relativamente elevadas. La situación en cuestión cambia, luego de la forestación con pino, debido a que esta cantidad se reduce rápidamente, siendo la más baja en los árboles de mayor edad. Asimismo, es importante señalar que dicha situación se produce a pesar de que este tipo de suelo se caracteriza por tener una alta conductividad hidráulica en comparación con otros suelos. Además, su particular característica, se debe a que su conductividad hidráulica disminuye rápidamente a medida que se reduce el contenido del agua del suelo. En consecuencia, la presencia irreversible de la disminución de la humedad en este tipo de suelos es de suma importancia en el manejo de cuencas (Farley et al., 2004).

Al evaluar la pérdida de agua por interceptación entre el pino (*Pinus radiata*) y el eucalipto (*Eucalyptus globulus*), se determinaron efectos en el recurso hídrico de la cuenca, donde el pino obtuvo el mayor valor. El cual se debe a la diferencia que existe entre las características del dosel forestal de ambas plantas (Huber & Trecaman, 2004).

Por otra parte, se ha demostrado que la transición de suelos cubiertos con pajonal a pino y pasto o la quema de pajonal disminuye el contenido de humedad en los suelos. El cual se debe a que las acciones realizadas afectan a las características físicas del suelo, como el punto de saturación y la capacidad de campo del suelo. De igual manera, produce un aumento de la densidad aparente, lo que afecta la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo (Quichimbo, 2012).

2.2.6. El pajonal

Los pajonales en los Andes tropicales se presentan de manera amplia, entre 3000 y 5000 m.s.n.m., en los ecosistemas denominados páramos, jalcas, punas húmedas y punas secas, compuestos predominantemente por los géneros *Calamagrostis*, *Festuca* y *Stipa*. En el Perú los ecosistemas de pajonal cubren el 13 % del territorio nacional, así como el 51 % de los ecosistemas andinos (Mosquera et al., 2022). La cobertura vegetal de pajonal de la Región Ayacucho representa el 20,73 % de su territorio y se encuentra localizada entre los 3800 a 4500 m.s.n.m. (GRA, 2013).

En el caso de la provincia de Huamanga, la cobertura de pajonal se encuentra en los distritos de Ocros, Chiara, Tambillo, Acosvinchos, y Quinoa (Nival Subtropical). Los cuales se ubican en la zona de vida de páramo muy húmedo. De acuerdo con la Zonificación Ecológica Económica de la Región Ayacucho, dicha zona pertenece a tierras aptas para pastos de calidad 13 % agrológica baja limitada por suelo, erosión, clima y de uso temporal (zona 68). Asimismo, de acuerdo con la capacidad de uso mayor de sus suelos, pertenecen a las tierras aptas para pastos (P). Dentro del cual se ubica en la clase de tierras aptas para pastos de calidad agrológica baja (P3) y subclase de tierras aptas para pastos de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima (P3sec) (GRA, 2013).

2.2.6.1. Beneficios de las coberturas de pajonal

2.2.6.1.1. Suelo

El pajonal tiene una gran capacidad para el almacenaje de carbono total. Dado que, en dicho ecosistema, en el que predominan las especies de la familia *Poaceae* (79 % de su superficie), presenta un contenido de carbono de 10,1 t/ha y un total de 46 763 t. Además de desempeñar con funciones como, la acumulación del agua en el suelo y la liberación del agua en la cuenca (Oliva et al., 2017).

Los suelos con cobertura de pajonal generan efectos en el contenido de materia orgánica del suelo, presentando un porcentaje tres veces menor en comparación con los parches de chaparro y polylepis. El porcentaje de materia orgánica tiene una relación directa con la tasa de infiltración, así también existe una relación indirecta entre infiltración y la densidad relativa del suelo (Moreno, 2012). La cual influye en la capacidad de retención del agua del suelo.

Por otro lado, los suelos con cobertura de pajonal evidencian características particulares. En la cual, el pH resulta muy fuertemente ácido y, además los contenidos de carbono, nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico y el aluminio resultan

elevados. Asimismo, la densidad aparente es baja, lo cual favorecería a la capacidad de retención del agua del suelo (Cerón & García, 2009).

Los suelos cubiertos con pajonal presentan una alta capacidad de infiltración, en relación con baja intensidad de precipitación predominante en los ecosistemas altoandinos. El cual, reduce la escorrentía de flujo superficial y en consecuencia disminuye la intensidad del proceso de erosión del suelo (Mosquera et al., 2022).

2.2.6.2. Agua

El ecosistema de pajonal, situado en las cuencas de la vertiente del Pacífico del Perú, recibe más de la tercera parte de total del agua de lluvia. Asimismo, hidrológicamente, recolectan, almacenan y proveen agua, para las necesidades domésticas, agrícolas, hidroeléctricas y recreativas. Motivo por el cual, el agua obtenida por el pajonal, resulta de suma importancia para el desarrollo socioeconómico de los países situados en el norte y centro de la cordillera de los Andes (Mosquera et al., 2022).

Los pajonales altoandinos contribuyen en la recarga hídrica de los bofedales, los cuales se conectan con la red de drenaje durante las fuertes precipitaciones en las cuencas del páramo, aportando pequeñas cantidades al agua subterránea. Motivo por el cual, la interacción entre el pajonal y los bofedales es sumamente importante para la generación y regulación del agua que llega a los ríos, así como para la conservación de ecosistemas y brindar servicios ecosistémicos hídricos (Mosquera et al., 2022).

Los servicios ecosistémicos hídricos más relevantes que ofrece el pajonal altoandino son el aporte anual de agua y la regulación de caudales. Sus características físicas tales como, la distribución y densidad de sus raíces contribuyen en la capacidad de infiltración del agua en el suelo (Mosquera et al., 2022).

La evapotranspiración y la captura de la neblina son los principales procesos que afectan el funcionamiento hidrológico de los ecosistemas montañosos tropicales a través de los flujos de agua y energía entre la vegetación y la atmósfera. En comparación con otras plantas herbáceas, los ecosistemas de pajonal presentan un elevado coeficiente de cultivo. La evapotranspiración de la precipitación interceptada por la vegetación del dosel constituye la mayor parte del flujo de evapotranspiración de los pajonales (Mosquera et al., 2022).

2.3. Marco Conceptual

2.3.1. El suelo

El suelo definido como cuerpo natural, es aquella que está compuesta por materiales minerales, fragmentos de roca, materia orgánica y microorganismos diversos (López-Acevedo et al., 2019).

2.3.2. Características fisicoquímicas del suelo

2.3.2.1. Capacidad de Campo

La capacidad de campo representa la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener contra la fuerza de gravedad, generalmente medida 48 horas después de un riego o lluvia que ha saturado completamente el perfil (Porta et al., 2003; Jordán, 2005 y Flores & Alcalá, 2010).

2.3.2.2. Punto de marchitez

El punto de marchitez permanente se define como el límite inferior de agua disponible para las plantas, es decir, el contenido de humedad que las raíces ya no pueden absorber (Porta et al., 2003; Jordán, 2005 y Flores & Alcalá, 2010).

2.3.2.3. Capacidad de retención de agua disponible

Es la cantidad de agua retenida por el suelo que puede ser absorbida por las plantas (Jordán, 2005 y Flores & Alcalá, 2010)

2.3.2.4. Textura del suelo

La textura del suelo está definida por la variada y diferenciada proporción de arena, limo y arcilla (Porta et al., 2003).

2.3.2.5. Materia orgánica

La materia orgánica proviene principalmente de restos de plantas, animales y microorganismos, cuyo contenido son mayores en las primeras etapas de formación del suelo (Porta et al., 2003).

2.3.2.6. Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica es una medición que nos permite conocer la concentración de sales que contiene una solución de suelo, el cual se mide mediante un conductímetro (Jordán, 2005).

2.3.2.7. Reacción (pH) del suelo

El pH es un término universalmente utilizado para expresar el contenido de iones de hidrógeno activos en la solución del suelo (Villarroel, 1988).

2.3.2.8. Nitrógeno Total

El nitrógeno es uno de los elementos más importantes en la nutrición de las plantas y es esencial para su crecimiento (Porta et al., 2003).

2.3.2.9. Fósforo

El fósforo tiene como fuente de origen generalmente a la apatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6 \text{F}_2$), el cual es común en las rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas (Villarroel, 1988).

2.3.2.10. Calcio

El calcio en el suelo tiene su origen en los minerales primarios que contienen calcio (plagioclasas, piroxenos, anfíboles, etc.). Este catión es muy abundante en la hoja de las plantas, en la savia, etc. (Carbonero, 1984).

2.3.2.11. Magnesio

El magnesio junto al calcio y azufre forman parte de los denominados elementos nutrientes secundarios. Es un catión abundante en las células de las plantas y es esencial en la molécula de clorofila (Carbonero, 1984).

2.3.2.12. Aluminio

El aluminio es un ion intercambiable en condiciones ácidas, su presencia está relacionado en gran parte con la acidez del suelo (principalmente con lo que se denomina hidrólisis del ion aluminio) (Carbonero, 1984).

2.3.2.13. Hidrógeno

El hidrógeno intercambiable en la solución del suelo favorece a la acidez del suelo (Villarroel, 1988).

2.3.2.14. Capacidad de Intercambio Catiónico

La capacidad de intercambio catiónico se encuentra expresada por el número de sitios de absorción de cationes por unidad de peso del suelo (Villarroel, 1988).

2.3.3. Características fisicoquímicas del agua

2.3.3.1. Sólidos disueltos totales

Los sólidos disueltos totales son indicadores de materiales que se encuentran en suspensión en el agua. La cual está relacionada con el aporte de sólidos a los cauces

de corrientes superficiales, la cual puede tener un origen antropogénico y/o natural. Asimismo, está correlacionado con repercusiones ecológicas, aumento de color y turbiedad del agua (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2010).

2.3.3.2. Turbiedad o turbidez

La turbiedad o turbidez es el término que expresa la propiedad óptica de una solución que provoca que los rayos de luz sean dispersados y absorbidos en lugar de transmitirlos en línea recta a través de la muestra (Ortiz, 2011).

2.3.3.3. Potencial de hidrógeno

El potencial de hidrógeno es un indicador de la acidez o alcalinidad del agua (IDEAM, 2010). Además, es una de las medidas más relevantes, cuya determinación es la prueba más utilizada en químicas de agua (Ortiz, 2011).

2.3.3.4. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es un término que expresa numéricamente la capacidad de una solución acuosa para transportar corriente eléctrica. La cual, depende de la presencia de iones, su concentración total, las concentraciones relativas, la movilidad, la valencia y la temperatura de medición (Ortiz, 2011).

2.3.3.5. Nitrato

El nitrato es un compuesto inorgánico que puede estar presente en pequeñas concentraciones como parte de la composición química habitual del agua de consumo humano. La elevada concentración de nitrato en aguas superficiales es un indicio de contaminación debido al vertimiento de aguas industriales y comunales, que contienen heces y fertilizantes, así como del agua de lluvia (Schlam et al., 2006).

2.3.3.6. Fosfato

El fosfato es la forma en la que, la mayor parte del fósforo se encuentra presente en aguas de desecho y aguas naturales (Ortiz, 2011).

2.3.3.7. Sulfato

Los sulfatos en el agua están estrechamente relacionados con la dureza de esta. Asimismo, está muy distribuido en la naturaleza y puede estar en aguas naturales en concentraciones de pocos miligramos a varios cientos de miligramos por litro (Ortiz, 2011).

2.4. Marco Normativo

- Constitución Política del Perú de 1993.
- Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental del agua y establecen Disposiciones Complementarias.
- Resolución Jefatural N.º 010 -2016-ANA, que aprueba el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.

III. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación política

El área de estudio se encuentra ubicada en el distrito de Chiara, provincia de Huamanga, cuya capital se encuentra en la ciudad de Ayacucho. En tal sentido presenta el siguiente detalle:

Departamento : Ayacucho
Provincia : Huamanga
Distrito : Chiara
Localidad : Toccto

3.1.1. Límites

- Por el norte limita con la provincia de Huamanga.
- Por el este limita con la provincia de La Mar y departamento de Apurímac.
- Por el sur limita con la provincia de Vilcashuamán y Cangallo.
- Por el oeste limita con el departamento de Huancavelica.

3.2. Ubicación geográfica

El presente trabajo se desarrolló en una zona de la microcuenca Toccto, ubicada en el distrito de Chiara, provincia de Huamanga, Ayacucho, durante los meses de octubre, febrero, junio y agosto. El área de estudio se encuentra ubicado a una altitud de 3952 m.s.n.m. El centroide del área está localizado en las coordenadas 58788,00 m E y 8520844,00 m S. La ubicación de dicho punto, así como los puntos que conforman el polígono del área de estudio, fue registrada con un GPS de la marca Garmin (modelo GPSMAP 63sec), empleando coordenadas en el sistema de coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM) y en el sistema geodésico World Geodetic System 1984 (WGS 84).

Las coordenadas geográficas correspondientes a los puntos de los vértices que conforman el área de estudio se encuentran detallada en la Tabla 2, mientras su ubicación se ilustra en la Figura 1.

Tabla 2. Coordenadas de los vértices del área de estudio

Vértices	Zona	Coordenadas	
		Este (m)	Sur (m)
1	18L	587048,5585	8517621,479
2	18L	586663,5941	8517508,868
3	18L	586543,8672	8517641,151
4	18L	586521,1360	8517674,482
5	18L	586489,1161	8517700,379
6	18L	586451,0649	8517758,225
7	18L	586416,8409	8517807,279
8	18L	586340,7879	8518496,662
9	18L	586418,4544	8518493,585
10	18L	586458,8123	8518501,534
11	18L	586485,3197	8518547,084
12	18L	586514,7547	8518607,504
13	18L	586567,0610	8518672,464
14	18L	586600,9991	8518687,563
15	18L	586687,7426	8518748,319
16	18L	587480,3687	8522218,780
17	18L	587345,5683	8522675,549
18	18L	587395,1471	8522970,123
19	18L	587628,2580	8523276,519
20	18L	587845,5353	8523888,137
21	18L	588152,7820	8524071,953
22	18L	588566,3090	8524431,242
23	18L	588033,0279	8519042,787
24	18L	587862,3452	8518598,553
25	18L	587730,7384	8518435,154
26	18L	587600,5797	8518071,906
27	18L	587386,2911	8517840,129
28	18L	587048,5585	8517621,479



Figura 1. Mapa de ubicación del área de investigación en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara 2021-2022

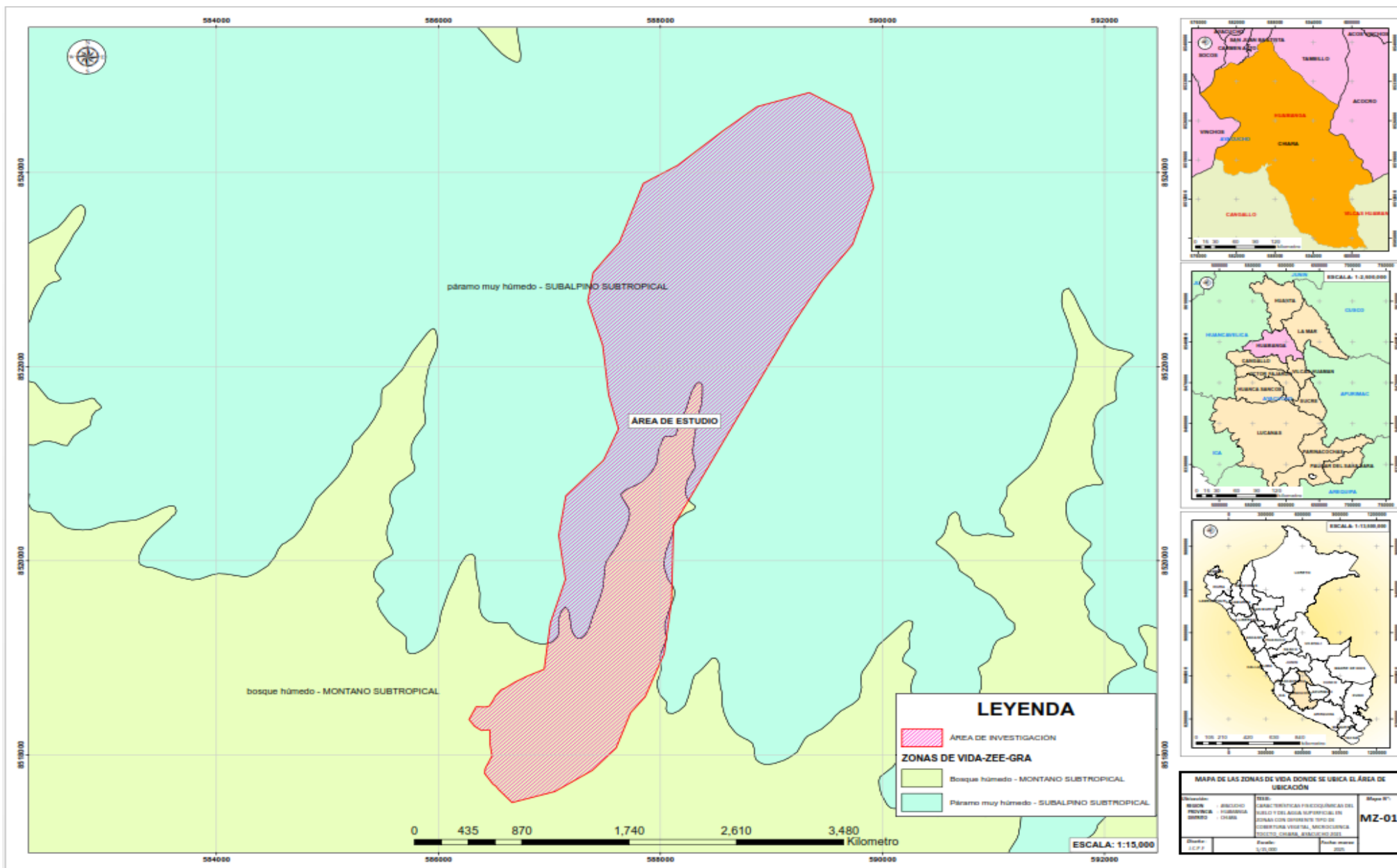


Figura 2. Zonas de vida del área de estudio

3.3. Zonas de vida

En la Figura 2, se aprecia las zonas de vida que abarca el área de estudio, las cuales se detallan a continuación.

3.3.1. Bosque húmedo – MONTANO SUBTROPICAL (bh-MS)

Geográficamente, esta zona de vida se encuentra entre los 2800 y 3800 m.s.n.m., a lo largo de la región cordillerana de norte a sur. La precipitación mínima promedio es de 410 milímetros. Su relieve a menudo es empinado, donde predominan materiales litológicos calcáreos y en áreas muy empinadas, con suelos poco profundos. En la parte superior de esta Zona de Vida (Subpáramo o Praderas), se pueden apreciar grandes extensiones de pastos naturales altoandinos, compuestos principalmente por la especie de la familia de las gramíneas como *Stipa*, *Festuca*, *Poa* y *Calamagrostis* (Instituto Nacional de Recursos Naturales [INRENA], 1995).

3.3.2. Paramo muy húmedo – SUBALPINO SUBTROPICAL (pmh-SaS)

Esta zona de vida geográficamente abarca la parte oriental de los Andes, de norte a sur, entre los 3900 y 4500 m.s.n.m. La precipitación mínima promedio es de 513,4 milímetros. Poseen una configuración topográfica definida por áreas muy extensas, suaves y ligeramente onduladas y colinadas. Asimismo, presentan laderas de moderadas a fuertemente inclinadas hasta presentar en muchos de los casos afloramiento rocoso. Los suelos son relativamente profundos y ácidos, en las cuales predominan material calcáreo. Además, presentan la característica de ser suelos con mal drenaje, suelos orgánicos y delgados. Esta zona de vida está compuesta por una gran mezcla de gramíneas y otras especies perennes. Entre las especies predominantes se encuentran, *Festuca dolycophylla*, *F. orthophylla*, *Calamagrostis antoniana*, *C. vicunarum*, *C. intermedia*, *Stipa brachyphylla*, *S. inconspicua*, *S. obtusa* y *S. ichu*. Asimismo, se encuentran especies predominantes como, la *Poa gynnantha*, *P. annua*, *Muhlenbergia ligularia*, *M. peruviana*, *Distichlis humilis*, *Alchemilla pinnata*, *Bromus sp.*, *Bromus lanatus*, *Paspalum sp.*, *Trifolium amabile*, *Hypochoeris elata*, *H. imayeniana*, *H. Stenocephala*, *Agrostis breviculmis*, *Luzula racemosa*, “grama salada” y “grama dulce” (INRENA, 1995).

De acuerdo con lo descrito previamente, el área estudio se localiza en los límites de dos zonas de vida, tales como bosque húmedo – MONTANO SUBTROPICAL (bh-MS) y Paramo muy húmedo – SUBALPINO SUBTROPICAL (pmh-SaS), presentando características de transición entre uno y otro (ecotono). Sin embargo, la composición de

la cobertura vegetal y la fisiografía del entorno del área de estudio muestra una mayor afinidad con las características propias del Páramo muy húmedo – SUBALPINO SUBTROPICAL.

3.4. Tipo de Estudio

La presente investigación posee un enfoque cuantitativo, ya que se utilizó la recolección de datos para probar la hipótesis planteada con base a la recopilación numérica y el análisis estadístico (Hernández et al., 2014).

3.5. Tipo de diseño

El diseño metodológico de la presente investigación corresponde a un estudio cuantitativo no experimental, dado que no se realizó manipulación intencional de las variables, y los fenómenos fueron observados en su contexto natural (Hernández et al., 2014). En este sentido, para evaluar las características fisicoquímicas del agua y suelo en áreas con cobertura vegetal de pino y pajonal, se efectuó la toma de muestras en el campo, bajo condiciones naturales. Esto implica que el estudio no se desarrolló en un ambiente controlado, ni se introdujeron alteraciones o tratamientos experimentales en las unidades de análisis.

3.6. Tipo de investigación y su alcance

El presente estudio corresponde a una investigación básica, puesto que tiene como finalidad de generar información respecto a las características fisicoquímicas del suelo y agua en áreas con cobertura de pino y pajonal. Asimismo, posee un alcance correlacional, puesto que el estudio busca relacionar las características fisicoquímicas del suelo y agua con la presencia del pino y pajonal (Hernández et al., 2014).

3.7. Definición de la población y muestra

La población de estudio está compuesta por suelos con cobertura de pino (*Pinus radiata* D. Don) entre 7 a 10 años, y suelos con pajonal (en adelante cobertura de pajonal). Asimismo, se contó con una población de estudio conformada por el agua del río Mozojcancha. Las poblaciones mencionadas se encuentran situadas en la microcuenca Toccto. Las cuales, se evaluaron durante los meses de octubre del 2021 y febrero, junio y agosto del 2022.

Tabla 3. Población y muestras colectadas en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara 2021-2022

Población	Área	Submuestra	Muestras
Suelo con cobertura de pino	3 áreas de 3000 m ²	87 submuestras por área (29 por posición topográfica)	3 muestra por área (01 por cada posición topográfica)
Suelo con cobertura de pajonal	3 áreas de 3000 m ²	87 submuestras por área (29 por posición topográfica)	3 muestra por área (01 por cada posición topográfica)
Microcuenca Toccto	3 secciones de muestreo (antes, durante y después del pino)		6 muestras (3 antes, 2 durante y 1 después)

AP1, AP2 y AP3: Área de muestreo con cobertura de pino

APj1, APj2 y APj3: Área de muestreo con cobertura de pajonal

Secciones del río según la ubicación del área con cobertura de pino: antes, durante y después

Posiciones topográficas en la pendiente del suelo: baja, media y alta

3.8. Métodos y técnicas para la recolección de datos

3.8.1. Capacidad de retención del agua y características fisicoquímicas del suelo

3.8.1.1. Muestreo para determinar la capacidad de retención del agua en el suelo

Para evaluar la capacidad de retención de agua en suelos con cobertura de pajonal y pino, se utilizaron las constantes de humedad más comúnmente empleadas para su caracterización, la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, ambas expresadas como porcentaje de peso (humedad gravimétrica) (La Manna et al., 2018; Lince-Salazar, 2021 y Peña et al., 2023). La capacidad de campo representa la máxima cantidad de agua que un suelo puede retener contra la fuerza de gravedad, generalmente medida 48 horas después de un riego o lluvia que ha saturado completamente el perfil. Esta se estima a partir del contenido de agua en una muestra de suelo equilibrada a una presión de -33 KPa. Por otro lado, el punto de marchitez permanente se define como el límite inferior de agua disponible para las plantas, es decir, el contenido de humedad que las raíces ya no pueden absorber. Se determina a partir del contenido de agua que retiene una muestra de suelo equilibrada sometida a una presión de -1500 KPa en un sistema de placas de presión (Porta et al., 2003 y Flores & Alcalá, 2010). Las muestras de suelo para ambas determinaciones fueron

recolectadas mediante el método del cilindro (García, 2017), sin alterar la estructura natural del suelo. Posteriormente, se trasladaron al laboratorio de suelos AGROLAB para su análisis. El muestreo se llevó a cabo en los meses de febrero, junio y agosto 2022. La ubicación de los puntos fue registrada con un GPS de la marca Garmin (modelo GPSMAP 63sc), empleando coordenadas en el sistema de coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM) y en el sistema geodésico World Geodetic System 1984 (WGS 84).

Adicionalmente se determinó la capacidad de retención de agua disponible. El cual se define como la cantidad de agua retenida por el suelo que puede ser absorbida por las plantas (Flores & Alcalá, 2010). Para lo cual se realizó cálculo de la capacidad de retención de agua disponible hasta los 23 cm de profundidad del suelo, expresada en volumen de acuerdo a la siguiente ecuación propuesto por Porta et al. (2003). La profundidad del suelo utilizada para el cálculo de la capacidad de retención de agua se determinó con base en los resultados obtenidos en campo. Durante la excavación de la calicata, se identificó que el horizonte de suelo orgánico (horizonte A) presentaba una profundidad de entre 22 a 23 cm. Para efectos del cálculo, se adoptó el valor máximo de 23 cm (véase Anexo 2, Figura 2.13).

$$CRAD = \sum_i (CC - PM)_i e_i$$

CC: Capacidad de Campo del horizonte i ($m^3.m^{-3}$)

PM: Punto de marchitamiento permanente del horizonte i ($m^3.m^{-3}$)

e_i : espesor del horizonte i (m)

*Para que las unidades de la CC y PM estén unidades de volumen se multiplico por la densidad aparente.



Figura 3. Muestreo de suelo bajo el método del cilindro en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara 2022

3.8.1.2. Muestreo para determinar las características físicas relacionados con la retención de agua en el suelo

Para evaluar las características físicas del suelo relacionados con su capacidad de retención del agua, tales como la densidad aparente, densidad real y la porosidad, se realizó el muestreo utilizando el método del cilindro (García, 2017), procurando no alterar la estructura natural del suelo. Una vez obtenida las muestras se colocó el rotulado correspondiente tal como se muestra en el Anexo 19 y luego se llenó la cadena de custodia (Anexo 8). Las muestras obtenidas fueron posteriormente enviadas al laboratorio de suelos AGROLAB para su análisis. Este procedimiento se llevó a cabo durante los meses de febrero, junio y agosto 2022. La ubicación de los puntos de muestro se determinó mediante un GPS de marca Garmin (modelo GPSMAP 63sc), y las coordenadas fueron registradas en el sistema de coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM) y referidas al sistema geodésico World Geodetic System 1984 (WGS 84).

3.8.1.3. Muestreo de suelo para determinar la textura y las características químicas del suelo

Para el muestreo de suelo se utilizó el método de muestras compuestas, el cual consiste en la mezcla de varias submuestras recolectadas en diferentes sitios representativos de la unidad de estudio (Gómez, 2013). Este procedimiento se realizó durante los meses de febrero, junio y agosto 2022. Adicionalmente, se aplicaron dos estrategias de muestreo espacial: (i) el diseño de transecto en superficie inclinada, siguiendo, la dirección de la pendiente, el cual fue tomado por MIDAGRI (2024), y (ii) el muestreo aleatorio siguiendo un patrón de zigzag, como lo describe Gómez (2013) y MIDAGRI

(2024). Una vez obtenida las muestras se colocó el rotulado correspondiente tal como se muestra en el Anexo 19 y luego se llenó la cadena de custodia (Anexo 8). Las muestras obtenidas fueron posteriormente enviadas al laboratorio de suelos AGROLAB para su análisis. La ubicación de los puntos de muestreo se registró con un GPS de marca Garmin (modelo GPSMAP 63sc). Las coordenadas fueron expresadas en el sistema de referencia Universal Transversal Mercator (UTM) y en el sistema geodésico World Geodetic System 1984 (WGS 84).

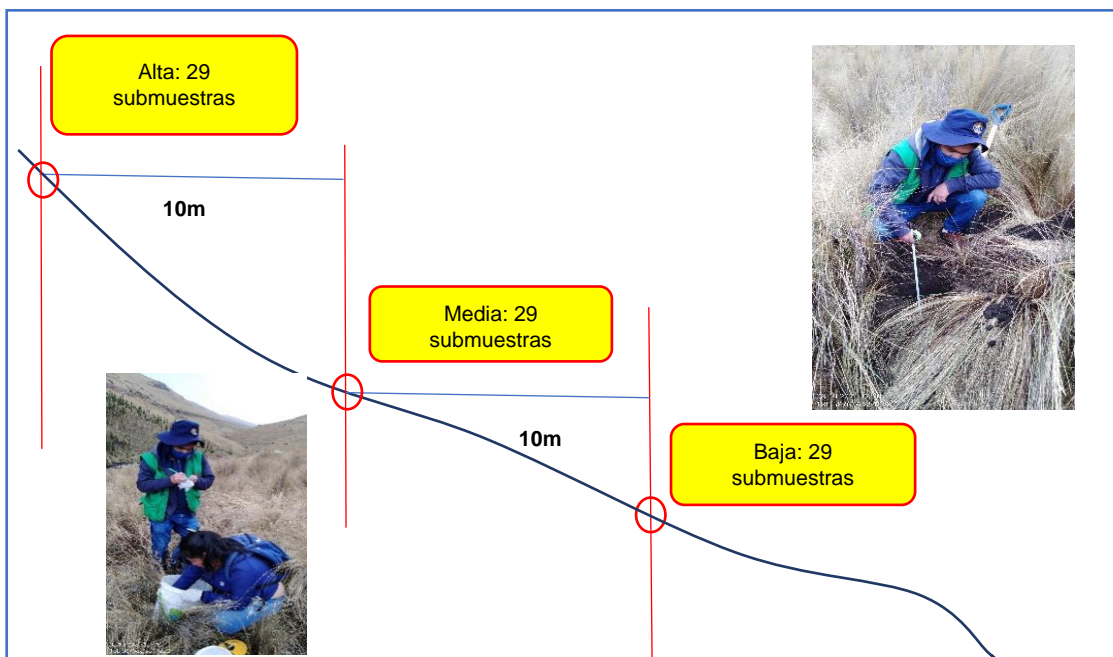


Figura 4. Distribución de posición topográfica de la pendiente del suelo en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara 2022

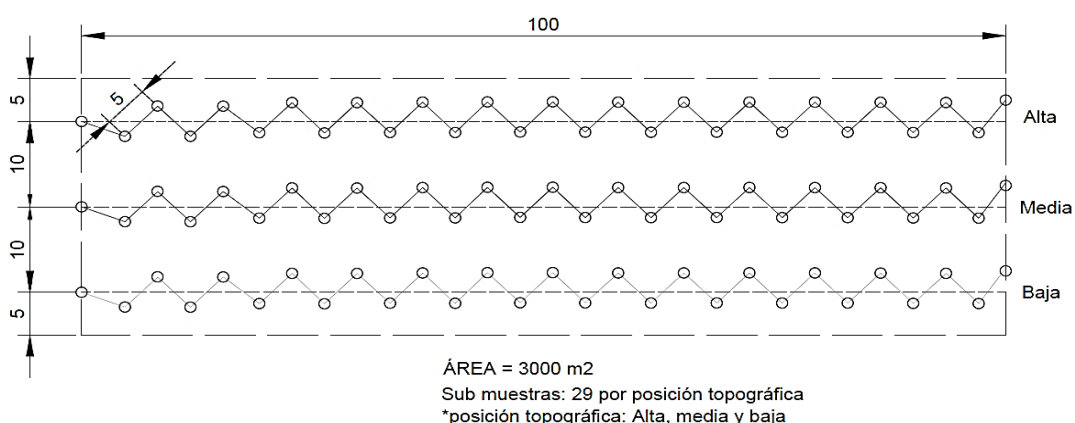


Figura 5. Distribución de submuestras por posición topográfica de la pendiente del suelo en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara 2022

Tabla 4. Métodos de análisis de características fisicoquímicas del suelo, microcuena Toccto, Huamanga, Ayacucho 2022

Determinación	Unidad	Metodología	Fuente
Capacidad de campo	%	Ollas y membranas de presión-tensión de -33 KPa	Flores & Alcalá, 2010
Punto de marchitez	%	Ollas y membranas de presión-tensión de -1500 KPa	Flores & Alcalá, 2010
Densidad aparente	g/cm ³	Cilindro de volumen conocido	Flores & Alcalá, 2010
Densidad real	g/cm ³	Picnómetro	Flores & Alcalá, 2010
Porosidad	%	Determinada a partir de la densidad aparente y la densidad real	Gómez, 2013
Textura		Metodología empleada en la EEA Donoso y estimada al tacto	MIDAGRI, 2024
Reacción del suelo	pH	Potenciométrico (Suspensión 1:1)	MIDAGRI, 2024
Conductividad eléctrica	dS m ⁻¹	Conductímetro (Suelo1: agua1)	MIDAGRI, 2024
Materia orgánica	%	Walkley Black	MIDAGRI, 2024
Nitrógeno total	%	Micro Kjendhal	MIDAGRI, 2024
Fósforo disponible	ppm	Olsen modificado	MIDAGRI, 2024
Potasio disponible	ppm	Saturación con acetato NH ₄ -Absorción atómica	MIDAGRI, 2024
Capacidad de intercambio catiónico	Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	Acetato de amonio 1 N pH 7	MIDAGRI, 2024
Ca ⁺² , Mg ⁺² , K ⁺ , Na ⁺ , cambiables	Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	Extracto de amonio-Absorción atómica	MIDAGRI, 2024
Carbonatos	%	Gasovolumetrico-Neutralización ácida	MIDAGRI, 2024
Acidez cambiante (Al ⁺³ +H ⁺)	Cmol ₍₊₎ kg ⁻¹	Método Yuan	MIDAGRI, 2024
Análisis granulométrico	%	Hidrómetro de Bouyoucus	MIDAGRI, 2024

*Análisis de caracterización acorde a lo establecido en el Reglamento para la Ejecución de Levantamiento de Suelos (DS-13-2010-AG).

*Textura de suelo: Porcentaje de arena, limo y arcilla

*Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI], 2024

Equivalencias:

- 1ppm = 1mg/kilogramo.
- 1 milimho/cm (mmho/cm) = 1 deciSemens/metro.
- 1 miliequivalente/100g = 1 Cmol(+)/Kg.
- Sales solubles totales (TDS) en ppm o mg/kg = 640 x CE (es).
- CE (1:1) mmho/cm x 2 = CE (es) mmho/cm.

3.8.1.4. Medición de profundidad efectiva del suelo

Para medir la profundidad efectiva del suelo, se realizaron dos calicatas, uno en el área con cobertura de pajonal y otra el área con cobertura de pino. La profundidad efectiva

del suelo se define como el espacio en el que las raíces de las plantas pueden penetrar sin mayor dificultad, con el fin de acceder al agua y a los nutrientes (García, 2017). La ubicación de los puntos de muestro se determinó utilizando un GPS de marca Garmin (modelo GPSMAP 63sc), y las coordenadas fueron registradas en el sistema de coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM), referido al sistema geodésico World Geodetic System 1984 (WGS 84).



Figura 6. Mapa de ubicación de las áreas de muestreo de suelo en la micrcuenca Toccto, distrito de Chiara 2022

3.8.2. Características fisicoquímicas del agua

3.8.2.1. Muestreo de agua

La recolección de muestras de aguas se realizó de acuerdo con las recomendaciones del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales (Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA), durante los meses de octubre de 2021, febrero y agosto de 2022. Por ello, se estableció la red de puntos de monitoreo, cuya ubicación fue determinada siguiendo criterios de representatividad y accesibilidad en condiciones seguras, conforme a las recomendaciones para el monitoreo de la calidad ambiental de cuerpos de agua lóticos. Considerando que el objetivo fue obtener información sobre las características fisicoquímicas del agua antes, durante y después de la cobertura de pino. En cada punto de muestreo, se recolectó una muestra simple, siguiendo los protocolos aprobados por la Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2016). La ubicación de los puntos de muestreo se determinó con un GPS de marca Garmin (modelo GPSMAP 63sc), registrando las coordenadas en el sistema de coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM), referidas al sistema geodésico World Geodetic System 1984 (WGS 84). La toma de muestra se realizó siguiendo los procesos para ríos o quebradas con bajo caudal (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2016).

Una vez establecidos los puntos de muestreo, se recolectaron muestras de un litro en frascos de polietileno en tres secciones distribuidos a lo largo del río Mozojcancha (antes, durante y después del tramo con cobertura de pino). Una vez obtenidas las muestras se colocó el rotulado correspondiente, tal como se muestra en el Anexo 19 y luego se llenó la cadena de custodia (Anexo 9). Las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Biodiversidad y Sistemas de Información Geográfica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga para su análisis. En dicho laboratorio se analizaron las características fisicoquímicas del agua, como, la turbidez, nitrato, fosfato y sulfato. Por otro lado, las características fisicoquímicas como el pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos fueron determinados in situ mediante el uso del multiparámetro, empleando el método electroautomatizado.

Los resultados obtenidos para pH, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, turbidez, nitrato y sulfato, se comparó con los Estándares de Calidad Ambiental del Agua del Ministerio del Ambiente (ECA agua), aprobada mediante Decreto Supremo N°004-2017-MINAM.

Tabla 5. Métodos seguidos para el análisis de agua, microcuenca Toccto, Huamanga, Ayacucho 2022

Características fisicoquímicas	Unidad	Metodología
Sólidos disueltos	mg/l	Multiparámetro
Turbidez	NTU	Turbidímetro
Potencial de hidrogeno	pH	Multiparámetro
Conductividad Eléctrica	μS/cm	Multiparámetro
Nitrato	mg/l NO ₃ ⁻	Electrodo selectivo
Fosfato	mg/l PO ₃ ⁻	Acido ascórbico
Sulfato disuelto	mg/l	Turbidimétrico

Fuente: (Baird et al., 2017)

3.8.2.2. Medición de caudal

La medición del caudal del río Mozojcancha se realizó mediante el método del flotador, un método sencillo que permite estimar de forma aproximada el caudal del río. Para ello se determinó previamente la sección transversal del cauce mediante un procedimiento topográfico, en un tramo recto y uniforme del río, con una longitud comprendida entre 5 a 6 metros, en el cual el agua fluye libremente.

La velocidad del agua fue medida mediante un flotador, posteriormente, los datos obtenidos se emplearon para calcular el caudal mediante una fórmula matemática (Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego [DGIAR], 2015). Este procedimiento se repitió en tres ocasiones, dos en período de lluvia (octubre y febrero) y uno en período seco (agosto).

Formula para medir el caudal del agua

$$Q = Fc \times A \times (L/T)$$

Q= es el caudal, en m³/s

L= es la longitud entre el punto A y B

A= es el área en m²

T= es el tiempo promedio en segundos

Fc^{*}= es el factor de corrección

*El factor de corrección relacionado a la velocidad, para este caso tomaremos el valor de 0,5, que corresponde a riachuelos de profundidad del agua mayor a 15 cm.

Fuente: Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego [DGIAR], 2015.

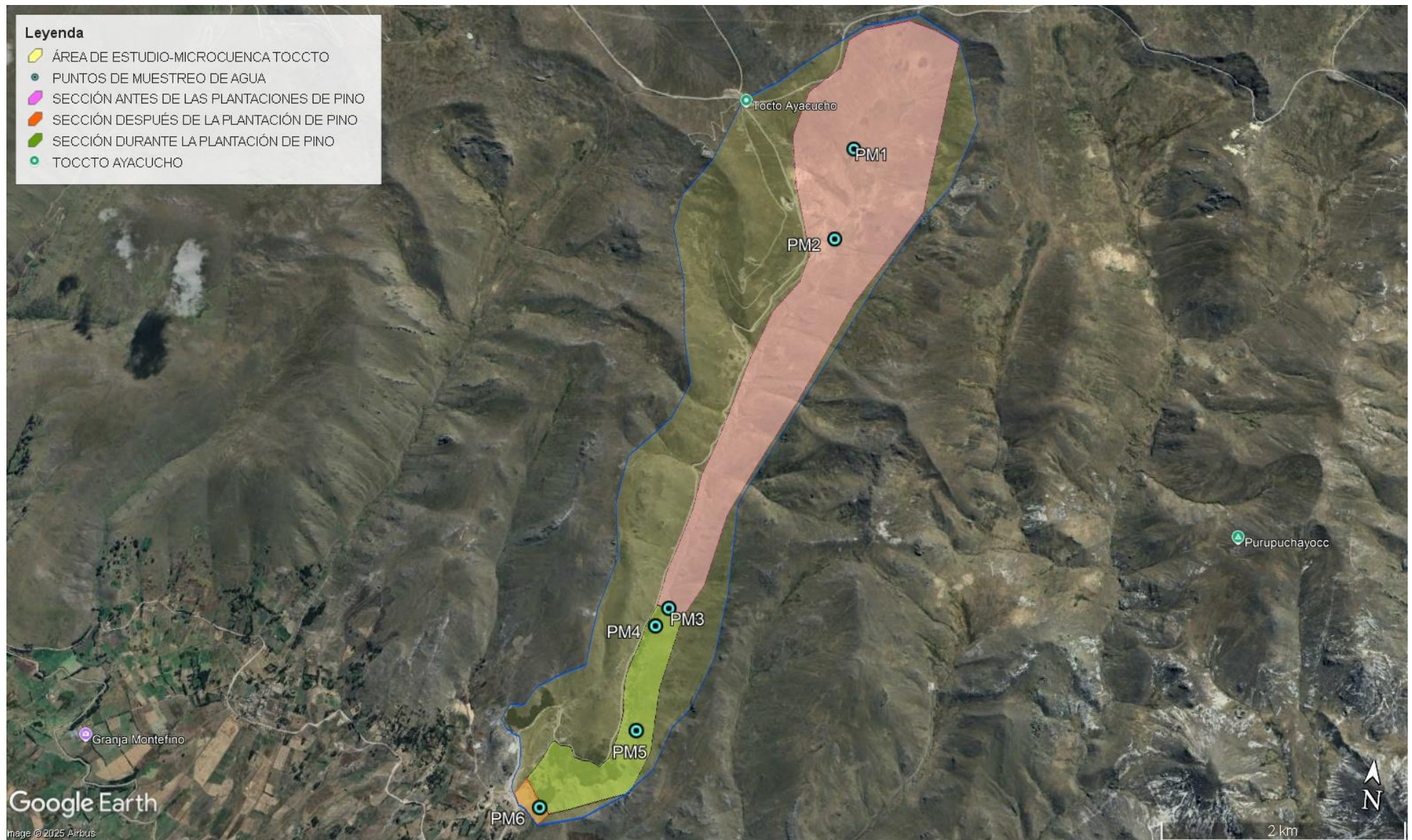


Figura 7. Mapa de ubicación del área de muestreo del agua superficial de la microcuenca Toccto, distrito de Chiara 2021-2022

3.6. Diseño de la investigación

3.6.1. Diseño de muestreo de suelo para determinar la capacidad de retención del agua del suelo y las características físicas relacionadas

Para la obtención de muestras y la determinación de las constantes de humedad que permitan caracterizar la capacidad de retención del agua del suelo, así como sus características físicas asociadas, se establecieron 3 áreas de muestreo tanto para la cobertura de pino (AP1, AP2 y AP3) como en la de pajonal (APj1, APj2 y APj3), tal como se muestra en la Figura 6. El muestreo se realizó en los meses de febrero y agosto 2022, en las áreas AP1 y AP2 (cobertura con pino) y APj1 y APj2 (pajonal), mientras que un muestreo adicional se efectuó en el mes de junio del mismo año, en las áreas AP3 (pino) y APj3 (pajonal). Del muestreo realizado se obtuvo un total de 12 muestras para las áreas con cobertura de pino y 12 muestras para las áreas con cobertura de pajonal, tal como se muestra en el Anexo 15.1.

Tabla 6. Descripción de muestras de suelo no alterado obtenidas en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022

Área de estudio	Muestras	Repeticiones	Total de muestras
AP1	3	2 repeticiones (febrero y agosto)	6 muestras
AP2	3	1 repeticiones (agosto)	3 muestras
AP3	3	Adicional (junio)	3 muestras
APj1	3	2 repeticiones (febrero y agosto)	6 muestras
APj2	3	1 repeticiones (agosto)	3 muestras
APj3	3	Adicional (junio)	3 muestras

3.6.2. Diseño de muestreo de suelo para determinar la textura y las características químicas del suelo

Para el muestreo de suelos se establecieron 3 áreas de muestreo tanto para la cobertura de pino (AP1, AP2 y AP3) como en la de pajonal (APj1, APj2 y APj3), tal como se muestra en la Figura 6. En cada una de estas áreas se extrajeron 29 submuestras distribuida según su posición topográfica en la pendiente del suelo (alta, media y baja), en un tramo de 100 m, siguiendo un recorrido en zigzag, con una separación de 5 m

entre punto de muestreo. Esto permitió obtener un total de 87 submuestras por área (Figura 4 y 5).

Una vez recolectadas, las submuestras fueron colocados en un balde de 25 l para su homogeneización, a partir de la cual se extrajeron muestras compuestas de aproximadamente 1 kg. De este modo, se obtuvieron tres muestras por área de muestreo. Este procedimiento se llevó a cabo durante los meses de febrero, junio (muestreo adicional) y agosto 2022. Al finalizar el período de muestreo, se tuvo un total de 30 muestras, 15 muestras en áreas con cobertura de pino (AP1 y AP2 con dos repeticiones y AP3 como muestras adicionales) y 15 muestras del área con cobertura de pajonal (APj1 y APj2 con dos repeticiones y APj3 como muestra adicional), tal como se muestra en el Anexo 4. La descripción detallada de las muestras se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 7. Descripción de muestras de suelo obtenidas en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022

Área de estudio	Muestras	Repeticiones	Total de muestras
AP1	3	2 repeticiones (febrero y agosto)	6 muestras
AP2	3	2 repeticiones (febrero y agosto)	6 muestras
AP3	3	Adicional (junio)	3 muestras
APj1	3	2 repeticiones (febrero y agosto)	6 muestras
APj2	3	2 repeticiones (febrero y agosto)	6 muestras
APj3	3	Adicional (junio)	3 muestras

3.6.3. Diseño para el muestreo de agua

Para el muestreo de agua, el río Mozojcancha, ubicado en la microcuenca Toccto, fue dividido en tres secciones, considerando la ubicación de las áreas cubiertas con pino, antes, durante y después de dicha cobertura. En total se recolectaron 18 muestras de agua distribuidas de la siguiente manera (Figura 7): tres puntos de muestreo antes del área cubierta con pino, tomando en consideración la zona donde está instalada estancias de cría de ovino y vacuno, así como el ingreso al área forestada; dos puntos al lado del área forestada y un punto a la salida de las áreas cubiertas de pino. En cada punto se realizaron tres repeticiones. La detallada de los puntos de muestreo se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 8. Puntos de muestreo del agua superficial en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2021-2022

Código	Detalles	Cantidad de muestras	Repetición	Total de muestras
PM1	Punto de inicio de muestreo	1	3	3
PM2	Ubicado a aproximadamente 838,28 m del P1	1	3	3
PM3	Ubicado a aproximadamente 3536,24 m del P2	1	3	3
PM4	Ubicado a aproximadamente 193,35 m del P3	1	3	3
PM5	Ubicado a aproximadamente 896.02 m del P4	1	3	3
PM6	Ubicado a aproximadamente 1054,54 m del P5	1	3	3

3.7. Análisis de datos

Con los datos obtenidos se procedió a realizar el análisis estadístico utilizando el software Paleontological Statistics-PAST versión 4.04 (Hammer et al., 2001). La selección de las pruebas estadísticas se basó en el tipo de investigación, los objetivos empleados y el número de tratamientos a evaluar definidos por la cobertura (pajonal y pino) y las secciones del río.

Adicionalmente, se consideraron cuatro criterios estadísticos fundamentales que los datos y el diseño muestral debían cumplir (distribución normal de los datos, homogeneidad de variancia, independencia y aleatoriedad de las muestras). Estos criterios fueron evaluados para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos mediante el análisis estadístico.

La distribución normal de los datos se evaluó mediante la prueba Shapiro Wilk ($p > 0.05$), y la homogeneidad de variancia mediante la prueba de Levene ($p > 0.05$), ambas aplicadas en el Software PAST 4.04. En cuanto a la independencia de las muestras y aleatoriedad del muestreo, estas fueron analizadas a partir del diseño del estudio y los

criterios del investigador, dado que no existen pruebas estadísticas específicas para su verificación directa.

Como resultado del análisis, se determinó que los datos no cumplen con los supuestos necesarios para aplicar pruebas paramétricas. Por ello, optó por pruebas no paramétricas: Mann-Whitney ($p < 0,05$), para comparar dos grupos independientes (coberturas de pino y pajonal), y la prueba de Kruskal Wallis ($p < 0,05$), para comparar más de dos grupos (secciones del río antes, durante y después del área con cobertura de pino en la microcuenca Toccto).

La prueba no paramétrica de Mann-Whitney ($p < 0,05$) se empleó para evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las coberturas de pino y pajonal. Por su parte, la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis ($p < 0,05$) se utilizó para determinar si existen diferencias estadísticas entre las muestras de aguas recolectadas en las tres secciones del río de la microcuenca Toccto: antes, durante y después del área con cobertura de pino.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Capacidad de retención de agua del suelo

Tabla 9. Valor promedio de las constantes de humedad y la capacidad de retención del disponible en el suelo por tipo de cobertura, microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022

Características fisicoquímicas	Pajonal	Pino	u	p-valor
Capacidad de campo del suelo (%)	48,82	43,28	42,5	0,0939
Punto de marchitez total (%)	26,07	23,13	43,0	0,0998
Capacidad de retención de agua disponible (m ³ /ha)	357,81	325,98	47	0.1571

La Tabla 9, indica que existe una variación en los valores de las constantes de humedad de la capacidad de retención del agua del suelo y la capacidad de retención del agua disponible en el suelo de las áreas con cobertura de pino y pajonal. Asimismo, el pajonal obtuvo el mayor valor en comparación con el pino en la capacidad de campo (48,82 %), el punto de marchitez total (26,07 %) y en la capacidad de retención del agua disponible (357,81 m³/ha). Además, una vez realizada la prueba no paramétrica de Mann-Whitney ($p < 0,05$), el p-valor resultó superior a 0,05. De acuerdo con dichos resultados, se comprueba que no existe diferencias estadísticas por tipo de vegetación (pino y pajonal).

4.2. Características fisicoquímicas del suelo y análisis estadístico

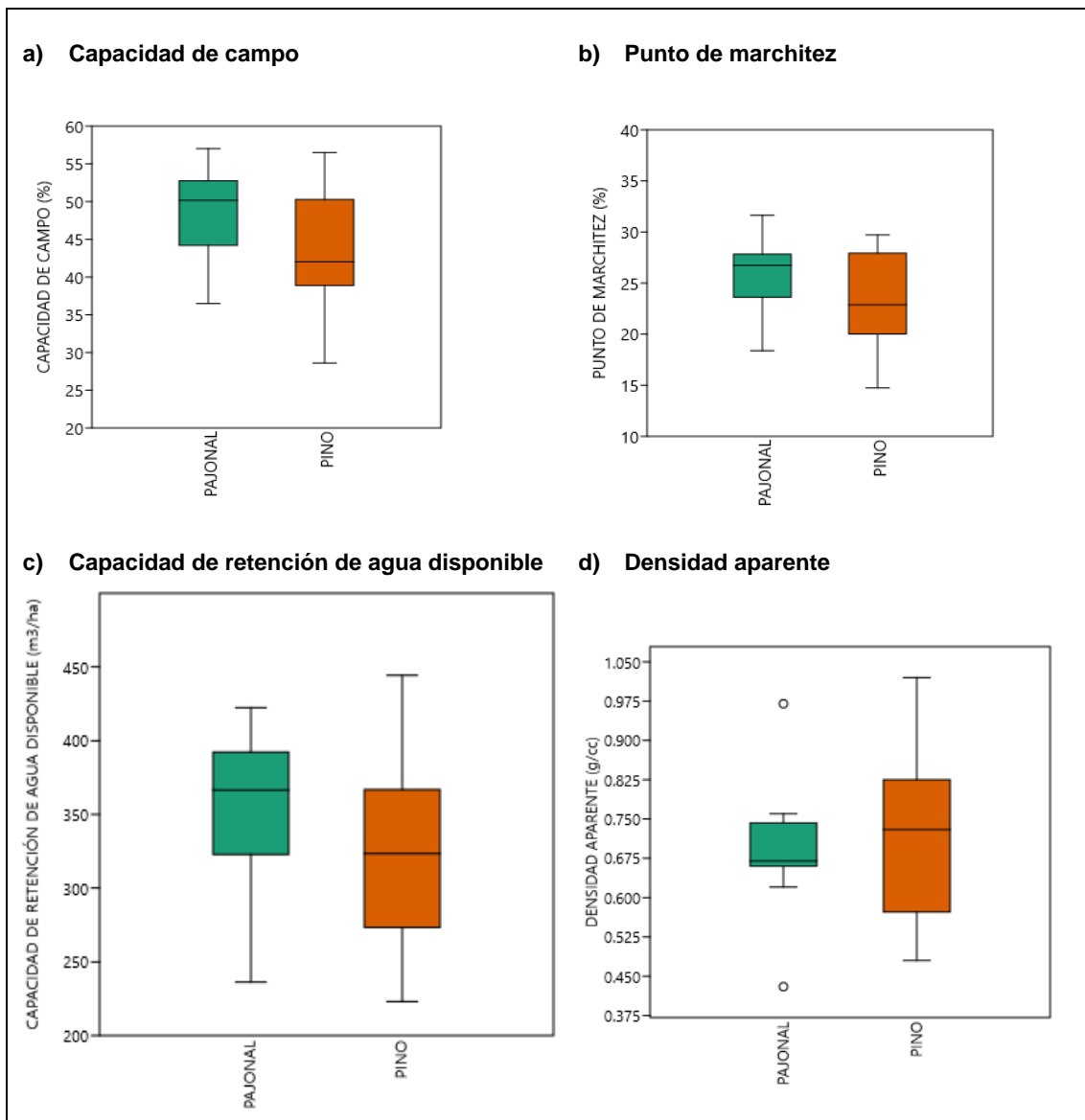
Tabla 10. Valor promedio de las características fisicoquímicas del suelo por tipo de cobertura, microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022

Características fisicoquímicas	Pajonal	Pino	u	p-valor
Densidad aparente (g/cc)	0,69	0,72	61,0	0,5432
Densidad real (g/cc)	1,50	1,69	21,5	0,0039**
Porosidad (%)	55,86	58,08	59,0	0,4704
Potencial de hidrogeno (pH)	4,85	4,94	59,5	0,0286*
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0,051	0,052	88,5	0,2992
Materia orgánica (%)	13,28	12,78	91,5	0,3951
Nitrógeno total (%)	0,65	0,63	91,5	0,3950
Contenido de fosforo disponible (ppm)	6,72	5,40	81,0	0,1982
Contenido de potasio disponible (ppm)	122,73	106,33	63,0	0,0421*
Capacidad de intercambio catiónico (CIC, Cmol (+)/kg)	25,78	24,96	70,5	0,0852
Calcio intercambiable (Ca ⁺⁺ , Cmol (+)/kg)	2,17	1,99	93,0	0,4306
Magnesio intercambiable (Mg ⁺² , Cmol (+)/kg)	0,63	0,59	104,0	0,7390
Potasio intercambiable (K ⁺² , Cmol (+)/kg)	0,31	0,26	60,0	0,0309*
Sodio intercambiable (Na ⁺² Cmol (+)/kg)	0,12	0,12	99,0	0,5845
Acidez intercambiable (Al ⁺³ +H ⁺ , Cmol (+)/kg)	3,22	2,90	69,5	0,0779
Saturación de bases del suelo (%)	12,53	11,8	99,0	0,5846

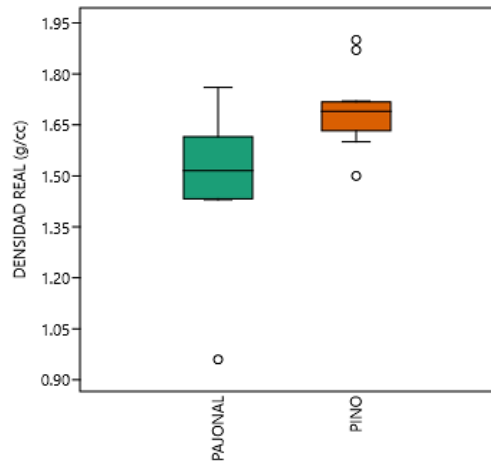
En el p-valor de Mann Whitney (u), se colocó (*) si $p < 0,05$ y (**) si $p < 0,01$.

La Tabla 10, indica que existe una variación en los valores de las características fisicoquímicas de las muestras de suelos recolectadas en las áreas con cobertura de pino y pajonal. A excepción del sodio intercambiable, que permaneció constante en los suelos de ambas coberturas. Por otra parte, una vez realizada la prueba no paramétrica de Mann-Whitney ($p < 0,05$), el p-valor resultó superior a 0,05. De acuerdo con dichos resultados, se comprueba que no existe diferencias estadísticas por tipo de vegetación (pino y pajonal). A diferencia de la densidad real, el potencial de hidrógeno, el potasio disponible y el potasio intercambiable, que presentaron diferencias estadísticas entre ambas coberturas. En la cual, el pino fue superior al pajonal, en cuanto a la densidad real y el potencial de hidrógeno del suelo, obteniendo valores de 1,69 g/cc y 4,94. A diferencia del pajonal, que fue superior en el contenido de potasio disponible y potasio intercambiable del suelo, con valores de 122,73 ppm y 0,31 Cmol(+)/kg, respectivamente. Los valores del carbonato de calcio no se incluyeron en la tabla, ya que resultaron nulos para ambas coberturas (Anexo 14.1).

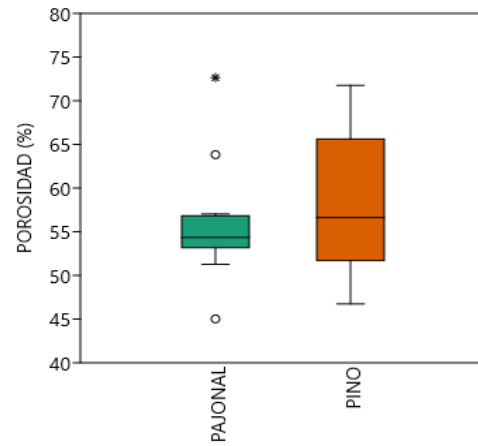
La Figura 8, muestra una comparación entre las características fisicoquímicas del suelo cubierto con pajonal y el pino. En la cual, el pajonal presenta superioridad en las características físicas de capacidad de campo, capacidad de retención de agua disponible y en las características químicas de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico, potasio y la acidez intercambiable. Mientras tanto, el pino presenta superioridad en las características físicas de densidad aparente, densidad real y porosidad. Asimismo, se aprecia superioridad en las características químicas del pH, conductividad eléctrica y la saturación de bases. A diferencia de la característica física del punto de marchitez y las características químicas de calcio intercambia, magnesio intercambiable y saturación de bases que fueron similares en ambas coberturas.



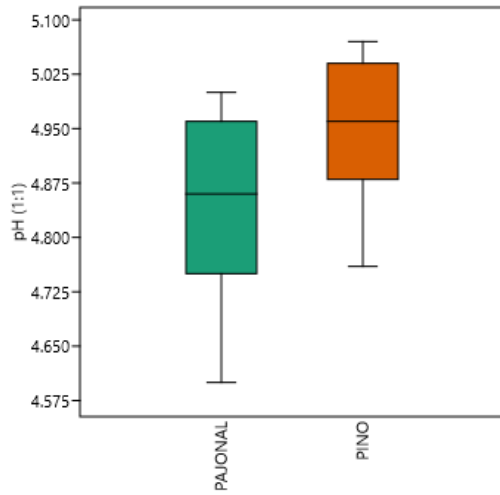
e) Densidad real



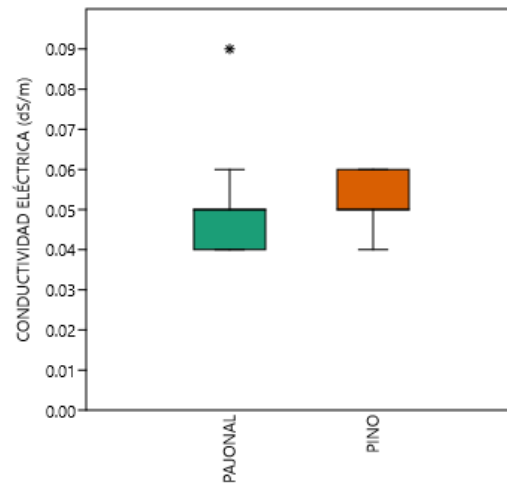
f) Porosidad



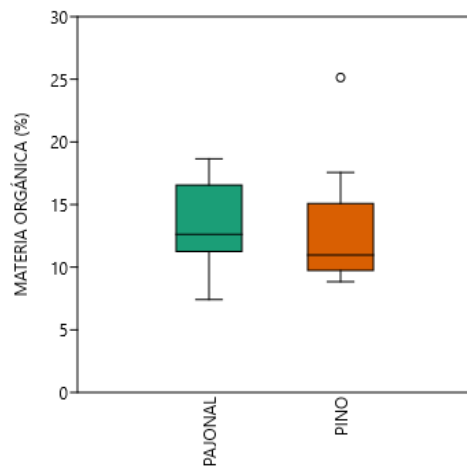
g) Potencial de hidrógeno



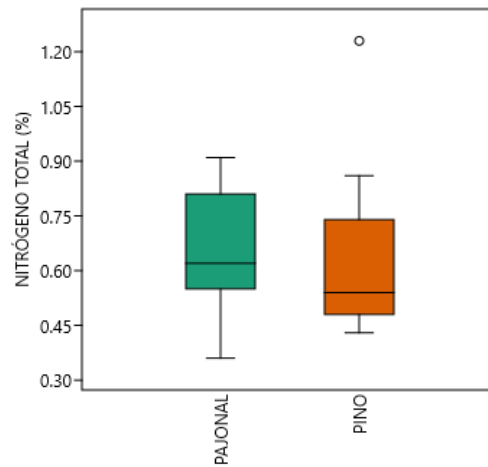
h) Conductividad eléctrica



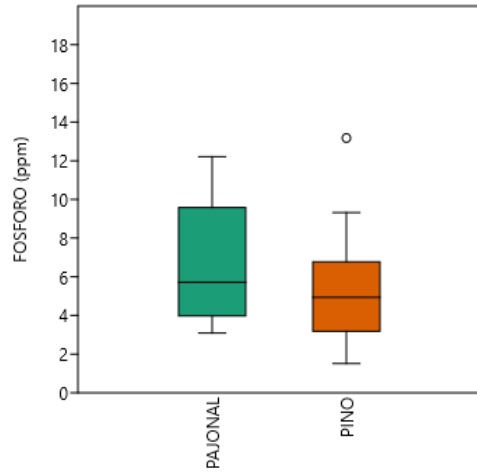
i) Materia orgánica



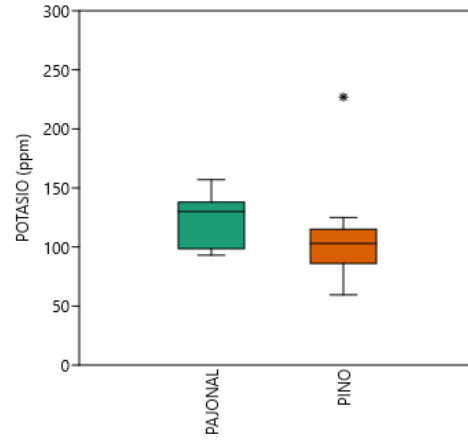
j) Nitrógeno total



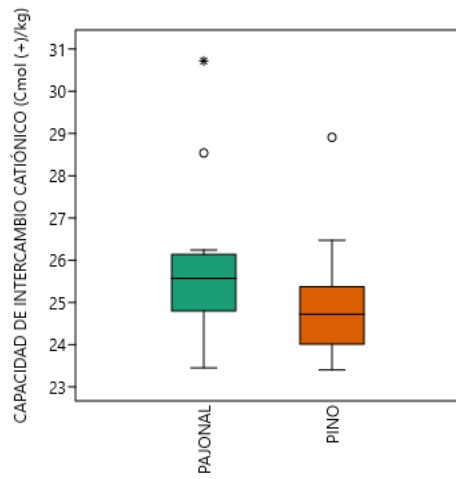
k) Fósforo disponible



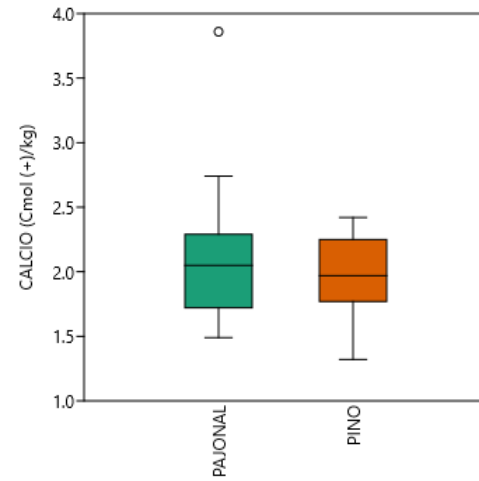
l) Potasio disponible



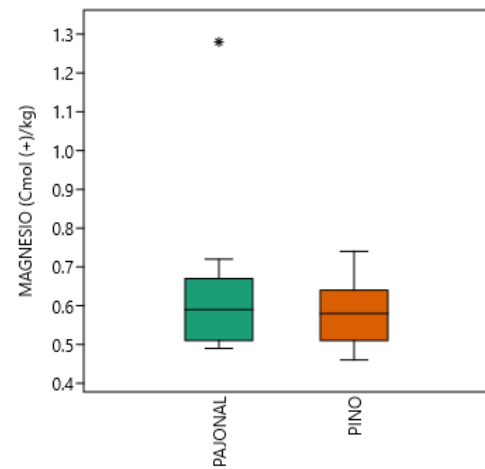
m) Capacidad de intercambio catiónico



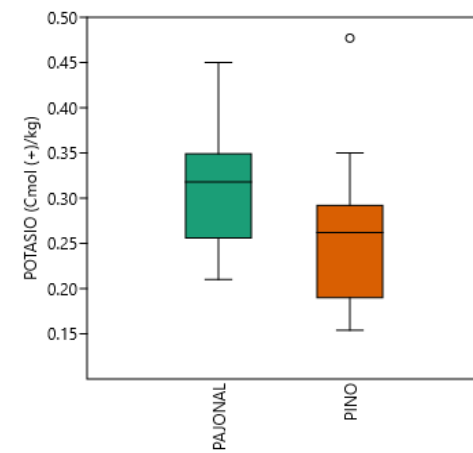
n) Calcio intercambiable



o) Magnesio intercambiable



p) Potasio intercambiable



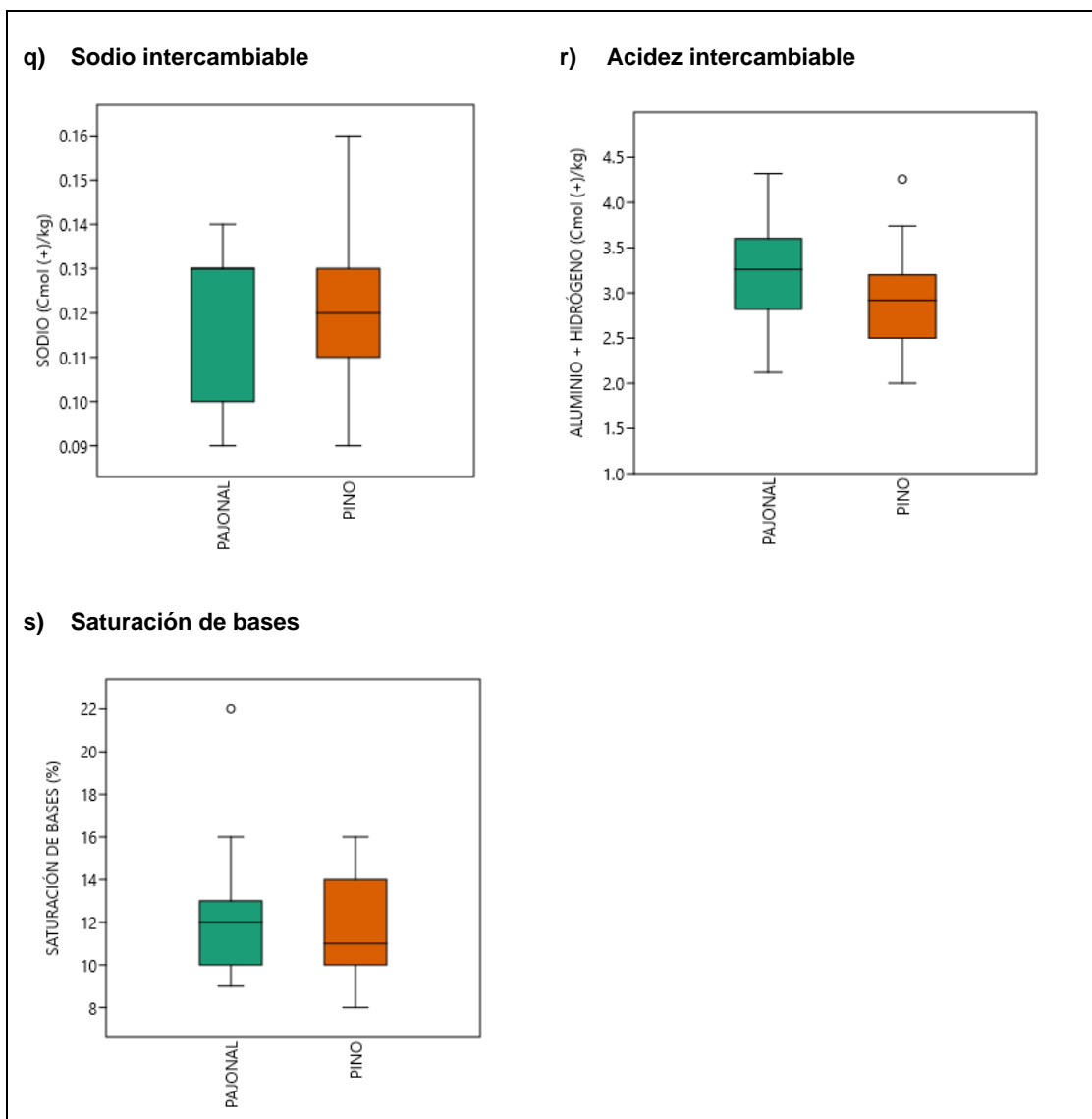


Figura 8. Cajas y bigotes de las características físicoquímicos evaluados y la capacidad de retención de agua disponible del suelo con cobertura de pino y pajonal, microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022

La Tabla 9 muestra que la capacidad de campo en promedio de los suelos en las áreas cubiertas con pajonal y pino fue de 48,82 % y 43,28 %, respectivamente. Estos valores, al superar el umbral del 30,00 %, permiten clasificar dichos suelos como de alta capacidad de campo (Garrido, 1994). Este comportamiento estaría relacionado con las altas concentraciones de materia orgánica presentes en los suelos de Toccto, atribuibles al aporte continuo de materia vegetal por parte del pajonal, acumulado durante varios años. Según los datos de la Tabla 10, el contenido promedio de materia orgánica fue de 13,28 % para el pajonal y 12,78 % para el pino. Estos niveles de materia orgánica probablemente contribuyeron a mejorar las características físicas del suelo, tales como la estructura del suelo y su capacidad de almacenamiento de agua. En este contexto,

Minasny & McBratney (2018), señalan que es ampliamente aceptado que la capacidad de retención de agua disponible en el suelo puede mejorarse mediante el aumento del contenido de materia orgánica, la cual cumple funciones como la retención de la humedad y la mejora de las características físicas y químicas del suelo (Torrez & Chinchilla, 2006). Asimismo, estas características estarían influenciadas por la textura con la que cuenta los suelos de Toccto, los cuales, de acuerdo con el Anexo 14.1, corresponden a suelos de textura franca y suelos orgánicos. Esta condición textural resulta favorable para la formación de estructura edáfica, lo que a su vez favorece los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (Jordán, 2005). Al respecto, Garrido (1994), indica que la capacidad de campo, definida como la cantidad de agua que el suelo puede retener una vez alcanzada el drenaje libre, está estrechamente relacionado con su textura y estructura (Garrido, 1994).

Los resultados obtenidos son consistentes con los reportados por Páez-Bimos et al. (2022), quienes concluyen que la mayor retención de agua en los suelos bajo cobertura vegetal tipo almohadilla o acolchada puede mejorar el almacenamiento de agua en el suelo. Asimismo, puede regular los flujos de agua durante eventos de lluvia prolongada, en mayor medida que en suelos con cobertura de gramíneas. Además, estos autores resaltan que las propiedades hidráulicas del suelo difieren según el tipo de vegetación, lo que muestra la importancia de los tipos de cobertura en la hidrología del suelo.

Partiendo del hecho de que la capacidad de campo de los suelos refleja la cantidad de agua que el suelo puede retener contra la fuerza de gravedad (Garrido, 1994), se puede deducir que los suelos con cobertura de pajonal presentan una mayor capacidad de retención de agua que aquellos con cobertura de pino. Esto indicaría que la presencia del pino en la zona de Toccto, no contribuye significativamente a mejorar la capacidad de campo de los suelos. En consecuencia, ambientalmente más recomendable conservar los ecosistemas de pajonal que introducir plantaciones de pino en dicha zona.

Comparativamente, entre ambas coberturas se observan diferencias numéricas que sugieren que la cobertura de pajonal tiene un efecto más positivo en la capacidad de retención del agua que la cobertura de pino. De acuerdo a De la Cruz et al. (2020), los pajonales en Ayacucho, están representados por *Festuca brevipaniculata*, *Festuca dolichophylla*, *Festuca procera*, *Jarava ichu*, *Muhlenbergia angustata*, *Muhlenbergia ligularis*, *Aciachne pulvinata*, *Calamagrostis heterophylla*, *Calamagrostis macrophylla*, *Calamagrostis macrophylla*, *Calamagrostis vicunarum*, *Poa annua*, *Poa horridula*, *Stipa brachyphylla*, *Stipa obtusa*, *Alchemilla diplophylla*, *Alchemilla pinnata*, *Azorella crenata*,

Baccharis incarum, *Geranium sessiliflorum*, *Lepechinia meyenii*. La presencia de estas especies en el medio contribuye de diversas formas a la hidrología de la zona, ya que presenta una producción constante de carbono orgánico al suelo, sin duda con más frecuencia que en los pinos. Esta materia orgánica favorece la formación de agregados edáficos mediante la organización de partículas primarias en estructuras secundarias, mejorando así la porosidad y, por ende, la infiltración y retención de agua en el perfil del suelo. En contraste, los pinos presentan una distribución más dispersa en el campo. Sus características radicales, el período de crecimiento y la baja frecuencia de incorporación de residuos orgánicos dificultan la retención de partículas finas en el suelo, lo que repercute en una menor capacidad de campo comparada con las coberturas de pajonal.

En relación con el punto de marchitez del suelo, los resultados presentados en la Tabla 9, indican que los suelos con cobertura de pajonal presentan valores superiores a los registrados en suelos con cobertura de pino, con promedio de 26,07 % y 23,13 %, respectivamente. Esta variación se debe al tipo de cobertura vegetal y a factores del medio, tales como el poder evaporación de la atmósfera, la velocidad del viento, entre otros (Porta et al., 2003). Además, Jordán (2005) y Garg et al. (2020) señalan que la textura del suelo influye significativamente en la variación del punto de marchitez, ya que determina la magnitud de la presión negativa del agua en los poros del suelo, lo que impide su absorción por las raíces cuando el contenido de humedad desciende a ciertos niveles críticos. Adicionalmente, Garg et al. (2020) ha demostrado que la morfología de las raíces cumple un papel relevante en la tolerancia al estrés hídrico. En condiciones donde el agua se encuentra fuertemente retenida en la matriz del suelo, las raíces relativamente más gruesas presentan dificultad para absorberla. Por el contrario, la formación de pelos radicales finos mejora la capacidad de absorción de agua de las plantas, incrementando el tiempo de supervivencia en ambientes con limitación de agua.

El análisis del punto de marchitez, entendido como el contenido de humedad del suelo a partir del cual las plantas comienzan a marchitarse y pueden recuperarse, si se colocan en una atmósfera húmeda (Jáuregui & Chávez, 2006), resulta de suma importancia para la restauración de ecosistemas y la gestión forestal. Al respecto, Li et al. (2021) demostraron que en regiones áridas y semiáridas, la humedad profunda del suelo bajo cobertura forestal es inferior o cercano al promedio del punto de marchitez permanente, lo que podría comprometer la sostenibilidad de los procesos de restauración de los ecosistemas. En contraste, los pastizales tienden a conservar mejor la humedad del suelo y presentan menor tendencia a alcanzar el punto de marchitez

permanente, por lo que se consideran una alternativa más adecuada para la restauración de ecosistemas, especialmente en zonas con precipitaciones inferiores a 480 mm.

La capacidad de retención del agua disponible, expresada en metros cúbicos por hectárea (m^3/ha), fue de 357,81 m^3/ha en suelos con cobertura de pajonal y 325,98 m^3/ha en suelos con cobertura de pino. La diferencia observada podría atribuirse al tipo de cobertura vegetal, ya que los suelos cubiertos por pastizales como el pajonal, suele retener y reponer agua de manera más eficiente que aquellos suelos con cobertura de pino. En suelos forestados con pino, la disponibilidad de agua suele ser menor y la recarga del agua subterránea disminuye de manera significativa. En concordancia, Jiang et al. (2022), en un estudio en la que se midieron los recursos hídricos del pastizal, se determinó que la capacidad de retención de agua disponible puede alcanzar valores altos de hasta 218 mm que equivale a 2180 m^3/ha . Por el contrario, la capacidad de retención del agua bajo las plantación de pino es considerable menor (Stackelberg et al., 2007). Asimismo, Yang et al. (2018) reportaron que el tiempo de retraso en la reposición del agua presente en el suelo por efecto de las precipitaciones, en los primeros 20 cm de profundidad, fue significativamente menor en los pastizales naturales (26,4 h) en comparación con el pino chino (81,8 h). La tasa de reposición del agua del suelo también fue mayor en los pastizales naturales, con un valor de 0,30 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$, frente a 0,09 $\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ en suelos con cobertura de pino. En lo que respecta a la eficiencia de reposición por lluvias al agua del suelo, el pastizal natural presento un valor superior (35,1 %) respecto al pino chino (4,2 %). Estos resultados, evidencian que suelos con cobertura de pastizales naturales permiten una reposición del agua más rápida y fácil, mientras que los suelos con cobertura de pino chino muestran una menor capacidad de recarga de agua por precipitación, en comparación con otros tipos de vegetación. Asimismo, remplazar la cobertura de pajonal por plantaciones de pino reduce la capacidad de retención del agua en el suelo. En suelos con plantaciones de pino de 20 a 25 años la retención del agua disminuye entre un 39 % y 63 %, dependiendo de la presión aplicada (Farley et al., 2004). Esto sugiere que, a mayor permanencia del pino en ecosistemas de pajonal, menor será la capacidad de retención del agua, lo que compromete la provisión de agua dulce proveniente de dicho ecosistema. Adicionalmente, la variabilidad en la capacidad de retención del agua del suelo estaría relacionado con el contenido de materia orgánica. En ese sentido, la Tabla 10 muestra que el contenido de materia orgánica en suelos con cobertura de pajonal fue de 13,28 %, mientras que en el pino fue de 12,78 %. La materia orgánica contribuye a mejorar las características

físicas del suelo, influyendo positivamente en su capacidad de retención del agua. Yang et al. (2014) y Deng et al. (2023) señalan que la acumulación de la materia orgánica a lo largo del tiempo desempeña un papel clave en el control de la retención del agua, debido principalmente a su influencia sobre la estructura del suelo y su capacidad de adsorción del agua. Además, Farley et al. (2004) demostraron que, en ecosistemas de pajonal, la pérdida de la capacidad de retención de agua después de la forestación está asociado a la disminución del carbono orgánico en el suelo. Por lo tanto, consideran que tanto la acumulación de carbono orgánico en el suelo y la retención del agua responden rápidamente al cambio de cobertura del suelo.

La densidad aparente de los suelos cubiertos con pino es superior en comparación con aquellos bajo cobertura de pajonal, registrando valores promedios de 0,72 g/cc y 0,69 g/cc, respectivamente. Estos resultados, considerando que un aumento en la densidad aparente afecta negativamente la capacidad de retención de agua del suelo (Quichimbo, 2012), evidencian diferencias funcionales entre ambas coberturas. En ese sentido, los suelos con cobertura de pajonal presentan una mayor capacidad de retención del agua que el pino. El valor más bajo de la densidad aparente en los suelos con cobertura de pajonal se relaciona con un contenido mayor de materia orgánica en el suelo (Jordán, 2005 y Núñez, 1981), los cuales para este caso registraron promedios de 13,28 % en el pajonal y 12,78 % en el pino (Tabla 10). Esta diferencia, aunque modesta, podría haber influido en la capacidad de retención de agua (Quichimbo, 2012) y consecuentemente en el valor de la densidad aparente del suelo. Asimismo, se puede inferir, que los valores de la densidad aparente del suelo fueron afectados por el material parental que le ha dado origen, degradación de la estructura y su nivel de compactación (Jordán, 2005 y Núñez, 1981).

Ambos tipos de suelo presentan valores de densidad aparente cercanos a 1,0 g/cc, lo cual indica que ambos tipos de suelos presentan una estructura favorable (Jordán, 2005). Además, dado que sus valores promedio se encuentra por debajo de del umbral crítico de 1,40 g/cc, pueden considerarse aptos para el crecimiento vegetal (Gómez, 2013), siendo los suelos con cobertura de pajonal las que ofrecen condiciones más favorables. En todas las comparaciones realizadas, se observa consistentemente un mayor valor de la densidad aparente en los suelos con cobertura de pino en comparación con el pajonal. Estos resultados coinciden con investigaciones previas sobre las propiedades físicas y químicas del suelo tras cambios en la cobertura vegetal y uso del terreno, las cuales indican que las coberturas antrópicas, como las

plantaciones de pino, tienden a incrementar la densidad aparente del suelo (Quichimbo, 2012).

Dado que la densidad aparente es un indicador de la calidad del suelo y del funcionamiento ecosistémico. Además, de que sus valores elevados se asocian con condiciones desfavorables para el desarrollo radicular, baja aireación y efectos negativos sobre la función hidrológica como la reducción de la infiltración (Gómez, 2013), se puede concluir que la sustitución del pajonal por el pino no resulta adecuada desde la perspectiva de la conservación del agua, la salud del suelo y la biodiversidad edáfica. En este mismo sentido, Mosquera et al. (2022) señalan que la forestación de los ecosistemas de pastizales altoandinos (ecosistema de pajonal) con especies arbóreas exóticas, especialmente el pino, reduce el almacenamiento de agua en el suelo. Además, disminuir el rendimiento hídrico y de afectar negativamente la capacidad de regulación del caudal.

Los estudios revisados y resultados obtenidos confirman que sustitución del pajonal por el pino generan impactos significativos sobre la capacidad de retención de agua del suelo. Además, considerando que las muestras analizadas corresponden a coberturas de pino con edades de entre 7 y 10 años, se puede inferir que estos afectos podrían intensificarse con el tiempo si la cobertura arbórea se mantiene o se expande.

Con respecto a la densidad real de los suelos con cobertura de pajonal y pino, se obtuvieron valores promedio de 1,50 g/cc y 1,69 g/cc, respectivamente. La variación observada en estos resultados se debe, en general, a diferencias en el contenido de materia orgánica presente en el suelo (Gómez, 2013 y Núñez, 1981), los cuales para este caso registraron promedios de 13,28 % en el pajonal y 12,78 % en el pino (Tabla 10). Asimismo, la densidad real está influenciada por el tipo de material parental, la presencia de ciertos minerales primarios en la muestra, el grado de compactación y, parcialmente, por la clase de textura (Núñez, 1981).

Los resultados indican además que los suelos evaluados presentan un alto contenido de materia orgánica, con valores promedio de 13,28 % en los suelos con cobertura de pajonal y 12,78 % en los de pino. Debido a ello, la densidad real se encuentra dentro del rango típico para suelos con alta materia orgánica, que oscila entre de densidad real de 1,2 y 1,7 gr/cc (Navarro & Navarro, 2013).

Por otro lado, los resultados obtenidos contradicen lo señalado por Navarro & Navarro (2013), quienes afirman que en suelos muy ricos en materia orgánica, la densidad real

puede disminuir del valor casi fijo de 2,65 g/cc a aproximadamente 2,40 g/cc en los horizontes (Navarro & Navarro, 2013). Sin embargo, los valores registrados en los suelos con cobertura de pajonal y pino son más bajos, lo que también contradicen los valores propuestos por Núñez (1981), quien reporta una densidad real de 1,65 g/cc para suelos con alto contenido materia orgánica.

Considerando los factores que influyen en la densidad real, tales discrepancias pueden considerarse razonables. En este contexto, se pueden afirmar que la densidad real de los suelos muy ricos en materia orgánica en la zona de Toccto puede reducirse significativamente, desde el valor teórico de 2,65 g/cc a aproximadamente 1,50 g/cc., como refleja los resultados del presente estudio.

Los resultados en cuanto a la porosidad total evidencian que los suelos con cobertura de pino presentan valores superiores a los del pajonal, con valores de 58,08 % y 55,86 %, respectivamente. Esta diferencia podría atribuirse a la influencia de la textura y estructura del suelo bajo cobertura de pino (Gómez, 2013 y Jordán, 2005), factores que se han visto favorecidos por el alto contenido de materia orgánica presente tanto en suelos con cobertura de pajonal como en los de pino (Tabla 10). Además, del contenido de materia orgánica, es probable que también influyan el tipo e intensidad del cultivo, las prácticas de labranza y otras propiedades del suelo y su manejo. En el área de estudio, se observa que los pinos fueron plantados sobre suelos con cobertura de pajonal rellenados con material de desmonte, producto de la ampliación de la carretera Ayacucho-Cangallo. Esto habría generado una mezcla entre el material parental y el suelo orgánico, lo cual podría explicar el mayor valor de la porosidad total, pero también el menor contenido de materia orgánica en los suelos con cobertura de pino en comparación con los suelos con cobertura de pajonal. En este sentido, los suelos con cobertura de pino presentan una mejor disposición de sus partículas respecto a los del pajonal. Sin contradecir lo antes manifestado, dado que los valores promedios de porosidad total de ambos tipos de cobertura se encuentran al redor del 60 %, se puede inferir que ambos presentan suelos con muy buena estructura (Gómez, 2013). El cual ha sido favorecido por el alto contenido de materia orgánica de los suelos de pajonal y pino (Tabla 10). Este hallazgo concuerda con lo señalado por Sánchez (1981) y Jordán (2005), quienes destacan que la materia orgánica se encuentra relacionada directamente con la mejora de la estructura del suelo.

Considerando lo expuesto, es factible deducir que los suelos que poseen cobertura de pino y pajonal poseen características físicas adecuadas, lo que podría favorecer

condiciones óptimas para la aireación, permeabilidad y retención del agua (Navarro & Navarro, 2013). Sin embargo, para obtener conclusiones más precisas, no basta con conocer el volumen total de los poros, sino que es necesario clasificar los poros según su tamaño y función. En particular, la cuantificación de los microporos, aquellos con diámetro de 3 a 30 micras, sería fundamental para determinar la capacidad de retención de agua de los suelos evaluados (Gómez, 2013).

Los resultados del análisis de laboratorio indican, que los suelos de áreas cubiertas con pajonal y pino presentan diferentes tipos de textura. Estos han sido clasificados como suelos de textura franco y suelo de tipo orgánico, tanto para el caso del pajonal como del pino. Esta clasificación sugiere que los suelos bajo ambas coberturas poseen buenas condiciones físicas y nutritivas, así como un alto potencial productivo (Villarroel, 1988). La textura, en particular, refleja una capacidad favorable para la retención de humedad (Villarroel, 1988).

En cuanto a los suelos clasificados como orgánicos, esta denominación se justifica por su contenido de materia orgánica, poco menos del 30 %, lo cual se ajusta a los criterios establecidos por Hodgson (1987). Este nivel de materia orgánica está relacionado con la capacidad del suelo para modificar sus propiedades físicas, en función de la proporción de arcilla que contiene (Thompson & Troeh, 2021). Esto se debe a que, para recubrir adecuadamente una mayor superficie específica, como la que presentan las partículas de arcilla en comparación con las más gruesas, se requiere una mayor cantidad de materia orgánica (Thompson & Troeh, 2021). Debido a estas características, la humedad másica (kg de agua /kg de suelo seco) en este tipo de suelos, puede superar el 100 % (Porta et al., 2003). Por consiguiente, es razonable inferir que los suelos con cobertura de pino y pajonal poseen un alto potencial de almacenamiento de agua.

Los resultados del análisis del contenido de materia orgánica en los suelos evaluados (pajonal y pino), muestran valores promedio de 13,28 % para el pajonal y 12,78 % para el pino. Ambos valores superan el umbral del 8,00 %, lo que indica una concentración muy alta de materia orgánica (Villarroel, 1988). Si bien el contenido en el suelo con cobertura de pajonal es ligeramente superior al del pino, la diferencia no es estadísticamente significativa. El valor relativamente bajo de materia orgánica en los suelos con cobertura de pino podría atribuirse a que estos suelos resultan de una mezcla entre el suelo original del pajonal y material de desmonte o material de descarte, como se señaló en secciones anteriores. Además, es posible que la presencia del pino no haya contribuido significativamente al aporte de material vegetal al suelo, que es uno de

los principales factores que favorecen el incremento de la materia orgánica (Porta et al., 2003 y Jordán, 2005). En ecosistemas forestales, la materia orgánica se incorpora al suelo a través del mantillo superficial, que está compuesto por hojarasca, ramas, restos vegetales, deyecciones y otros residuos orgánicos. De acuerdo con observaciones de campo, el mantillo es más evidente en pinos adultos que en pinos jóvenes, lo que sugiere una limitada renovación del aporte orgánico durante las primeras etapas de desarrollo de las plantaciones de pino. Esta situación puede explicar la baja diferencia observada entre coberturas y está en concordancia con los resultados obtenidos en el laboratorio. Por otro lado, la calidad de la biomasa muerta también influye en el contenido de materia orgánica del suelo, ya que determina la velocidad de descomposición. Cuanto más frágil se la materia orgánica, más rápida será su descomposición, lo que favorece el flujo de nutrientes y el aporte energético a los organismos del suelo, contribuyendo así a la productividad del ecosistema (Porta et al., 2003). Este proceso está relacionado, además con otros factores como el pH del suelo, la relación carbono/nitrógeno (C/N), el clima, el tipo de suelo, el manejo del ecosistema, el uso del suelos, entre otros (Núñez, 1981, Carbonero, 1984 y Parra et al., 2003). Por consiguiente, se puede inferir que, bajo las condiciones estudiadas, la cobertura de pajonal proporciona una biomasa vegetal de mejor calidad que el pino, lo cual se traduce en un mayor contenido de materia orgánica en el suelo.

Cabe señalar que estos resultados obtenidos difieren de los reportados en el estudio realizado en los suelos del Austro ecuatoriano, microcuenca del río Zhurucay, ubicada entre los 3400 a 3900 m.s.n.m. En este estudio se ha observado que los suelos bajo la cobertura de pino presentan un aumento en el contenido de materia orgánica en comparación con el pajonal (Quichimbo, 2012). De manera similar, un estudio realizado en los suelos del centro poblado de Bella Andina, distrito de Chalamarca, provincia de Chota, Cajamarca, Perú, situado a una altitud de 3650 m.s.n.m., reportó un incremento de materia orgánica en suelos con cobertura de pino y una reducción en los suelos de pajonal (Díaz, 2023).

Asimismo, los resultados del presente estudio contrastan con los obtenidos en la provincia de Luya, Amazonas, Perú, el cual se encuentra a una altitud de 2750 m.s.n.m. En la cual, se encontró que los suelos bajo cobertura de pino presentaban un mayor contenido de materia orgánica que aquellos con cobertura de vegetación natural (Guevara, 2022).

Los resultados obtenidos muestran que el contenido promedio de nitrógeno total en los suelos evaluados es de 0,65 % para el pajonal y 0,63 % para el pino. Ambos valores superan el umbral de 0,30 %, lo que indica un contenido muy alto de nitrógeno total, de acuerdo con las clasificación propuesta por Villarroel (1988). El mayor contenido de nitrógeno total en los suelos con cobertura de pajonal, en comparación con el suelo con cobertura de pino, se relaciona directamente con el contenido de materia orgánica del suelo (Carbonero, 1984), el cual presenta un comportamiento similar (Tabla 10). Esta relación se explica por el hecho de que la materia orgánica contiene típicamente alrededor de 5 % de nitrógeno orgánico en su composición (Villarroel, 1988). Además, más del 98 % del nitrógeno total del suelo se encuentra asociada a la materia orgánica (Parra et al., 2003). Asimismo, entre el 85 % y 95 % del nitrógeno total del suelo corresponde específicamente a nitrógeno orgánico (Fassbender, 1975). Por lo tanto, cualquier cambio en el contenido de materia orgánica repercute directamente en el contenido de nitrógeno orgánico, y en consecuencia, en el nitrógeno total del suelo (Villarroel, 1988). Otro factor que puede haber contribuido a esta diferencia es el clima. Entre los factores de formación del suelo, el clima, tiene uno de los efectos más directos sobre el contenido total de nitrógeno en el suelo (Fassbender, 1975). Según Fassbender (1975), el contenido de nitrógeno total tiende a incrementarse a medida que disminuye la temperatura, debido a una menor tasa de descomposición y mineralización de la materia orgánica. Durante la descomposición, la materia orgánica libera el nitrógeno en forma disponible para las plantas, principalmente como amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas (Parra et al., 2003). El nitrógeno, en este contexto cumple un papel importante en la nutrición de las plantas y es vital para el desarrollo de la biomasa vegetal (Porta et al., 2003).

Los resultados del presente estudio difieren de los reportados en otros contextos ecológicos, como en provincia de Luya, Amazonas, Perú, el cual se encuentra a una altitud de 2750 m.s.n.m. En cuya investigación, se observó que los suelos bajo la cobertura de pino presentaban valores más altos de nitrógeno total que aquellos cubiertos por vegetación naturales (Guevara, 2022). Asimismo, se diferencian de los resultados obtenidos en los suelos de páramo de la microcuenca San Vicente, Ecuador, ubicado entre los 2900 a 3700 m.s.n.m. En la cual, se encontró que los suelos de áreas cubiertas con pino contenían mayores concentraciones de nitrógeno que los suelos de pajonal (Aichholzer & Durán, 2010).

El contenido de fósforo disponible en los suelos evaluados presento valores promedio de 6,72 ppm en el pajonal y 5,40 ppm en el pino. Aunque el contenido fue ligeramente

mayor en suelos con cobertura de pajonal, la diferencia no fue estadísticamente significativa. Ambos valores se encuentran dentro del rango de 5 ppm a 13 ppm, lo que indica un bajo contenido de fósforo disponible, según la clasificación de Villarroel (1988). Estos resultados pueden explicarse por la estrecha relación entre el fósforo y la materia orgánica del suelo (Jordán, 2005). Según los datos de la Tabla 10, el contenido de materia orgánica fue mayor en los suelos con cobertura de pajonal, lo que justificaría el mayor contenido de fósforo disponible. La mineralización de la materia orgánica contribuye a liberar una parte del fósforo en formas solubles, accesibles para la planta (Jordán, 2005). La otra fracción del fósforo proviene de los minerales primarios, como la apatita, común en rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas (Villarroel, 1988). El fósforo orgánico asociado a la materia orgánica representa entre el 20 % y el 80 % del fósforo total del suelo (Carbonero, 1984), aunque en situaciones extremas puede alcanzar valores de entre 3 % y del 85 % dependiendo de las condiciones del suelo (Fassbender, 1975). Dado que el fósforo orgánico se libera principalmente mediante procesos biológicos, su disponibilidad está influenciada por diversas propiedades físicas y químicas del suelo (Carbonero, 1984). Dentro del cual, la temperatura, tiene un efecto particularmente marcado, a mayor temperatura, mayor movilidad y liberación del fósforo en el suelo (Carbonero, 1984 y Fassbender, 1975). Otros factores que afectan la disponibilidad del fósforo son la precipitación, acidez del suelo, actividad biológica y el grado de desarrollo del perfil del suelo. Los cuales, además de generar impactos en la liberación del fósforo en el suelo, determinan la participación de las fracciones orgánicas e inorgánicas en el fósforo total (Fassbender, 1975). Es importante destacar que el fósforo presente en forma de apatita o en formas orgánicas, no es directamente asimilable por las plantas, por lo que requiere de procesos de mineralización para convertirse en formas disponibles. El fósforo es un elemento esencial para la nutrición vegetal, interviniendo en funciones clave en la nutrición y crecimiento de las plantas (Porta et al., 2003).

Por otro lado, la disponibilidad del fósforo también está estrechamente relacionada con el pH del suelo. En este estudio, los suelos evaluados presentaron un pH fuertemente ácido, condición que reduce la tasa de descomposición de la materia orgánica y, por lo tanto, la presencia del fósforo es limitada. En suelos ácidos, el fósforo se fija en forma de fosfatos insolubles (fosfatos de hierro y aluminio) al absorberse sobre óxidos de hierro y aluminio. El rango óptimo de pH para la concentración y disponibilidad del fósforo es de 6 a 7 (Parra et al., 2003).

Los resultados de esta investigación coinciden con los obtenidos en el estudio realizado en un establecimiento agropecuario en Tandil, Buenos Aires, Argentina, donde se evaluaron propiedades químicas y bioquímicas del suelo tras el remplazo de pastizales naturales por *Pinus radiata*. En dicho estudio, se observó que el remplazo no generó cambios significativos en el contenido del fósforo, particularmente en los primeros 5 cm del perfil del suelo (Di Gerónimo et al., 2018).

Sin embargo estos resultados contrastan con los reportados por Garay et al. (2015) quienes determinaron que el fósforo extraíble aumentó bajo la cobertura de *Pinus radiata* en comparación con los pastizales naturales en suelos de Buenos Aires, Argentina. Asimismo, discrepan de los hallazgos de Aichholzer & Durán (2010), quienes reportaron que los suelos con cobertura de pino presentaron mayor contenido de fósforo disponible que los suelos con cobertura de pajonal (Aichholzer & Durán, 2010).

El contenido potasio disponible en los suelos evaluados fue de 122,73 ppm en el pajonal y 106,33 ppm en el pino, lo que indica una mayor disponibilidad de este nutriente en los suelos cubiertos con pajonal. Ambos valores se encuentran dentro del rango 60 a 200 ppm de potasio intercambiable, considerado como alto contenido según Torrez & Chinchilla (2006). Este resultado puede atribuirse a que la mayoría de los suelos contienen naturalmente grandes cantidades de potasio, el cual proviene de la meteorización de rocas que contienen minerales potásicos primarios (Carbonero, 1984). Entre los cuales encontramos a los feldspatos potásicos, que son silicatos de aluminio y potásico (Carbonero, 1984 y Fassbender, 1975). El potasio también se encuentra en minerales secundarios del tipo arcilloso, tales como ilitas, vermiculitas, y en minerales interstratificados (Carbonero, 1984 y Fassbender, 1975).

No obstante, el hecho de que un suelo tenga un alto contenido total de potasio no implica que todo este elemento esté forma disponible para las plantas. La disponibilidad efectiva depende de factores como la cantidad de potasio intercambiable y la capacidad tampón del suelo (Parra et al., 2003). En este estudio, los suelos evaluados presentaron un pH fuertemente ácido, lo cual puede afectar negativamente la disponibilidad del potasio, provocando su fijación por los coloides del suelo o su lixiviación. En condiciones ácidas, las deficiencias de potasio pueden manifestarse particularmente en las hojas más viejas de las plantas anuales, debido a su alta movilidad dentro de la planta. El potasio es un nutriente esencial para las plantas, que cumple múltiples funciones fisiológicas y bioquímicas. Actúa como cofactor en diversas reacciones enzimáticas, incluyendo la glicolisis, fosforilación oxidativa y la fotofosforilación, entre otras. Además, participa en

procesos como el metabolismo y traslocación del almidón, la absorción de nitratos, la apertura estomática y la síntesis de proteínas (Carbonero, 1984).

Los resultados obtenidos en los suelos de Toccto con cobertura de pajonal y pino, discrepan de los hallazgos reportados en la microcuenca de San Vicente, Ecuador, ubicada a una altitud entre 2900 y 3700 m.s.n.m. En cuyo estudio se observó un mayor contenido de potasio disponible en suelos con cobertura de pino en comparación con los suelos con cobertura de pajonal (Aichholzer & Durán, 2010).

El potencial de hidrógeno (pH) en los suelos de las áreas cubiertas con pajonal y pino, presentó valores de 4,85 y 4,94, respectivamente, sin diferencias estadísticas significativas entre ambos. Estos valores clasifican a los suelos como fuertemente ácidos. Esta acidez puede atribuirse principalmente al clima frío de la zona de Toccto, que limita la descomposición de la materia orgánica y la liberación de cationes básicos, favoreciendo la acumulación de ácidos orgánicos y, por tanto, la disminución del pH del suelo (Jordán, 2005). La acidez del suelo también está influenciado por diversos componentes y procesos edáficos, como la composición y descomposición de la materia orgánica (humus), la concentración de sales solubles, la presión parcial de anhídrido carbónico, presencia de alúminosilicatos, óxido hidratados de hierro y aluminio, y el estado de óxido reducción (Carbonero, 1984 y Parra et al., 2003). De igual forma, el pH está determinado en gran medida por la proporción de cationes básicos, como los iones de calcio, magnesio, potasio y sodio adsorbidos en los sitios de intercambio catiónico, así como la presencia de carbonatos de calcio, que actúan como agentes tamponadores del pH (Parra et al., 2003). Con base a los resultados obtenidos, se puede deducir que la introducción del pino en un suelo que ya tiene de por sí características fuertemente ácidas no genera ningún impacto significativo adicional en el pH.

El pH es un factor clave que influye en múltiples procesos, como las reacciones de adsorción/desorción y disolución/precipitación, que regula la disponibilidad de varios nutrientes esenciales, como el fósforo, hierro, cobre, manganeso, cinc, boro y molibdeno. También afecta la disponibilidad de formas orgánicas del nitrógeno, azufre y fósforo para las plantas, al incidir sobre la descomposición de la materia orgánica. La mayor disponibilidad de nutrientes se alcanza generalmente en suelos con un pH de 6 a 7 (Parra et al., 2003).

Los resultados del presente estudio contradicen a los obtenidos en las investigaciones realizadas en el Río de la Plata, entre Uruguay y Argentina, y la microcuenca de San

Vicente, Ecuador (2900 hasta los 3700 m.s.n.m.). Además, se distingue de los resultados obtenidos en el río Zhuruca y (3400 a 3900 m.s.n.m.) en el Austro ecuatoriano; en la zona de Buenos Aires, Argentina y en Chalamarca, provincia de Chota, Cajamarca, Perú (3650 m.s.n.m.). En los cuales, se reportó que el remplazo del pasto natural por plantaciones de pino provocó una variación del pH, lo cual consecuentemente generó un aumento en la acidez del suelo (Jobbágy et al., 2006; Aichholzer & Durán, 2010; Quichimbo, 2012; Garay et al., 2015; Di Gerónimo et al., 2018 y Díaz, 2023).

Por el contrario, los resultados obtenidos en el presente estudio coinciden con los obtenidos en suelos de la provincia de Luya, Amazonas, Perú (2750 m.s.n.m.), donde se apreció que el pH de los suelos con cobertura de pino fue superior a aquellos cubiertos por vegetación natural (Guevara, 2022).

El contenido promedio de calcio intercambiable en los suelos evaluados fue de 2,17 Cmol (+)/kg en el pajonal y 1,99 Cmol (+)/kg en el pino. Para el magnesio intercambiable, los valores fueron de 0,63 Cmol (+)/kg (pajonal) y 0,59 Cmol (+)/kg (pino). En cuanto al potasio intercambiable, se registraron 0,31 Cmol (+)/kg (pajonal) y 0,26 Cmol (+)/kg (pino), mientras que el sodio intercambiable presentó un valor uniforme de 0,12 Cmol (+)/kg en ambas coberturas.

Estos resultados indican que no existe diferencias estadísticas significativas entre las coberturas de pajonal y pino en los niveles de calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}) y sodio (Na^{+}) intercambiables, a excepción del potasio (K^{+}) intercambiable, con valores más altos en el suelo cubierto por pajonal. En general, los contenidos promedio de calcio, magnesio, potasio y sodio, tanto en suelos cubiertos con pajonal y pino se consideran bajos según los criterios establecidos por Villarroel (1988) y Castellanos et al. (2011). El bajo contenido de cationes intercambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio intercambiable) puede atribuirse en gran medida al pH del suelo, ya que este influye directamente en la saturación del complejo de intercambio catiónico. A medida que disminuye el pH, también disminuye la proporción de calcio, magnesio, potasio y sodio en los sitios de intercambio, lo cual reduce la disponibilidad de estos nutrientes para las plantas (Parra et al., 2003 y Fassbender, 1975). Estos cationes, incluyendo en menor medida al sodio, son fundamentales para el equilibrio entre el suelo y la planta, ya que participan en múltiples procesos fisiológicos y estructurales (Carbonero, 1984).

Los hallazgos del presente estudio son consistentes con los obtenidos en los suelos de Chalamarca, provincia de Chota, Cajamarca (Perú, ubicado a 3650 m.s.n.m.). En la cual, también se observó una mayor concentración de calcio, magnesio y potasio intercambiable, en suelos con cobertura de pajonal en comparación con los cubiertos por pino (Díaz, 2023). Asimismo, coinciden con estudios realizados en Argentina, Uruguay y España, los cuales señalan que el reemplazo de los pastizales naturales por pinos reduce el pH del suelo. El cual, a su vez provoca una disminución del complejo de intercambio con bases, particularmente en la fracción intercambiable de calcio, magnesio y potasio, en un rango de 59 % a 49 %. No obstante, el comportamiento del sodio intercambiable en el presente estudio difiere de los observado por Jobbágy et al. (2006), quienes reportan un incremento del sodio en un 80 % de los casos evaluados, superando incluso el umbral de saturación del 15 %, lo cual sugiere un riesgo potencial de sodificación.

Por último, el bajo contenido de magnesio intercambiable observado en ambos tipos de cobertura (0,63 Cmol (+)/kg y 0,59 Cmol (+)/kg podría tener un efecto favorable sobre la disponibilidad de nutrientes, ya que impide la saturación excesiva del complejo cambio. Esto, a su vez reduce la posibilidad de pérdida y empobrecimiento de nutrientes por lixiviado, contribuyendo a mantener la fertilidad del suelo (Jordán, 2005).

La acidez intercambiable (suma de aluminio y protones de hidrógeno intercambiable), la cual está directamente relacionado con el pH del suelo, no presenta diferencias estadísticas entre los suelos con cobertura de pajonal (3,22) y el pino (2,90). Esta ausencia de diferencia podría atribuirse a que ambos tipos de suelo están clasificados como fuertemente ácidos y de tipo orgánico. En suelos con un pH muy ácido, el catión aluminio (Al^{+3}) es frecuentemente predominante y fácilmente intercambiable, lo que contribuye significativamente a la acidez del suelo (Porta et al., 2003 y Sánchez, 1981). Por su parte el hidrógeno (H^+) tiene mayor relevancia en suelos orgánicos ácidos, donde la acidez intercambiable procede, principalmente, de grupos con funciones orgánicas ácidos, como los carboxilos y fenoles (Porta et al., 2003). En menor medida, el hidrógeno también se origina de formas hidroxialumínicas y férrica unidas a la materia orgánica (Porta et al., 2003). Además, el hidrógeno puede encontrarse en forma activa en la suspensión coloidal del suelo o en su solución (Villarreal, 1988). En condiciones de pH ácido, el aluminio se presenta principalmente como ion hexahidratado [$Al(H_2O)_6$] $^{+3}$, el cual al someterse a hidrólisis en medios con pH ligeramente superior a 5, libera iones de hidrógeno en cantidad equivalente al aluminio presente, intensificando así la acidez del medio (Carbonero, 1984).

Aunque las diferencias estadísticas no fueron significativas, los valores absolutos de la acidez intercambiable resultaron ligeramente superiores en los suelos con cobertura de pajonal en comparación con los de pino. Estos resultados contradicen los resultados reportados en los suelos centro poblado de Bella Andina, distrito de Chalamarca, provincia de Chota, Cajamarca (Perú, 3650 m.s.n.m.). En la cual, los suelos con cobertura de pino obtuvieron valores significativamente más altos de acidez intercambiable en relación con el pajonal. En ese estudio, se registró un incremento máximo del 107,3 % en la acidez intercambiable en los primeros 10 cm del suelo bajo pinos de 17 años, seguido por pinos de 9 y 6 años, evidenciando un efecto acumulativo relacionado con la edad de la planta (Díaz, 2023).

En cuanto de la conductividad eléctrica (CE), que se encuentra directamente relacionado con el contenido de sales solubles en el suelo (Jordán, 2005), los resultados del presente estudio indican que no existe diferencias estadísticas significativas entre los suelos cubiertos con pino y aquellos con pajonal. Los valores promedios obtenidos fueron de 0,051 dS/m para el pajonal y 0,052 dS/m para el pino. Dado que ambos valores son inferiores a 0,9 dS/m, se concluye que los suelos evaluados no presentan condiciones de salinidad (Villarroel, 1988 y Castellanos et al., 2011). Este comportamiento está estrechamente relacionado con el pH fuertemente ácido de los suelos evaluados (Tabla 10), condición que favorece la ausencia de acumulación significativa de sales. Bajo estos niveles de CE, la mayoría de los cultivos pueden desarrollarse sin restricciones asociadas a la salinidad (Villarroel, 1988; Jordán, 2005 y Castellanos et al., 2011). La baja conductividad observada puede atribuirse a que los factores que regulan la acumulación de sales solubles en el suelo, tales como la litología, geomorfología, clima, hidrología, manejo del suelo y actividades antrópicas, no han sido propicios para la salinización en el área de estudio (Jordán, 2005). Cabe destacar que una acumulación excesiva de aniones (como parte de las sales solubles) en la solución del suelo puede dificultar la absorción de agua por las raíces de las plantas y generar problemas de toxicidad, especialmente cuando hay concentraciones elevadas de sodio, cloruros y boro (Parra et al., 2003).

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con los resultados obtenidos en los suelos de páramo de la microcuenca San Vicente, Ecuador, ubicado entre los 2900 a 3700 m.s.n.m. En la cual, se observó que los suelos con cobertura de pino presentó valores de CE ligeramente superiores a los del pajonal, aunque sin inducir salinidad (Aichholzer & Durán, 2010). Igualmente, concuerdan con los resultados de una investigación realizada en suelos de un establecimiento agropecuario en Tandil, Buenos

Aires, Argentina. En cuyo estudio se evaluó el efecto del remplazo de pastizales naturales por *Pinus radiata* sobre las propiedades químicas y bioquímicas del suelo. En la cual, se encontró que en los primeros 5 cm del perfil del suelo, los montes de pino presentaron incrementos en la conductividad eléctrica en comparación con los pastizales naturales (Di Gerónimo et al., 2018).

A diferencia de los resultados previamente mencionados, el presente estudio contradice los resultados obtenidos en los suelos de la provincia de Luya, Amazonas, Perú, ubicado a una altitud de 2750 m.s.n.m. En dicha investigación, se observó que los suelos con cobertura de ecosistema natural presentaron una conductividad eléctrica superior a la de los suelos cubiertos con plantaciones de pino (Guevara, 2022).

En cuanto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC), los suelos con cobertura de pajonal obtuvieron un valor promedio de 25,78 Cmol (+)/kg, mientras que los suelos bajo cobertura de pino alcanzaron 24,96 Cmol (+)/kg, sin diferencias estadísticas significativas entre ellos. De acuerdo con los criterios propuesto por Villarroel (1988) y Castellanos et al. (2011), el valor observado en el pajonal clasifica al suelo con alta CIC, mientras que el valor del pino lo ubica en la categoría de moderada CIC. Estas diferencias pueden estar relacionados con la variación del pH, el cual incluye directamente en la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Carbonero, 1984 y Porta et al., 2003). Asimismo, la CIC está condicionada por el contenido y tipo de minerales de arcilla, así como por la cantidad y calidad de componentes orgánicos presentes en el suelo (Porta et al., 2003 y Parra et al., 2003). En la relación entre la CIC y el crecimiento de las plantas, es fundamental considerar dos aspectos, primero, la disponibilidad de nutrientes esenciales en forma de cationes intercambiables; segundo, el grado de saturación catiónica, especialmente la proporción de iones de hidrógeno (Villarroel, 1988). Sin embargo, una CIC alta no garantiza la disponibilidad de todos los nutrientes esenciales en el suelo. En ciertos casos, esta capacidad puede estar ocupado por un exceso de cationes tóxicos, como el aluminio (Al^{+3}), el sodio (Na^{+}), entre otros, lo cual presenta un riesgo para la fertilidad del suelo (Parra et al., 2003). Por ello, en los estudios de fertilidad es crucial analizar, no solo la magnitud del CIC, sino también la composición cualitativa de los cationes que la ocupan (Villarroel, 1988).

Los resultados de la presente investigación coinciden con los obtenidos en los suelos de páramo de la microcuenca San Vicente, Ecuador, ubicado entre los 2900 a 3700 m.s.n.m., donde se reportó que los suelos cubiertos con pino presentan valores de CIC inferiores a los del pajonal (Aichholzer & Durán, 2010). Sin embargo, contradicen los

hallazgos reportado por Díaz (2023) en los suelos del centro poblado de Bella Andina, distrito de Chalamarca, provincia de Chota, Cajamarca, Perú, ubicado a una altitud de 3650 m.s.n.m., donde la CIC de los suelos cubiertos con pino fue superior a la del pajonal. En dicho estudio, se aprecia un incremento máximo del 24,2 % en la CIC de suelos bajo pinos de 9 años a 20 cm de profundidad, y del 24,0 % en pinos de 17 años en los primeros 10 cm de profundidad, en comparación con los suelos de pajonal.

La saturación de bases en los suelos evaluados fue de 12,53 % en el pajonal y 11,8 % en el pino, valores significativamente inferiores al 50 %, lo que indica que se trata de suelos ácidos. Esta condición puede generar limitación para la nutrición de los cultivos en el áreas de estudio (Garrido, 1994). Los bajos valores de saturación de bases están relacionados con el contenido de los cationes básicos de calcio (Ca^{+2}), magnesio (Mg^{+2}), potasio (K^{+}) y sodio (Na^{+}) presentes en el material parental, ya que estos elementos condicionan directamente su valor (Parra et al., 2003 y Núñez, 1981). En consecuencia, cuanto más elevado sea el porcentaje de los mencionados cationes en relación con la capacidad de intercambio catiónico del suelo, mayor será el porcentaje de saturación de bases. En este sentido, a mayor proporción de estos cationes respecto a la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, mayor será el porcentaje de saturación de bases. Asimismo, el pH del suelo será mayor (Parra et al., 2003), por lo que existe una correlación positiva entre la saturación de bases y el pH del suelo, de modo que los suelos con mayor saturación de bases tienden a presentar un pH más elevado (Fassbender, 1975 y Carbonero, 1984). Esta relación se evidencia en los resultados del estudio, donde los suelos evaluados presentaron pH fuertemente ácido, lo cual concuerda con los bajos valores de saturación de bases observados. Por otro lado, la saturación de bases está influenciada por el clima, particularmente por la cantidad de agua que percola a través del perfil del suelo. Una mayor percolación puede provocar la descalcificación del material parental y la lixiviación de los cationes básicos, reduciendo así la saturación de bases (Parra et al., 2003 y Núñez, 1981).

Dado que la saturación de bases está estrechamente relacionado con la fertilidad del suelo, constituye un indicador clave para evaluar la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, siendo por lo tanto una característica relevante en estudios de manejo y conservación de suelos (Carbonero, 1984).

4.3. Resultados del análisis de las muestras de agua

4.3.1. Características fisicoquímicas del agua superficial y análisis estadístico de la microcuenca Toccto

Tabla 11. Valores promedio de las características fisicoquímicas del agua superficial de la microcuenca Toccto en referencia al pino, distrito de Chiara 2021-2022.

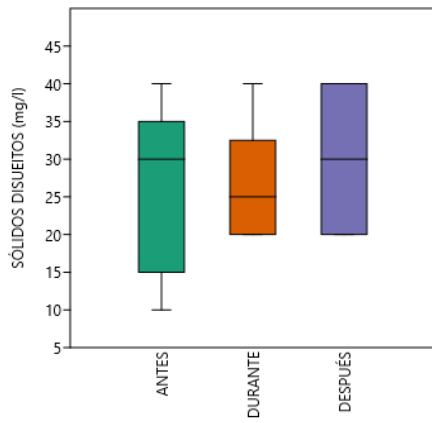
Características fisicoquímicas	Cobertura de pino			p-Valor
	Antes	Durante	Después	
Sólidos disueltos (mg/l)	26,67	26,67	30,00	0,8670
Turbidez (NTU)	23,99	21,15	18,41	0,6476
Potencial de hidrogeno (pH)	7,60	7,91	7,97	0,1825
Conductividad Eléctrica (μ S/cm)	46,67	48,33	50,00	0,8894
Nitrato (mg/l NO_3^-)	0,50	0,40	0,39	0,5957
Fosfato (mg/l PO_4^{3-})	5,86	5,05	4,02	0,3197
Sulfato disuelto (mg/l)	17,64 ^a	0 ^b	0 ^b	0,0067*

Nota: En el p-valor de Kruskal Wallis (*), si p-valor <0,05.

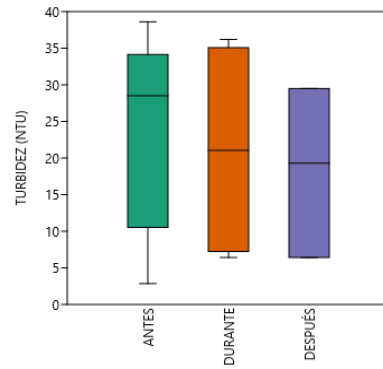
En la Tabla 11 se observa una variación en los valores de las características fisicoquímicas de las muestras de agua superficial recolectadas en la microcuenca Toccto, en tres secciones del río Mozojcancha, antes, durante y después de las áreas cubiertas con pino. Sin embargo, al aplicar la prueba estadística no paramétrica de Kruskal Wallis ($p < 0,05$), se obtuvo un p-valor superior a 0,05, lo cual indica que no existen diferencias estadísticas significativas en las características fisicoquímicas del agua entre las tres secciones de muestreo. A diferencia del sulfato disuelto, donde la muestra recolectada antes de la cobertura de pino presentó diferencias estadísticas significativas en comparación con las muestras tomadas durante y después del área cubierta con pino.

En la Figura 9, se presenta la comparación de los promedios de las características fisicoquímicas del agua superficial en las tres secciones mencionadas. En esta figura se aprecia que las muestras recolectadas antes de la cobertura de pino presentan valores más altos en las características físicas de turbidez y las características químicas de conductividad eléctrica, nitrato, fosfato y sulfato. En contraste, las muestras recolectadas después de la cobertura de pino presentan valores en las características físicas de sólidos disueltos y la característica química del pH.

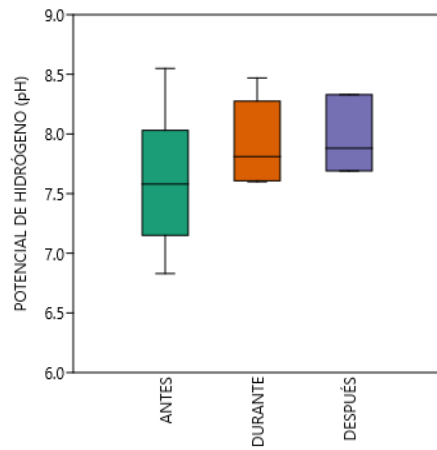
a) Sólidos disueltos



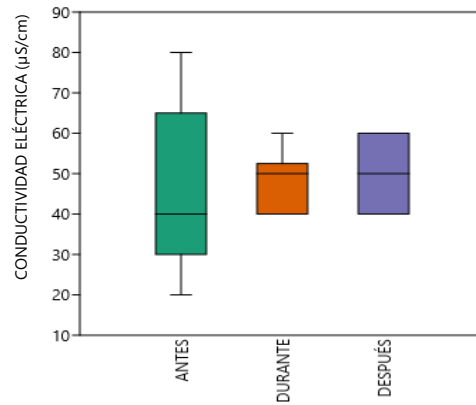
b) Turbidez



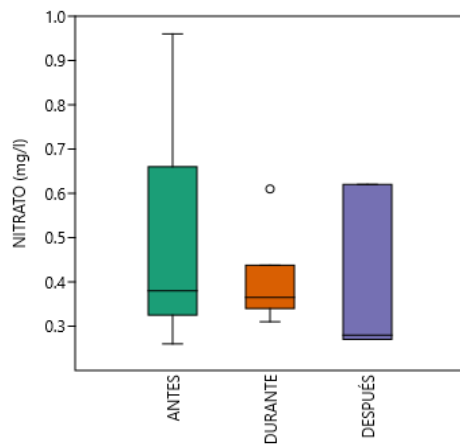
c) Potencial de hidrogeno (pH)



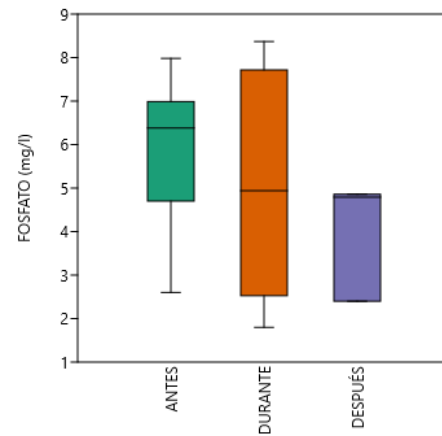
d) Conductividad eléctrica



e) Nitrato



f) Fosfato



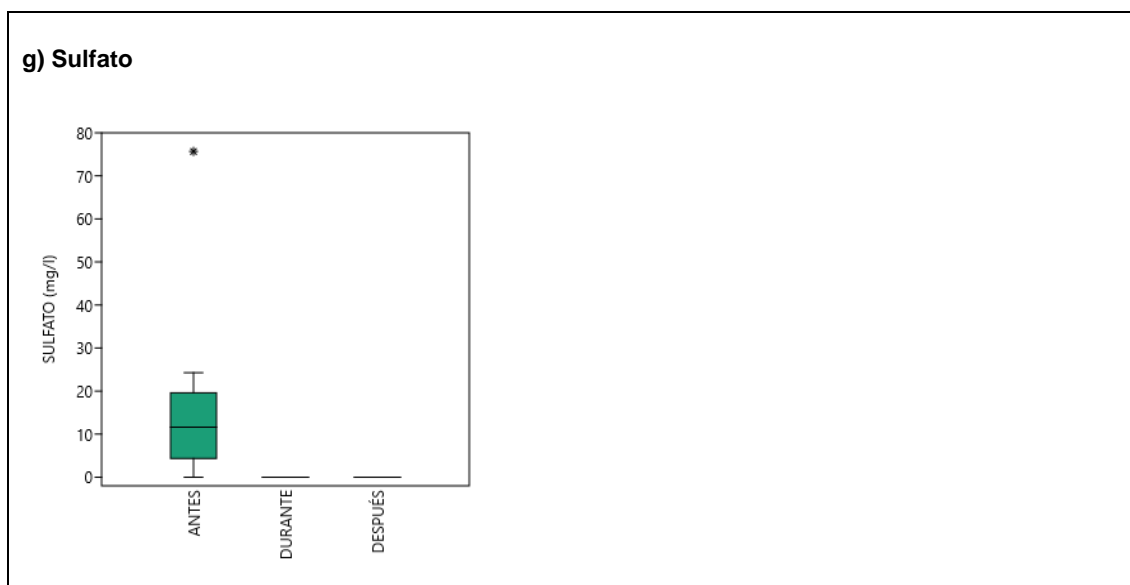


Figura 9. Cajas y bigotes de las características fisicoquímicos del agua superficial de la microcuenca en la zona de Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2021-2022

En la Tabla 11 se aprecia que el promedio de la turbidez del agua superficial en áreas cubiertas con pajonal y pino muestra una disminución, pasando de 23,55 NTU en la sección antes del área cubierta con pino, a 18,41 NTU en la sección después del área cubierta con pino. Esta reducción podría atribuirse a la sedimentación del material en suspensión como partículas de arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como sedimentos arrastrados por el agua hacía el fondo del cauce durante su recorrido. Estos componentes, junto con organismos microscópicos, gases y líquidos disueltos influyen directamente en los niveles de turbidez del agua (Ortiz, 2011; Carrillo, 2013; Chacón, 2017 y Marín, 2019).

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con los reportados en el río Huaylla Belén, donde la turbidez de la sección inicial (antes del área cubierta con pino) fue mayor que en la sección final (después del área cubierta con pino) (Guevara, 2022). Asimismo, los valores de turbidez registrados antes (área cubierta con pajonal) y durante el paso del agua por áreas forestadas con pino, concuerdan con los hallazgos en la microcuenca de San Vicente. En la cual, se evidenció que la turbidez del agua obtenida en el área con cobertura de pino es inferior a la observada en área de pajonal (Aichholzer & Durán, 2010).

Estos resultados permiten inferir que la cobertura de pino contribuye al control de la erosión y aumenta la estabilidad del suelos, factores clave en la reducción de la turbidez del agua

(Ortiz, 2011 y Marín, 2019). Por lo tanto, se puede concluir que el cambio en la cobertura vegetal ha influido significativamente en la variación de la turbidez, tal como evidencia los resultados obtenidos por Martínez et al. (1996). En cuyo estudio, demostraron que la estabilidad de los suelos y la generación de erosión dependen en gran medida del tipo de cobertura vegetal presente en el área (Martínez et al., 1996). Además, se ha reportado que el pino posee la capacidad de reducir las pérdidas del suelo provocadas por procesos erosivos inducidos por las precipitación en no menos de un 45 % (Martínez et al., 1996).

Los valores de sólidos disueltos totales (SDT) en el agua superficial fueron de 26,67 mg/l antes de las áreas con cobertura de pino, el 26,67 mg/l durante y 30,67 mg/l después de dicha cobertura. Estos resultados se atribuyen principalmente a los aportes de sólidos al cauce y a las corrientes superficiales, como se evidencia en la microcuenca Toccto. En la cual, a lo largo del recorrido del río se identifican múltiples fuentes de alteración, incluyendo procesos erosivos, desmonte producto de la ampliación de la carretera Ayacucho-Cangallo, crianza de animales, vegetación afectada por los incendios y plantaciones de pino que implicaron remoción del suelo. Según, el IDEAM (2010), estos aportes pueden tener un origen tanto natural como antrópico, siendo causados por fenómenos como la dinámica natural de arrastre inducida por precipitaciones. A ello se suma la erosión de suelos provocada por las actividades agrícolas, la eliminación de la cobertura vegetal para fines urbanísticos y la construcción de infraestructura en el área de estudio.

Por otro lado, el incremento de los sólidos disueltos puede tener un impacto negativo en la calidad del agua (Chacón, 2017). Entre las consecuencias se incluyen el incremento del color y la turbidez, así como la presencia de materia orgánica e inorgánica que puede afectar indirectamente la disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua (IDEAM, 2010). Además, los sólidos disueltos pueden absorber contaminantes persistentes, bio-acumulables y tóxicos, reduciendo la aptitud del agua para el consumo humano, así como para usos agrícolas, pecuario, recreacionales y ecológicos, incluyendo la preservación de la flora y fauna de la zona (IDEAM, 2010).

Cabe señalar que los resultados obtenidos contradicen los reportados en el río Huaylla Belén, donde se observó que los valores de los sólidos disueltos totales fueron mayores en el inicio del área cubierta con pino, en comparación con los valores obtenidos después de dicha cobertura (Guevara, 2022).

En lo que respecta al potencial de hidrógeno del agua superficial en la microcuenca Toccto, se observó una variación promedio de 7,60 antes del ingreso al área cubierta con pino, 7,91

durante, y 7,97 después. Esta variación podría atribuirse al ingreso de fertilizantes (especialmente fosfatos) u otros agentes contaminantes al cuerpo hídrico, tal como lo han reportado Pérez-Castillo & Rodríguez (2007) y Ortiz (2011). Asimismo otros factores como la composición geoquímica del suelo y la influencia de los procesos antrópicos en la zona (IDEAM, 2010). Por los tanto, se infiere que la presencia de la cobertura de pino no es el único factor determinante del pH del agua, sino que esta depende de un conjunto de características ambientales y actividades humanas locales.

Por otro lado, los valores registrados de pH del agua superficial de la microcuenca Toccto indican que el recurso hídrico es adecuado para la subsistencia de diversos sistemas biológicos. Esto se debe a que los valores obtenidos (7,60, 7,91 y 7,97) se encuentran dentro del rango establecido en el Índice de Calidad del Agua de la National Sanitation Foundation (ICA-NSF), que considera un intervalo de pH 6,5 a 8,5, como favorable para la vida acuática. Además, los valores no superan el límite de 9,00, por encima del cual pueden presentarse alteraciones en el desarrollo y la fisiología de los organismos acuáticos (Pérez-Castillo & Rodríguez, 2007).

Los resultados obtenidos en esta microcuenca contrastan con los reportados en estudios realizados en Uruguay, Argentina y España, donde se concluye que las plantaciones forestales, como el pino, tienden a acidificar el agua de los arroyos (Jobbágy et al., 2006). También difieren de lo reportado en el río Huaylla Belén, Perú, donde el pH disminuyó de 7,30 al inicio a 7,20 después del paso del agua por el área cubierta con pino, sugiriendo una influencia acidificante de dicha cobertura (Guevara, 2022).

De igual forma, los valores del pH obtenidos antes del ingreso del agua al área forestada con pino (área cubierta con pajonal) y durante el tránsito por dicha cobertura (7,60 y 7,91, respectivamente), no coinciden con los resultados obtenidos en la microcuenca de San Vicente. En este último caso, se reportó que el pH del agua en el área cubierta con pino fue inferior al registrado en el área cubierta con pajonal (Aichholzer & Durán, 2010).

Adicionalmente, los valores del pH reportados en el Anexo 12, correspondientes a los períodos secos (agosto y octubre) y lluvioso (febrero), muestran variaciones estacionales atribuibles a los procesos heterotróficos en el cuerpo del agua. Durante el inicio del período seco (aguas bajas) y comienzo del lluvioso, ocurre una descomposición aeróbica de la materia orgánica acumulada, lo que puede alterar el pH. La situación está relacionada con el lavado e infiltración de la materia orgánica desde los ecosistemas circundantes hacia el sistema fluvial (Martínez et al., 2013).

Finalmente, dado que los valores del pH del agua superficial registrados en la microcuenca Toccto difieren significativamente de los reportados en otras investigaciones, se concluye que el pH del agua superficial no depende exclusivamente del tipo de cobertura vegetal (como el pino), sino también de otros factores ambientales, edáficos y antrópicos propios del área de estudio.

Los resultados de conductividad eléctrica del agua en la microcuenca Toccto mostraron una tendencia ascendente en función al recorrido por áreas con diferentes coberturas. Se registraron valores de 46,67 $\mu\text{S}/\text{cm}$ antes de la cobertura forestal (cobertura de pajonal), 48,33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante el paso por el área con cobertura de pino, y 50,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ después de esta. Este incremento podría deberse a la presencia de fertilizantes inorgánicos y a una mayor concentración de iones de sulfatos, cloruros y potasio en el agua (Pérez-Castillo & Rodríguez, 2007). Estos elementos pueden tener un origen tanto la composición geoquímica natural del suelo como procesos físicos asociados a la erosión, el lavado superficial y la infiltración provocados por las precipitaciones en la zona. Además, es importante considerar el impacto de las actividades antrópicas, tales como la crianza de ganado ovino y vacuno, así como la aplicación de fertilizantes en la actividad agrícola, que también contribuyen al aumento de la conductividad eléctrica (Carrillo, 2013 e IDEAM, 2010). En este contexto, puede inferirse que la presencia de la cobertura de pino no mitiga completamente los efectos que generan las precipitaciones sobre el suelo, los cuales se reflejan posteriormente en la calidad del agua. Esto se evidencia en los valores de conductividad eléctrica registrados, considerando que el agua pura no conduce la corriente eléctrica de forma significativa (Carrillo, 2013 y Marín, 2019).

Los resultados obtenidos en esta investigación contradicen con los reportados en el río Huaylla Belén, donde se observó una disminución de la conductividad eléctrica del agua al final del área con cobertura de pino en comparación con el valor registrado antes de dicha cobertura (Guevara, 2022). Asimismo, los valores obtenidos en la microcuenca Toccto difieren de los reportados en la microcuenca San Vicente, donde la conductividad eléctrica del agua fue menor en el área cubierta con pino que en el área con cobertura de pajonal (Aichholzer & Durán, 2010).

En relación con el contenido de nitratos y fosfatos en las muestras de agua superficial de la microcuenca Toccto, se pudo constatar que las concentraciones en las áreas con cobertura de pino son similares a las registradas en áreas cubiertas por pajonal. Esta similitud puede atribuirse a la vulnerabilidad de estos elementos en el suelo a lo largo del recorrido del río, ya que tanto el nitrógeno como el fósforo son elementos móviles que se pierden fácilmente a

través de procesos como la erosión (Sánchez, 1981), el lavado de suelos agrícolas y de pastizales, y el arrastre de desechos de origen animal, entre otros (Schlam et al., 2006). Estas condiciones favorecen el transporte de ambos elementos hacia los cuerpos de agua superficial, como ocurre en este caso.

Respecto al contenido de nitrato, se registró un valor promedio de 0,50 mg/l de NO_3^- en la sección anterior al área con cobertura de pino, el cual supera el valor de referencia mínimo de 0,45 mg/l de NO_3^- que suele encontrarse en aguas superficiales en condiciones naturales. Este resultado indica la posible existencia de contaminación por fuentes antrópicas, como la crianza de ganado ovino y vacuno observada en la zona. En condiciones normales, la concentración de nitrato en el agua son bajas; sin embargo, aumentos por encima de los valores naturales pueden ser indicativos de contaminación (Rodríguez & Silva, 2015).

La disminución del nitrato de 0,50 mg/l NO_3^- (antes del área con cobertura de pino) a 0,39 mg/l NO_3^- (después del área con cobertura de pino) sugiere que la presencia de los pinos podría haber contribuido a la reducción de este compuesto en el agua superficial. Este resultado concuerda con lo reportado por Avila et al. (2004), quienes señalaron que en sistemas agroforestales los árboles pueden contribuir a reducir la contaminación hídrica derivada del lixiviado de nitratos (Avila et al., 2004).

Asimismo, resultados obtenidos en la microcuenca Toccto muestran concordancia con los reportados en el río Huaylla Belén. En cuyo estudio se evidenció una mayor concentración de nitrato antes del ingreso al área con cobertura de pino, disminuyendo posteriormente, lo que respalda la hipótesis de que dicha cobertura puede contribuir a mitigar los niveles de este contaminante en cuerpos de agua superficiales (Guevara, 2022).

En cuanto al fosfato, su concentración en el agua constituye un indicador clave para evaluar riesgos de eutrofización, ya que este ion es esencial en los ciclos biológicos acuáticos y suele ser nutriente limitante para el crecimiento de algas y plantas acuáticas (Rodríguez & Silva, 2015). En la microcuenca Toccto, los valores promedios de fosfato fueron de 5,86 mg/l PO_3^- antes del área con cobertura de pino, 5,05 mg/l PO_3^- durante, y 4,02 mg/l PO_3^- después, los cuales superan ampliamente el valor de referencia para aguas no contaminadas, el cual es de 0,05 mg/l PO_3^- (Rodríguez & Silva, 2015). Esto evidencia un estado de contaminación en el agua superficial de la microcuenca Toccto.

Los resultados obtenidos permiten concluir que los valores del nitratos y fosfatos no depende exclusivamente del tipo de cobertura vegetal, sino también de múltiples factores edáficos, ecológicos y antrópicos presentes en el ecosistema. La cobertura vegetal, por sí sola, no

constituye un indicador suficiente de los servicios ecosistémicos relacionado con el recurso hídrico. Es fundamental identificar el tipo específico de servicios ecosistémicos hídricos involucrados al flujo hidrobiológico, así como las características estructurales y ecológicas de la cobertura vegetal. Además, se debe determinar con precisión el factor clave del flujo hidrológico objetivo (Ponette-González et al., 2015).

El valor de 17,64 mg/l de sulfato disuelto registrado en el agua superficial de la microcuenca Toccto, antes del ingreso al área con cobertura de pino, puede atribuirse a diversas fuentes. Entre ellas, se consideran los propios compuestos sulfatados presentes en el suelo (Ortiz, 2011), la oxidación bacteriana de sulfuros (Marín, 2019), así como el aporte de sulfatos derivados de fuentes naturales y deposiciones atmosféricas (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2018).

La disminución de la concentración de sulfatos disueltos desde el tramo anterior hasta el posterior a las áreas con cobertura de pino podría explicarse por la capacidad de autodepuración del sistema hídrico de la microcuenca (IDEAM, 2010). Este fenómeno puede estar asociado a procesos físicos, químicos y biológicos que reducen la concentración de contaminantes en el curso del agua, incluyendo la absorción por la biota acuática, precipitación química o disolución.

En cuanto a la calidad del agua para consumo humano, la concentración de sulfatos es aceptable siempre que no represente riesgos para la salud. Según el OMS (2018), los niveles elevados de sulfato pueden afectar la aceptabilidad del agua de consumo, tanto por su sabor (umbral gustativo que van de 250 mg/l a 1000 mg/l para sulfatos de sodio) y por su efecto laxante en personas no habituados, especialmente si se superan concentraciones de 500 mg/l, en cuyo caso se recomienda informar a las autoridades sanitarias (OMS, 2018).

De acuerdo con el Reglamento para la calidad del agua potable N.º 38924-S de Costa Rica, el valor alerta para sulfato en agua potable se establece en 25 mg/l (Bolaños-Alfaro et al., 2017), como concentración máxima recomendada para garantizar la seguridad del agua para consumo humano. En este contexto, el valor de 17,64 mg/l obtenidos antes del ingreso al área con cobertura de pino se encuentra dentro del rango aceptable para agua potable, tanto desde el punto de vista normativo como sanitario.

Tabla 12. Comparación de los valores promedios de las características fisicoquímicas del agua superficial con los parámetros de los Estándares de Calidad Ambiental del agua, microcuenca Toccto, Huamanga, Ayacucho 2021-2022.

Parámetros	Área con cobertura de pino			Valor según ECA-Agua (potabilizada con tratamiento)	Cumplimiento/ No Cumplimiento
	Antes	Durante	Después		
pH	7,12	7,61	7,69	5,5 -9,0	Cumple
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	30,00	36,67	40,00	1600	Cumple
Sólidos disueltos totales (mg/l)	14,44	20,00	20,00	1000	Cumple
Turbidez (NTU)	23,99	21,15	18,41	100	Cumple
Nitratos (mg/L NO₃⁻)	0,50	0,40	0,39	50	Cumple
Sulfatos (mg/L SO₄⁻)	17,64	0,00	0,00	500	Cumple

De acuerdo con los resultados presentados en la Tabla 12, las características fisicoquímicas del agua evaluadas fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental del Agua para el Sub-Sector A: Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable. En este contexto, las características fisicoquímicas del agua se encuentran dentro de los parámetros establecidos para la categoría A2, la cual corresponde a aguas superficiales que pueden ser potabilizados mediante tratamientos convencionales. Considerando lo anterior y evaluando el tratamiento más adecuado para garantizar la potabilización del recurso hídrico, se concluye que el tratamiento convencional representa la opción más pertinente, dado que permite eliminar de manera eficiente los contaminantes presentes y cumplir con los estándares de calidad requeridos para el consumo humano.

V. CONCLUSIONES

- Los suelos con cobertura de pajonal mostraron una mayor capacidad de retención de agua en comparación con los suelos con cobertura de pino, con valores de capacidad de campo de 48,82 %, punto de marchitez permanente de 26,07 % y la capacidad de retención del agua disponible de 357,81 m³/ha. Estos resultados indican una mayor regulación y disponibilidad hídrica en los ecosistemas de pajonal.
- Las características fisicoquímicas del suelo con cobertura de pajonal y del pino mostraron valores similares ($p > 0,05$), a excepción de la densidad real (1,69 g/cc) y el potencial de hidrógeno (4,94), los cuales fueron superiores en los suelos con cobertura de pino. Por el contrario, el pajonal presentó niveles más elevados de potasio disponible (122,73 ppm) y potasio intercambiable (0,31 Cmol (+)/kg). Estos hallazgos sugieren que, bajo parámetros específicos de fertilidad química y estructura física, la cobertura de pajonal ofrece condiciones edáficas más favorables.
- Las características fisicoquímicas del agua superficial que se ubica próximas al área con cobertura de pino y pajonal mostraron valores similares ($p > 0,05$). No obstante, se identificó variaciones significativas en la concentración de sulfato disuelto, el cual presentó valores superiores en el punto de muestreo antes de la cobertura de pino en comparación con la sección durante y después, lo que indica una dinámica de transporte o retención diferenciada de este anión en el sistema.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a las instituciones públicas y privadas y organizaciones no gubernamentales (ONG) realizar una evaluación preliminar integral sobre la pertinencia de introducir plantaciones de pino en ecosistema de pajonal altoandino, considerando alternativas que prioricen la conservación de las cabeceras de microcuenca en la Región Ayacucho. Esta medida busca evitar el deterioro del ecosistema natural y la pérdida de la capacidad de retención del agua de los suelos.
- Se sugiere desarrollar estudios sobre la alteración de la estructura de la vegetación nativa bajo cobertura de pino en ecosistemas de pajonal. Estos estudios deben contar con la participación de entidades competentes como la Dirección Forestal y de Fauna Silvestre de la Región Ayacucho, la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno Regional de Ayacucho, y ONGs como la Asociación Bartolomé Aripaylla (ABA-Ayacucho) y el Centro de Desarrollo Agropecuario (CEDAP), entre otros. El objetivo es generar información técnica robusta sobre los impactos ambientales derivados de la introducción de especies exóticas en las cabeceras de cuenca.
- Evaluar el impacto del pino sobre las características biológicas de los ecosistemas de pajonal, particularmente en lo referido a la biodiversidad de flora y fauna. Esta evaluación debe involucrar a las instituciones antes mencionadas, con el fin de identificar las especies más afectadas por la presencia de esta especie forestal exótica y establecer medidas de mitigación o restauración ambiental.
- Se recomienda estandarizar y aplicar metodologías científicas de medición de la evapotranspiración en áreas cubiertas con pino, con el propósito de cuantificar el consumo de agua asociado a su crecimiento y desarrollo. Esta información es crucial para evaluar su sostenibilidad hídrica en ecosistemas de alta sensibilidad ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aichholzer, F., & Durán, W. (2010). Caracterización y comportamiento de ecosistema de páramo bajo la influencia de bosque de pino (*Pinus patula*) bosque nativo y de pajonal [Tesis para obtener el Grado académico de Ingeniero Agrónomo, Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/3041>
- Albaugh, J. M., Dye, P. J., & King, J. S. (2013). Eucalyptus and Water Use in South Africa. *International Journal of Forestry Research*, 2013(1), 852540. <https://doi.org/10.1155/2013/852540>
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad del de los Recursos Hídricos Superficiales. Gráfica Industrial Alarcón S.R.L. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales>
- Avila, H., Harmand, J. M., Dambrine, E., Jiménez, F., Beer, J., & Oliver, R. (2004). dinámica del nitrógeno en el sistema agroforestal *Coffea arabica* con *Eucalyptus deglupta* en la zona sur de Costa Rica. *agroforestería en las Americas*, 11(41-42), 83-91.
- Baird, R. B., Eaton, A. D., Rice, E. W., & Bridgewater, L. L. (with American Public Health Association, American Water Works Association, & Water Environment Federation). (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23.^a ed.). American Public Health Association. https://dastmardi.ir/Guides/Standard_Methods.pdf
- Bolaños-Alfaro, J. D., Cordero-Castro, G., & Segura-Araya, G. (2017). Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Revista Tecnología en Marcha*, 30(4), 15. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>

- Buytaert, W., Iñiguez, V., & Bièvre, B. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management, Planted Forests and Water*, 251(1), 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.035>
- Carbonero, P. (1984). *Química del suelo y los fertilizantes (3ra.)*. E.T.S. de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (UPM). <https://oa.upm.es/54493/>
- Carrillo, J. R. (2013). *Análisis geoestadístico de los Índices de Calidad del Agua y su representación cartográfica en el Río Armenia, en el período comprendido desde el año 2000 al 2006*. [Tesis para obtener e Grado de Maestro en Ciencias de la Tierra., Universidad de Colima]. <https://docplayer.es/20009808-Facultad-de-ingenieria-civil-maestria-en-ciencias-de-la-tierra-area-geomatica.html>
- Castellanos, J. Z., Uvalle, J. X., & Aguilar, A. (2011). *Manual de interpretación de análisis de suelos*. Laboratorio Agrolab. <https://dokumen.tips/documents/interpretacion-de-fert-suelos-2011-es-una-de-las-mas-importantes-determinaciones.html>
- Cerón, P., & García, H. (2009). Propiedades del suelo en bosque y pajonal; reserva natural pueblo viejo, Nariño, Colombia. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 12(1), 113-120. <https://doi.org/10.31910/rudca.v12.n1.2009.647>
- Chacón, M. Y. (2017). *Análisis físico y químico de la calidad del agua (USTA)*. Universidad Santo Tomas. <https://doi.org/10.15332/li.lib.2017.00030>
- Corporación Chilena de La Madera (CORMA). (2015). *El agua y las plantaciones forestales*. Comité de Agua de CORMA. <https://www.corma.cl/el-agua-y-las-plantaciones-forestales/>
- De la Cruz, J., Gómez, J., Chanco, M., Carrillo, E. P., & Aucasime, L. (2020). Flora y vegetación de la provincia de Huamanga (Ayacucho-Perú). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(1), 3-18.

- Deng, Y., Li, X., Ding, M., Shi, F., Zuo, F., Li, Z., & Zhang, X. (2023). Characteristics of water retention, nutrient storage, and biomass production across alpine grassland soils in the Qilian Mountains. *Geoderma Regional*, 35, e00721. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2023.e00721>
- Di Gerónimo, P. F., Videla, C., Fernández, M. E., Zamuner, E. C., & Laclau, P. (2018). Cambios en propiedades químicas y bioquímicas del suelo asociados al reemplazo de pastizales naturales por *Pinus Radiata* D. Don y rotaciones agrícolas. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 34(2), 89-101. <https://doi.org/10.4067/S0719-38902018005000302>
- Díaz, F. (2023). Influencia de las plantaciones de pino (*Pinus Patula* Schiede ex Schltdl. Y cham.) sobre la propiedades físicas y químicas de los suelos del bosque montano de Chalamarca, Cajamarca, Perú [Tesis para obtener el Título como Ingeniero Forestal y Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. https://repositorio.unach.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14142/385/D%C3%ADaz_Rafael_F.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Dirección General de Infraestructura Agraria y Riego (DGIAR). (2015). Manual de medición de agua. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego-MIDAGRI. <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual5.pdf>
- Farjon, A., & Filer, D. (2013). *An Atlas of the World's Conifers: An Analysis of their Distribution, Biogeography, Diversity and Conservation Status*. Brill. <https://books.google.com.ec/books?id=uUNWAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

- Farley, K. A., Kelly, E. F., & Hofstede, R. G. M. (2004). Soil organic carbon and water retention after conversion of grasslands to Pine plantations in the Ecuadorian Andes. *Ecosystems*, 7(7), 729-739. <https://doi.org/10.1007/s10021-004-0047-5>
- Fassbender, H. W. (1975). *Química de Suelos* (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de las OEA). Bib. Orton IICA / CATIE.
- Fioroni, F., Soto, M. A., Fernández, N. V., & Carron, A. I. (2020). Los pinos y sus efectos invisibles. *Desde la Patagonia Difundiendo Saberes*, 17(30), 40-48. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/183664>
- Flores, L., & Alcalá, J. R. (2010). *Manual de procedimientos analíticos*. Universidad Autónoma de México. Laboratorio de Física del Suelo, Departamento de Ciencias Ambientales, LANGEM-Instituto de Geología. <https://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL%20DEL%20LABORATORIO%20DE%20FISICA%20DE%20SUELOS1.pdf>
- Garay, M., Amiotti, N. M., & Zalba, P. (2015). Potencial riesgo de polución biológica asociado a la introducción de *Pinus radiata* en tierras de pastizales. *Phyton*, 84, 280-287.
- García, L. J. (2017). Metodología de campo para determinar profundidad densidad aparente, materia orgánica, infiltración del agua, textura y pH en el suelo. Unión Nacional de Agricultores y Ganaderos, UNAG-Nicaragua. <https://cenida.una.edu.ni/documentos/NP33G216m.pdf>
- Garg, A., Bordoloi, S., Ganesan, S. P., Sekharan, S., & Sahoo, L. (2020). A relook into plant wilting: Observational evidence based on unsaturated soil–plant–photosynthesis interaction. *Scientific Reports*, 10(1), 22064. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78893-z>

- Garrido, M. S. (1994). Interpretación de análisis de suelos. Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. 84-341-0810-0 (Salón General).
https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf
- Gobierno Regional de Ayacucho de Ayacucho (GRA). (2013). Zonificación Ecológica Económica—Ayacucho. Gobierno Regional de Ayacucho.
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/zonificacion-ecologica-economica-ayacucho>
- Gómez, J. C. (2013). Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos. Servicio Nacional del Aprendizaje. https://www.google.com.pe/books/edition/Qu%C3%ADmica_agr%C3%ADcola_qu%C3%ADmica_del_suelo_y/Rs6AgAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=densidad+real+del+suelo&pg=PA65&printsec=frontcover
- Guevara, G. T. (2022). Impacto de las plantaciones forestales de pino (*Pinus patula*) en la diversidad florística y calidad de sitio en el valle de Huaylla Belén, Luya, Amazonas, Perú [Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas].
<https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2964>
- Hammer, F., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). Past 4—The Past of the Future—Natural History Museum (Versión 4.04) [Paleontología electrónica].
<https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/index.html>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (Sexta edición). McGraw Hill España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- Hodgson, J. M. (1987). Muestreo y descripción de suelos. Reverté, S. A.
https://www.google.com.pe/books/edition/Muestreo_y_descripci%C3%B3n_de_suelo_s/Gge-HNCUwXYC?hl=es&gbpv=1&dq=suelos+org%C3%A1nicos&pg=PA44&printsec=frontcover

Huber, A., & Trecaman, R. (2004). Eficiencia del uso del agua en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile. *Bosque (Valdivia)*, 25(3), 33-43. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002004000300004>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2010). Estudio nacional del agua. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. https://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2010.compressed.pdf

Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). (1995). Mapa ecológico del Perú. Ministerio de Agricultura. <https://es.slideshare.net/slideshow/mapa-ecologico-inrena/78455111#6>

Jáuregui, J., & Chávez, N. A. (2006). *Glosario de Biotecnología* (Primera edición). Universidad Autónoma de Aguascalientes. https://www.google.com.pe/books/edition/Glosario_de_Biotecnolog%C3%ADa/iFCVkjTiRqwC?hl=es&gbpv=1&dq=punto+de+marchitez&pg=PA168&printsec=frontcover

Jiang, R., Li, T., Jia, Z., & Dong, Y. (2022). Determining soil available water capacity and reasonable irrigation volume in dryland pasture. *Water*, 14(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/w14172760>

Jiménez, Y. L. (2018). Estudio de la influencia de los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino en la dinámica del agua edáfica de un bofedal, en la quebrada Llaca—Parque nacional Huascarán 2016-2017 [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3343>

Jobbágy, E., Vasallo, M., Farley, K., Piñeiro, G., Garbulsky, M., Noretto, M. D., Jackson, R. B., & Paruelo, J. M. (2006). Forestación en pastizales: Hacia una visión integral de sus

- oportunidades y costos ecológicos. *Agrociencia*, 10(2), 109-124.
<https://doi.org/10.31285/AGRO.10.934>
- Jordán, A. (2005). *Manual de Edafología*. Universidad de Sevilla.
https://www.academia.edu/6005589/Manual_de_edafologia_jordan
- Keller, A. (2016). Consumo de agua en plantaciones de *Pinus taeda* L. en la zona Noroeste de la provincia de Misiones (Informe Técnico No. 72; Informe final PIA 10033, p. 23). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- La Manna, L., Tarabini, M., Gómez, F., Noli, P., Vogel, B., & Buduba, C. (2018). Estimación de la capacidad de retención de agua de suelos volcánicos en función de variables de fácil determinación a campo. *Ciencia del Suelo*, 36(1), 23-29.
- Li, B., Li, P., Zhang, W., Ji, J., Liu, G., & Xu, M. (2021). Deep soil moisture limits the sustainable vegetation restoration in arid and semi-arid Loess Plateau. *Geoderma*, 399, 115122. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115122>
- Lince-Salazar, L. A. (2021). Capacidad de almacenamiento de agua en suelos cultivados en café y otras propiedades edáficas relacionadas. *Revista Cenicafé*, 72(1), Article 1. <https://doi.org/10.38141/10778/72101>
- López-Acevedo, M., Poch, R. M., & Porta, J. (2019). *Edafología: Uso y protección de suelos* (Cuarta Edición). Mundi-Prensa Libros.
- Madrigal, S., Cristóbal, D., Hernández, E., & Romo, J. L. (2019). Influencia de la cobertura, pendiente y profundidad, sobre el carbono y nitrógeno del suelo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(51), 201-223. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i51.113>
- Mancheno, A. C. (2011). Análisis de los impactos en la calidad del suelo causados por el pino (*Pinus patula*) en comparación con el suelo ocupado por polylepis (*Polylepis reticulata*)

en el Parque Nacional Cajas [Tesis para la obtención del Título de ingeniería Ambiental]. Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.

Marín, R. (2019). Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas (Segunda edición). Ediciones Díaz de Santos.

Martínez, G., Fermín, I., Brito, F., Márquez, A., De La Cruz, R., Rodríguez, G., Hernández, D., Parra, E., González, M., Márquez, A., & Pinto, P. (2013). Calidad de las aguas del Caño Mánamo, Delta del Río Orinoco, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Venezuela*, 52(1), 17-27.

Martínez, I., Mancilla, G., & Peralta, M. (1996). Evaluación de la erosión hídrica bajo tres tipos de cubierta arbórea en la Cordillera de Nahuelbuta. *Ciencias Forestales*, 1-2, 11, 57-70.

Medina, B., Jonard, M., Rendón, M., & Jacquemart, A. L. (2022). Effects of Pine Plantation on Native Ecuadorian Páramo Vegetation. *Forests*, 13(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/f13091499>

Melchior, H. (with Internet Archive). (1964). *Syllabus der Pflanzenfamilien* (12.^a ed., Vol. 2). Berlin-Nikolassee, Gebr. Borntraeger. <http://archive.org/details/syllabusderpfla02engl>

Minasny, B., & McBratney, A. B. (2018). Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European Journal of Soil Science*, 69(1), 39-47. <https://doi.org/10.1111/ejss.12475>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2024). Manual para el análisis de suelos agrícolas y agua para riego (Primera). Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/1745>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). Mapa nacional de cobertura vegetal: Memoria descriptiva. Ministerio del Ambiente, Dirección General de Evaluación, Valorización y Financiamiento del Patrimonio Natural. <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/2674-mapa-nacional-de-cobertura-vegetal-memoria-descriptiva>

Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). Informe de la línea base de pino y eucalipto. https://bioseguridad.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/07/LB_-Forestales.pdf. <https://bioseguridad.minam.gob.pe/normatividad/implementacion/lineas-de-base/pino-y-eucalipto/>

Moreno, C. A. (2012). Efectos de diferentes tipos de vegetación sobre la capacidad de infiltración de agua en suelos de páramo en la Reserva Privada Paluguillo (Ecuador) [Tesis de pregrado para la obtención de Licenciatura en Ecología Aplicada al Manejo de Recursos]. Universidad San Francisco de Quito.

Mosquera, G. M., Marín, F., Stern, M., Bonnesoeur, V., Ochoa-Tocachi, B. F., & Román-Dañobeytia, F. (2022). Servicios ecosistémicos hídricos de los pajonales altoandinos: ¿Qué sabemos? *Forest Trends*. https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2022/02/Servicios-ecosistemicos-hidricos-de-los-pajonales-altoandinos-Que-sabemos.pdf?fbclid=IwAR1iFCZmE7pj35Hdi01zGmVpe_9YR1vZ3m6JxGxGmwqi6OrFgxPyXdeolUs

Mosquera, G. M., Marín, F., Stern, M., Bonnesoeur, V., Ochoa-Tocachi, B. F., Román-Dañobeytia, F., & Crespo, P. (2022). Progress in understanding the hydrology of high-elevation Andean grasslands under changing land use. *Science of The Total Environment*, 804, 150112. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150112>

Navarro, G., & Navarro, S. (2013). Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas (Tercera Edición). Ediciones Mundi-Prensa. https://www.google.com.pe/books/edition/Qu%C3%ADmica_agr%C3%ADcola_qu%C3%ADmica_del_suelo_y/R

Ss6AgAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=densidad+real+del+suelo&pg=PA65&printsec=frontcover

Núñez, J. (1981). Fundamentos de Edafología (Primera edición). Editorial Universidad Estatal a Distancia. https://www.google.com.pe/books/edition/Fundamentos_de_Edafolog%C3%ADa/dpAcHU7xxoC?hl=es&gbpv=1&dq=Densidad+real+del+suelo&pg=PA67&printsec=frontcover

Oliva, M., Pérez, R., Salas, R., Gamarra, O., Leiva, S., Collazos, R., & Maicelo, J. (2017). Quantification of the tall grass area of the Gocta and Chinata microbasins and their potential as a carbon stock. *Scientia Agropecuaria*, 8(3), 233-241. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.06>

Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura (FAO). (2016). Los bosques y el cambio climático en el Perú: Bosques y Cambio Climático. Documento de trabajo 14. FAO. <http://www.fao.org/documents/card/es/c/50d7476c-8ac1-40d8-a704-db7ed0281662/>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda (Cuarta). Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>

Ortiz, J. E. (2011). Manual análisis fisicoquímico básico para el análisis de aguas para el análisis de agua para consumo humano. Instituto Nacional de Salud. <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20analisis%20fisico%20quimico%20aguas.pdf>

Páez-Bimos, S., Villacís, M., Morales, O., Calispa, M., Molina, A., Salgado, S., de Bievre, B., Delmelle, P., Muñoz, T., & Vanacker, V. (2022). Vegetation effects on soil pore

structure and hydraulic properties in volcanic ash soils of the high Andes. *Hydrological Processes*, 36(9), e14678. <https://doi.org/10.1002/hyp.14678>

Parra, M. A., Escobar, R., Navarro, C., & Arquero, O. (2003). *Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas*. Mundi-Prensa Libros. https://www.google.com.pe/books/edition/Los_Suelos_y_la_Fertilizaci%C3%B3n_Del_Oliva/YY7fTegB7rgC?hl=es&gbpv=1&dq=punto+de+marchitez&pg=PA28&printsec=frontcover

Peña, R., Sandoval, L., Muñoz, L. A., Estrada, O., Gonzáles, A., & Pineda, W. (2023). *Manual de prácticas de manejo de humedad del suelo*. FONTAGRO. Digitalización de la Agricultura de Pequeña Escala. [https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/19043_-_Producto_11_\(Apr\).pdf](https://www.fontagro.org/new/uploads/productos/19043_-_Producto_11_(Apr).pdf)

Pérez-Castillo, A. G., & Rodríguez, A. (2007). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología Tropical*, 56(4), 14. <https://doi.org/10.15517/rbt.v56i4.5769>

Ponette-González, A. G., Brauman, K. A., Marín-Spiotta, E., Farley, K. A., Weathers, K. C., Young, K. R., & Curran, L. M. (2015). Managing water services in tropical regions: From land cover proxies to hydrologic fluxes. *Ambio*, 44(5), 367-375. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0578-8>

Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente (Tercera Edición)*. Ediciones Mundi-Prensa. <https://toaz.info/doc-viewer>

Quichimbo, P. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42, 138-153.

- Rodríguez, C., & Silva, M. (2015). Calidad del agua en la microcuenca alta de la quebrada Estero en San Ramón de Alajuela, Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*, 15(25), 85-97.
- Ruiz, J. J. (2014). Impacto de la forestación con pino (*Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham.) Sobre la diversidad vegetal y los suelos en el páramo de Mucubají, parque nacional Sierra Nevada [Tesis de pregrado para la obtención de Licenciatura en Biología, Venezuela]. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/39978>
- Sánchez, P. A. (1981). Suelos del trópico: Características y manejo (Primera Edición). IICA Biblioteca Venezuela.
- Schlam, F. H., Salgado, G. M., López, F. P., Díaz, O. M., Serrano, F. R., & Merino, P. C. (2006). Monitoreo de la calidad del agua en el río Texcoco mediante sensores selectivos de iones. *Agrociencia*, 40(3), 277-287.
- Sistema Integrado de Información Taxonómica (ITIS). (2010). Taxonomía y Nomenclatura del género *Pinus* L. [Sociedad de negocio de base de datos taxonómica, base de datos de especies globales y base de datos en línea]. Sistema Integrado de Información Taxonómica-Informe. https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=18035#null
- Stackelberg, N. O. von, Chescheir, G. M., Skaggs, R. W., & Amatya, D. M. (2007). Simulation of the hydrologic effects of afforestation in the tacuarembó river basin, Uruguay. *Transactions of the ASABE*, 50(2), 455-468.
- Standley, P., & Steyermark, J. (1958). *Flora of Guatemala* (Vol. 24). Chicago Natural History Museum. <https://www.biodiversitylibrary.org/bibliography/2270>

- Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (2021). *Los suelos y su fertilidad* (Cuarta edición). Reverté, S. A. https://www.google.com.pe/books/edition/Los_suelos_y_su_fertilidad/VpIUAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=suelos+org%C3%A1nicos&pg=PA165&printsec=frontcover
- Tíscar, P. A. (2021). *Botánica agronómica* (Primera Edición). Ediciones Paraninfo, S.A. https://www.google.com.pe/books/edition/Bot%C3%A1nica_agron%C3%B3mica/v6MIEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=familia+Pinaceae&pg=PA109&printsec=frontcover
- Torrez, G., & Chinchilla, F. (2006). *Manual de interpretación de análisis de suelos y foliares para la nutrición de limón, aguacate, cocotero y marañón*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6991/BVE18040172e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villarroel, J. (1988, agosto). *Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio*. AGRUCO. <http://atlas.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/142>
- Wang, K., Zhang, Y., Tang, Z., Shangguan, Z., Chang, F., Jia, F., Chen, Y., He, X., Shi, W., & Deng, L. (2019). Effects of grassland afforestation on structure and function of soil bacterial and fungal communities. *Science of The Total Environment*, 676, 396-406. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.259>
- Yang, F., Zhang, G., Yang, J., Li, D., Zhao, Y., Liu, F., Yang, R., & Yang, F. (2014). Organic matter controls of soil water retention in an alpine grassland and its significance for hydrological processes. *Journal of Hydrology*, 519, 3086-3093. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.10.054>
- Yang, L., Zhang, H., & Chen, L. (2018). Identification on threshold and efficiency of rainfall replenishment to soil water in semi-arid loess hilly areas. *Science China, Earth Sciences*, 61(3), 292-301. <https://doi.org/10.1007/s11430-017-9140-0>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	TIPO DE INVESTIGACION	METODOLOGIA
<p>Problema general ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del suelo y agua superficial según el tipo de cobertura vegetal (pino y pajonal) en la microcuenca Toccto distrito de Chiara, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho?</p> <p>Problemas específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la capacidad de retención de agua del suelo según el tipo de cobertura vegetal de pino y pajonal (capacidad de campo, punto de marchitez y capacidad de retención de agua disponible)? • ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del suelo (textura, densidad aparente, densidad real, porosidad, pH, conductividad eléctrica, carbonato de calcio, nitrógeno total, materia orgánica, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables, calcio intercambiable, magnesio intercambiable, sodio intercambiable, acidez intercambiable y saturación de bases) según el tipo de cobertura vegetal (pino y pajonal)? • ¿Cuáles son las características fisicoquímicas del agua (temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, turbidez, pH, nitrato, fosfato, sulfato) según el tipo de cobertura vegetal (pino y pajonal)? 	<p>Hipótesis general Las características fisicoquímicas del suelo y agua superficial presentan mejoras significativas en las zonas forestadas de la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> • La capacidad de retención de agua del suelo en las zonas cubiertas con pajonal mejora con la presencia del pino en la microcuenca Toccto. • Las características fisicoquímicas del suelo de las zonas cubiertas con pajonal y pino en la microcuenca Toccto, se diferencian estadísticamente en la totalidad de sus parámetros evaluados. • Las características fisicoquímicas del agua superficial en las zonas cubiertas con pino en la microcuenca Toccto, cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental del Agua. 	<p>Objetivo General Evaluar las características fisicoquímicas del suelo y agua superficial en zonas cubiertas con pajonal y pino en la microcuenca de Toccto, ubicado en el distrito de Chiara, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho durante el período 2021-2022.</p> <p>Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comparar la capacidad de retención del agua del suelo en las zonas cubiertas con pajonal y pino en la microcuenca Toccto (capacidad de campo, punto de marchitez y capacidad de retención de agua disponible). • Evaluar las características fisicoquímicas del suelo (textura, densidad aparente, densidad real, porosidad, pH, conductividad eléctrica, carbonato de calcio, nitrógeno total, materia orgánica, fósforo disponible, potasio disponible, capacidad de intercambio catiónico, cationes intercambiables (calcio intercambiable, magnesio intercambiable, potasio intercambiable y sodio intercambiable), acidez intercambiable y saturación de bases) en las zonas cubiertas con pajonal y pino en la microcuenca Toccto. • Evaluar las características fisicoquímicas del agua (pH, conductividad eléctrica, turbidez, nitrato, fosfato y sulfato) en las zonas cubiertas con pajonal y pino en la microcuenca Toccto. 	<p>Independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ Cobertura vegetal (con pino y pajonal). <p>Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➢ Características fisicoquímicas del suelo. ➢ Características fisicoquímicas del agua. <p>Interviniente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Factores antrópicos (crianza de ganado ovino al borde del río que será objeto de estudio). 	<p>Tipo de Estudio La presente investigación posee un enfoque cuantitativo.</p> <p>Tipo de diseño El diseño metodológico de la presente investigación corresponde a un estudio cuantitativo no experimental.</p> <p>Tipo de investigación y su alcance El presente estudio corresponde a una investigación básica. Asimismo, posee un alcance correlacional.</p>	<p>a. Lugar del experimento Departamento: Ayacucho Provincia: Huamanga Distrito: Chiara Lugar: Toccto Coordenadas: 586952.59 m E, 8517886.45 m S</p> <p>b. Métodos y técnicas para la recolección de datos</p> <p>b.1. Capacidad de retención del agua y características fisicoquímicas del suelo</p> <p>b.1.1. Muestreo para determinar la capacidad de retención del agua en el suelo</p> <p>b.1.2. Muestreo para determinar las características físicas</p> <p>b.1.3. Muestreo de suelo para determinar la textura y las características químicas del suelo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Muestreo de suelo • Medición de profundidad efectiva del suelo <p>c. Medición de las características fisicoquímicas del agua superficial:</p> <p>c.1. Muestreo de agua</p> <p>c.2. Medición de caudal</p> <p>d. Análisis de datos Con los datos obtenidos se procedió a realizar el análisis estadístico utilizando el software Paleontological Statistics-PAST versión 4.04 (Hammer et al., 2001).</p>

Anexo 2. Pruebas estadísticas de los resultados de muestras de suelo y agua, microcuencia Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022

Anexo 2.1. Pruebas estadísticas de los resultados de las muestras de suelo, microcuencia Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022

Criterios evaluados para el cumplimiento de prueba paramétricas para dos tratamientos				Pruebas
Prueba de Normalidad (P>0,05)	Prueba de homogeneidad (P>0,05)	Independencia de muestra	Aleatoriedad	
a. Capacidad de retención de agua disponible (m³/ha)				
SI: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,9061 Pino p(normal)=0,9798	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,3945	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann- Whitney
b. Capacidad de campo (%)				
SI: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,7558 Pino p(normal)=0,4391	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,4107	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann- Whitney
c. Punto de marchitez (%)				
SI: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,7352 Pino p(normal)=0,2999	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,2059	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann- Whitney
d. Densidad aparente (g/cc)				
SI: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,0538 Pino p(normal)=0,8076	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,4713	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann- Whitney
e. Densidad real (g/cc)				
NO: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,0119	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,4713	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann- Whitney

Pino p(normal)=0,3089	variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,3351			
f. Porosidad (%)				
NO: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,0119 Pino p(normal)=0,3089	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,3351	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann- Whitney
g. Potencial de hidrogeno (pH) del suelo				
SI: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,3091 Pino p(normal)=0,2463	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,5884	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann- Whitney
h. Conductividad eléctrica del suelo				
NO: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,0004 Pino p(normal)=0,0043	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,6351	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann- Whitney
i. Contenido de materia orgánica del suelo				
NO: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,4608 Pino p(normal)=0,0053	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,5394	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann- Whitney
j. Contenido de nitrógeno total del suelo				
NO: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,4867 Pino p(normal)=0,0056	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,5350	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann- Whitney
k. Contenido de fosforo disponible del suelo				
SI: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,0619	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,5350	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann- Whitney

Pino p(normal)=0,0557	variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,4310			
l. Contenido de potasio disponible del suelo				
NO: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,1657 Pino p(normal)=0,0009	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,7073	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann-Whitney
m. Capacidad de intercambio catiónico del suelo				
NO: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,0140 Pino p(normal)=0,0142	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,5509	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann-Whitney
n. CATIONES INTERCAMBIABLES DEL SUELO				
Contenido de calcio intercambiable del suelo				
NO: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,0168 Pino p(normal)=0,5130	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,1926	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann-Whitney
Contenido de magnesio intercambiable del suelo				
NO: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,00003 Pino p(normal)=0,7268	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,3352	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann-Whitney
Contenido de potasio intercambiable del suelo				
SI: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,7845 Pino p(normal)=0,0833	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,5649	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann-Whitney
Contenido de sodio intercambiable del suelo				
SI: Prueba de Shapiro-Wilk W:	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se	Mann-Whitney

Pajonal p(normal)=0,0558 Pino p(normal)=0,2714	variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,9626		seleccionaron de forma aleatoria	
Acidez intercambiable (Aluminio más Hidrogeno) del suelo				
SI: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,7613 Pino p(normal)=0,5597	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,8822	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann-Whitney
o. Saturación de bases (%)				
NO: Prueba de Shapiro-Wilk W: Pajonal p(normal)=0,0019 Pino p(normal)=0,4081	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,6508	SI: los sitios muestreados son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Mann-Whitney

Anexo 2.2. Pruebas estadísticas de los resultados de muestras de agua, microcuenca
Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2021-2022

Criterios evaluados para el cumplimiento de prueba paramétricas para tres tratamientos				Pruebas
Prueba de Normalidad (P>0,05)	Prueba de homogeneidad (P>0,05)	Independencia de muestra	Aleatoriedad	
Parámetro Físico				
p. Potencial de hidrogeno (pH)				
Si: Prueba de Shapiro-Wilk W: Antes: p(normal)=0,744 Durante: p(normal)=0,1591 Después: p(normal)=0,560	Si: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,656	NO: los sitios muestreados no son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Kruskal-Wallis
q. Conductividad eléctrica (µS/cm)				
Si: Prueba de Shapiro-Wilk W: Antes: p(normal)=0,2846 Durante: p(normal)=0,2117 Después: p(normal)=1,000	NO: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,0045	NO: los sitios muestreados no son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Kruskal-Wallis
r. Sólidos disueltos (mg/l)				
Si: Prueba de Shapiro-Wilk W: Antes: p(normal)=0,1023 Durante: p(normal)=0,0911 Después: p(normal)=1,0000	Si: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,6807	NO: los sitios muestreados no son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Kruskal-Wallis
s. Turbidez (NTU)				
Si: Prueba de Shapiro-Wilk W: Antes: p(normal)=0,2267 Durante: p(normal)=0,3059 Después: p(normal)=0,8722	Si: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,8215	NO: los sitios muestreados no son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Kruskal-Wallis
t. Nitrato (mg/l NO₃)				

NO: Prueba de Shapiro-Wilk W: Antes: p(normal)=0,1790 Durante: p(normal)=0,0080 Después: p(normal)=0,0479	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,0952	NO: los sitios muestreados no son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Kruskal-Wallis
u. Fosfato (mg/l PO ₃)				
NO: Prueba de Shapiro-Wilk W: Antes: p(normal)=0,5569 Durante: p(normal)=0,7739 Después: p(normal)=0,0477	SI: Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=0,2408	NO: los sitios muestreados no son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Kruskal-Wallis
v. Sulfato (mg/l PO ₃)				
NO: Prueba de Shapiro-Wilk W: Antes: p(normal)=0,0011 Durante: p(normal)=0 Después: p(normal)=0	Prueba de Levene's, para homogeneidad de variancia, a partir de los promedios: p(normal)=SD	NO: los sitios muestreados no son independientes,	NO: Los puntos de muestreo no se seleccionaron de forma aleatoria	Kruskal-Wallis

Anexo 2. Evidencias fotográficas del área de estudio de la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2021-2022



Figura 2.1. Áreas con cobertura de pajonal y pino de la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, provincia de Huamanga, Ayacucho



Figura 2.2. Equipo técnico en proceso de medición de la sección transversal de La pendiente del área con cobertura de pajonal



Figura 2.3. Terron de suelo compuesto por raíces de pajonal



Figura 2.4. Muestreo de suelo en área cubierta con pino



Figura 2.5. Muestreador utilizado para el acopio de las muestras de suelo



Figura 2.6. Calicata del suelo en área cubierta por pajonal



Figura 2.7. Medición de la sección transversal del agua superficial de la microcuenca Toccto.



Figura 2.8. Muestreo de agua superficial de la microcuenca Toccto en botellas de polietileno



Figura 2.9. Reactivos y materiales de laboratorio utilizados en el análisis de las muestras de suelo en el laboratorio de suelos Multiservicios Agrolab



Figura 2.10. Medición del área de la sección transversal del cauce de río de la microcuenca Toccto, distrito de Chiara 2021-2022



Figura 2.11. Conos masculinos de los pinos, objeto de estudio



Figura 2.12. Conos femeninos jóvenes de los pinos objeto de estudio



Calicata 1 (1m), Medición de la profundidad del suelo en área cubierta con pino (plantados en sistema tresbolillo, a cada 3m), 5 cm de colchón de hojarasca, 0,23 m suelo orgánico y 0,77m suelo de color claro compactado,



Calicata 2 (>2m), Profundidad del suelo en área cubierta con pino, 0,22 m suelo orgánico y lo demás compuesto por diversidad de suelos acumulados,

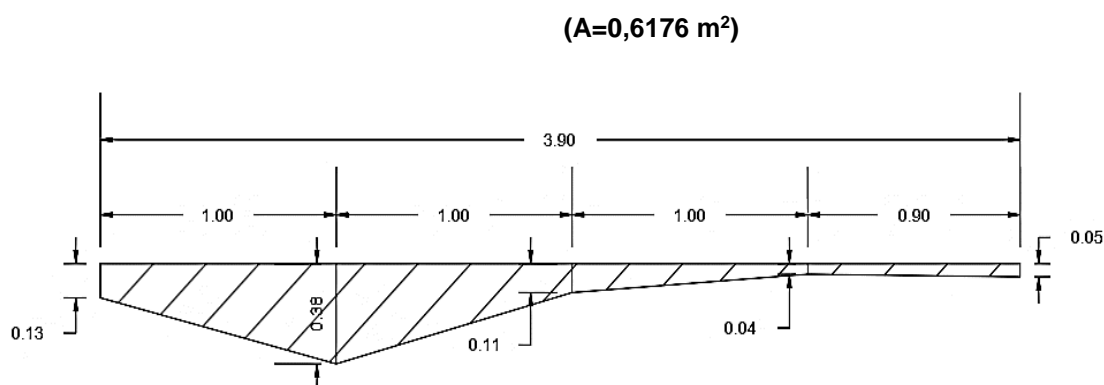
Figura 2.13. Medición de la profundidad del suelo en áreas cubiertas con pino y pajonal

Anexo 3. Valores del aforamiento del río de la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2021-2022

Anexo 3.A. Caudal del río de la microcuenca Toccto, octubre 2021

Tiempo (s)	Promedio de Tiempo (s)	Distancia (m)	Área (m ²)	Fc	Caudal (m ³ /s)
26,03	24,38	6,30	0,62	0,50	0,08
23,26					
25,38					
22,29					
25,08					
24,23					

Nota: El presente valor fue obtenido a través del Método del Flotador.



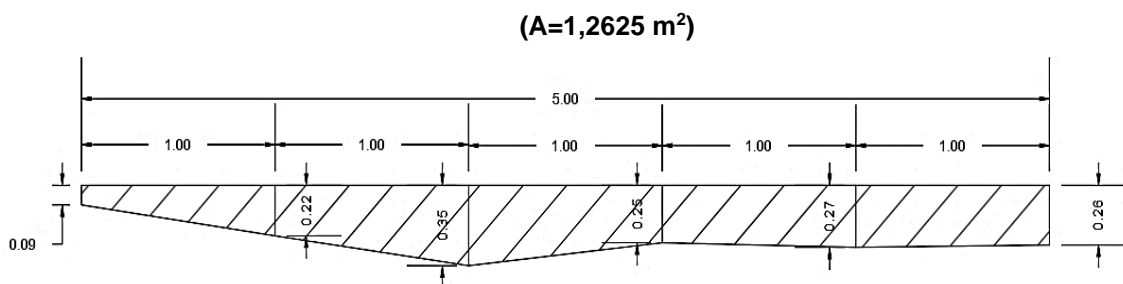
Nota: La medición de la sección fue realizada el mes de octubre del 2021, en el período de lluvias.

Anexo 3.A.1. Sección transversal del río de la microcuenca Toccto, octubre 2021

Anexo 3.B. Caudal del río de la microcuenca Toccto, febrero 2022

Tiempo (s)	Promedio de Tiempo (s)	Distancia (m)	Área (m ²)	Fc	Caudal (m ³ /s)
14,12	12,53	10,00	1,26	0,50	0,50
12,10					
14,60					
11,81					
11,79					

Nota: El presente valor fue obtenido a través del Método del Flotador,



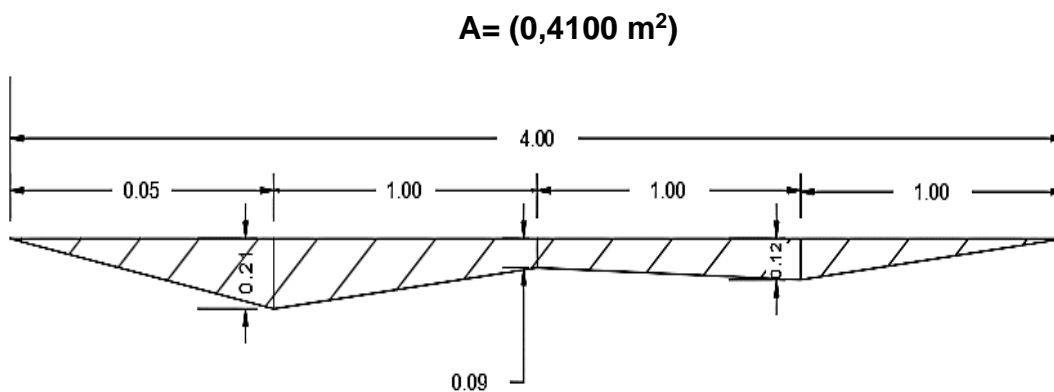
Nota: La medición de la sección fue realizada el mes de febrero del 2022, en el período de lluvias,

Anexo 3.B.1. Sección transversal del cauce del río de la microcuenca Toccto, febrero 2022

Anexo 3.C. Caudal del río de la microcuenca Toccto, agosto 2022

Tiempo (s)	Promedio de Tiempo (s)	Distancia (m)	Área (m ²)	Fc	Caudal (m ³ /s)
15,19	21,06	5,00	0,41	0,50	0,05
16,84					
13,22					
12,00					
17,00					
14,22					

Nota: El presente valor fue obtenido a través del Método del Flotador,



Nota: La medición de la sección fue realizada el mes de agosto del 2022, en el período seco.

Anexo 3.C.1. Sección transversal del cauce del río de la microcuenca Toccto, agosto 2022.

Anexo 4. Período y ubicación de los puntos de muestreo de suelo, microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022

ID	Mes	Período	Código	Tipo de cobertura	Zona de pendiente	Coordenadas		Altitud
						Este (m)	Sur (m)	Z
1	Febrero	Lluvia	P1-F-1	Pino	Alto	587391	8518652	3862
2	Febrero	Lluvia	P2-F-1	Pino	Medio	587404	8518644	3861
3	Febrero	Lluvia	P3-F-1	Pino	Bajo	587417	8518636	3831
4	Febrero	Lluvia	P1-F-2	Pino	Alto	587474	8518509	3825
5	Febrero	Lluvia	P2-F-2	Pino	Medio	587483	8518505	3827
6	Febrero	Lluvia	P3-F-2	Pino	Bajo	587492	8518500	3829
7	Febrero	Lluvia	Pj1-F-1	Pajonal	Alto	587495	8518562	3831
8	Febrero	Lluvia	Pj2-F-1	Pajonal	Medio	587488	8518565	3829
9	Febrero	Lluvia	Pj3-F-1	Pajonal	Bajo	587473	8518568	3827
10	Febrero	Lluvia	Pj1-F-2	Pajonal	Alto	587470	8518224	3817
11	Febrero	Lluvia	Pj2-F-2	Pajonal	Medio	587481	8518219	3820
12	Febrero	Lluvia	Pj3-F-2	Pajonal	Bajo	587488	8518215	3823
13	Junio	Seco	P1-J-1	Pino	Alto	586733	8517741	3860
14	Junio	Seco	P2-J-1	Pino	Medio	586721	8518072	3814
15	Junio	Seco	P3-J-1	Pino	Bajo	586545	8518409	3846
16	Junio	Seco	Pj1-J-1	Pajonal	Alto	586596	8517704	3775
17	Junio	Seco	Pj2-J-1	Pajonal	Medio	586538	8518033	3809
18	Junio	Seco	Pj3-J-1	Pajonal	Bajo	586504	8518210	3817
19	Agosto	Seco	P1-A-1	Pino	Alto	587388	8518625	3836
20	Agosto	Seco	P2-A-1	Pino	Medio	587400	8518622	3831
21	Agosto	Seco	P3-A-1	Pino	Bajo	587413	8518617	3830
22	Agosto	Seco	P1-A-2	Pino	Alto	587516	8519353	3886
23	Agosto	Seco	P2-A-2	Pino	Medio	587526	8519348	3882
24	Agosto	Seco	P3-A-2	Pino	Bajo	587534	8519345	3879
25	Agosto	Seco	Pj1-A-1	Pajonal	Alto	587497	8518640	3838
26	Agosto	Seco	Pj2-A-1	Pajonal	Medio	587482	8518636	3833
27	Agosto	Seco	Pj3-A-1	Pajonal	Bajo	587468	8518636	3832
28	Agosto	Seco	Pj1-A-2	Pajonal	Alto	587618	8519274	3881
29	Agosto	Seco	Pj2-A-2	Pajonal	Medio	587609	8519282	3878
30	Agosto	Seco	Pj3-A-2	Pajonal	Bajo	587598	8519291	3875

Anexo 5. Período y ubicación de los puntos de muestreo de agua, microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2021-2022

ID	Fecha de muestreo	Período	Puntos de muestreo	Grupo	Descripción del punto	Zona	Coordenadas		Altitud
							Este (m)	Sur (m)	
1	Octubre	LLUVIA	PM1-O-1	Antes	Punto de inicio de muestreo	18L	588876	8523563	4064
2	Octubre	LLUVIA	PM2-O-1	Antes	Ubicado a aproximadamente 838,28 m del P1	18L	588772	8522735	4043
3	Octubre	LLUVIA	PM3-O-1	Antes	Ubicado a aproximadamente 3536,24 m del P2	18L	587618	8519414	3875
4	Octubre	LLUVIA	PM4-O-1	Durante	Ubicado a aproximadamente 193,35 m del P3	18L	587397	8518792	3843
5	Octubre	LLUVIA	PM5-O-1	Durante	Ubicado a aproximadamente 896.02 m del P4	18L	586544	8518013	3836
6	Octubre	LLUVIA	PM6-O-1	Después	Ubicado a aproximadamente 1054,54 m del P5	18L	586680	8517655	3761
7	Febrero	LLUVIA	PM1-F-2	Antes	Punto de inicio de muestreo	18L	588889	8523565	4080
8	Febrero	LLUVIA	PM2-F-2	Antes	Ubicado a aproximadamente 838,28 m del P1	18L	588776	8522724	4032
9	Febrero	LLUVIA	PM3-F-2	Antes	Ubicado a aproximadamente 3536,24 m del P2	18L	587613	8519418	3866
10	Febrero	LLUVIA	PM4-F-2	Durante	Ubicado a aproximadamente 193,35 m del P3	18L	587438	8518677	3834
11	Febrero	LLUVIA	PM5-F-2	Durante	Ubicado a aproximadamente 896.02 m del P4	18L	587447	8518516	3875
12	Febrero	LLUVIA	PM6-F-2	Después	Ubicado a aproximadamente 1054,54 m del P5	18L	587397	8518792	3843
13	Agosto	SECO	PM1-A-3	Antes	Punto de inicio de muestreo	18L	588879	8523562	4073
14	Agosto	SECO	PM2-A-3	Antes	Ubicado a aproximadamente 838,28 m del P1	18L	588772	8222685	4045
15	Agosto	SECO	PM3-A-3	Antes	Ubicado a aproximadamente 3536,24 m del P2	18L	587609	8519529	3880
16	Agosto	SECO	PM4-A-3	Durante	Ubicado a aproximadamente 193,35 m del P3	18L	587561	8519356	3872
17	Agosto	SECO	PM5-A-3	Durante	Ubicado a aproximadamente 896.02 m del P4	18L	587406	8518731	3854
18	Agosto	SECO	PM6-A-3	Después	Ubicado a aproximadamente 1054,54 m del P5	18L	586685	8517673	3764

Anexo 6. Equipo multiparámetro electroautomatizado de la marca Hanna Combo.



**MEDIDOR COMBINADO DE PH / CE / TDS
HI98129 HANNA COMBO (RANGO
BAJO)**

[Cotizar ahora](#)

SKU: MED0003

CATEGORÍAS: ESTUDIOS AMBIENTALES, MULTIPARAMETROS

[AÑADIR A LA LISTA DE DESEOS](#)

[f](#) [t](#) [in](#) [G+](#) [✉](#)

Anexo 7. Interpretación de resultados de laboratorio

a. Textura del suelo

Contenido en el suelo (%)			Interpretación
Arena	limo	Arcilla	
85 a 100	0 a 15%	0 a 10%	Arena
70 a 90%	0 y 30%	0 y 15%	Arena Francoso
43 y 80%	0 y 50%	0 a 20%	Franco Arenoso
23 y 52%	28 y 50%	7 a 27%	Franco
0 y 50%	50 y 88%	0 y 27%	Franco limoso
20 y 45%	15 y 53%	27 y 40%	Franco arcilloso
45 a 80%	0 a 28%	20 a 35%	Franco arcillo arenoso
0 a 20%	40 a 73%	27 a 40%	Franco arcillo limoso
0 a 20%	80 a 100%	0 a 12%	Limo
0 y 45%	0 y 40%	40 y 100%	Arcilla

Fuente: Villarroel, 1988.

b. Capacidad de campo

Capacidad de campo	Observación
Menor de 7	Muy baja
7 - 12	Baja
12 - 20	Media baja
20 - 30	Media
Mayor de 30	Elevada

Fuente: Garrido, 1994.

c. Porosidad del suelo

Porosidad total (%)	Interpretación
<30	Muy Baja
30-40	Baja
40-50	Media
50-60	Alta
>60	Muy Alta

Fuente: García, 2017.

d. Conductividad eléctrica (CE)

Clasificación	C.E	Tolerancia de Plantas
	Milimhos/cm 1:1	
No salinos	<0,9	Prospera todos los cultivos
Débilmente salinos	0,9 a 1,8	Prosperan todos los cultivos
Moderadamente salinos	1,8 a 3,6	Rendimientos de muchos cultivos son restringidos
Fuertemente salinos	3,7 a 7,2	Solo cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente
Muy fuertemente salinos	> 7,2	Impropio para fines agrícolas

Fuente: Villarroel, 1988 y Castellanos et al., 2011.

* Milimhos/cm = dS/m.

e. Potencial de hidrogeno (pH)

Clasificación	pH
Muy fuertemente ácido	<4,5
Fuertemente ácido	4,6 – 5,2
Moderadamente ácido	5,3 – 5,9
Débilmente ácido	6,0 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,0
Débilmente alcalino	7,1 – 7,5
Moderadamente alcalino	7,6 – 8,0
Fuertemente alcalino	8,1 – 9,0
Muy fuertemente alcalino	>9,0

Fuente: Villarroel, 1988.

f. Materia orgánica (MO)

Clasificación	Contenido de M.O (%)
Muy bajos	0,0 – 1,0
Bajos	1,1 – 2,0
Moderados	2,1 – 4,0
Altos	4,1 – 8,0
Muy Altos	>8,0

Fuente: Villarroel, 1988.

g. Nitrógeno total (Nt)

Clasificación	Contenido de Nitrógeno total (%)
Muy bajos	< 0,05
Bajos	0,05 – 0,15
Moderados	0,15 – 0,20
Altos	0,20 – 0,30
Muy Altos	>0,30

Fuente: Villarroel, 1988.

h. Fósforo disponible (P)

Clasificación	P disponible (ppm)
Muy bajos	0 - 5
Bajos	5 – 13
Moderados	13 – 19
Altos	19 – 28
Muy Altos	>28

Fuente: Villarroel, 1988.

i. Potasio disponible (k)

Clasificación	K disponible (ppm)
Bajos	0 – 59
Altos	60 – 200
Muy Altos	>200

Fuente: Torrez & Chinchilla, 2006.

j. Capacidad de intercambio de cationes (CIC)

Clasificación	CIC (Cmol(+)/kg)
Muy bajos	< 5
Bajos	6 – 12
Moderados	13 – 25
Altos	26 – 40
Muy Altos	>40

Fuente: Villarroel, 1988 y Castellanos et al., 2011.

*meq/gr = Cmol(+)/kg.

k. Calcio (Ca)

Clasificación	Ca (Cmol(+)/kg)
Muy bajos	< 2,0
Bajos	2,0 – 5,0
Moderados	5,1 – 10,0
Altos	10,1 – 20,0
Muy Altos	>20,0

Fuente: Villarroel, 1988 y Castellanos et al., 2011.

*meq/gr = Cmol(+)/kg.

l. Magnesio (Mg)

Clasificación	Mg (Cmol(+)/kg)
Muy bajos	< 0,50
Bajos	0,51 – 1,50
Moderados	1,60 – 4,00
Altos	4,10 – 8,0
Muy Altos	>8,00

Fuente: Villarroel, 1988 y Castellanos et al., 2011.

*meq/gr = Cmol(+)/kg.

m. Potasio intercambiable (K)

Clasificación	K (Cmol(+)/kg)
Muy bajos	< 0,25
Bajos	0,26 – 0,50
Moderados	0,51 – 0,75
Altos	0,76 – 1,00
Muy Altos	>1,00

Fuente: Villarroel, 1988 y Castellanos et al., 2011.

*meq/gr = Cmol(+)/kg.

n. Sodio intercambiable (Na)

Clasificación	Na (Cmol(+)/kg)
Muy bajos	< 0,10
Bajos	0,10 – 0,30
Moderados	0,31 – 0,70
Altos	0,71 – 2,00
Muy Altos	>2,00

Fuente: Villarroel, 1988 y Castellanos et al., 2011.

*meq/gr = Cmol(+)/kg.

o. Saturación de Bases

Valor de la Saturación por bases (%)	Observaciones
Menor a 50	Suelo muy ácido; presentará dificultades en la nutrición de los cultivos; se aconseja añadir una enmienda caliza,
50 - 90	Suelo medio; su riqueza dependerá del valor de CIC total,
Mayor de 90	Suelo saturado en bases; sus sedes de intercambio están siendo utilizadas, Su pH es casi neutro o básico,

Fuente: Garrido, 1994.

Anexo 10. Resultados de análisis de suelo de la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022.



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANÁLISIS DE SUELOS : CARACTERIZACIÓN

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS.
- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS.
- ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

Solicitante	Sr. Ing. Juan Carlos Prado Flores			Fecha	07/03/2022
Nombre de proyecto	Evaluación de características fisicoquímicas del suelo y agua superficial en zonas forestadas y no forestadas de la microcuenca Toccto, Ayacucho.				
Departamento	Ayacucho	Provincia	Huamanga	Distrito	Chiara
Localidad	Toccto	Altitud	3836	Coordenadas	587381E; 8518649N

Lab	N° Muestra Campo	pH (1:1)	C.E. (1:1) dS.m-1	CaCO ₃ (%)	Nt (%)	MO (%)	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes cambiables					% Sat de Bases
									Arena %	Limo %	Arcilla %			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ + H ⁺	
11308	PI-1-3 PINO ALTO	5.04	0.06	0.00	0.45	9.12	5.54	103	43	35	22	Fr.	23.47	2.42	0.64	0.35	0.12	2.50	15
11305	PI-1-2 PINO MEDIO	4.96	0.05	0.00	0.49	10.08	3.18	113.5	ORGANICO			25.34	1.77	0.51	0.27	0.09	2.92	10	
11313	P1-1-1 PINO BAJO	4.96	0.05	0.00	0.58	11.86	3.97	87.5	ORGANICO			24.61	1.84	0.54	0.267	0.14	3.00	11	



[Firma]
Ph. D. MARIENI CERDA GÓMEZ
Responsable de Laboratorio

A = arena, A.Fr = Arena franca; Fr.A. = Franco arenoso; Fr = Franco; Fr.L = Franco limoso; L = Limoso; FrArA = Franco arcillo arenoso; FrAr = Franco arcilloso; FrArL = Franco arcillo limoso; ArA = Arcillo arenoso; ArL = Arcillo limoso; Ar = Arcilloso.

Urb. Mariscal Cáceres Mz. "G-12" - Ayacucho / ☎ (066) 312049 - 📞 966938028 - 966631889 / 📠 982781298 ✉ agrolab01@yahoo.es - agrolab107@gmail.com

Anexo 11. Determinación taxonómica del pino

CONSTANCIA

LA BIOLOGA LAURA AUCASIME MEDINA ESPECIALISTA EN TAXONOMÍA Y SISTEMÁTICA DE PLANTAS DEJA CONSTANCIA:

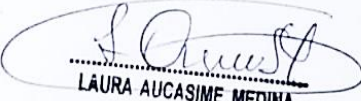
Que, el Ingeniero Agrónomo Sr. Juan Carlos, PRADO FLORES, ha solicitado la identificación de una muestra vegetal para un trabajo de tesis, para obtener el Grado de Maestro en Ciencias con mención en Gestión Ambiental y Biodiversidad.

Dicha muestra ha sido estudiada y determinada, según el Sistema de Clasificación de Engler y Prantl modificado por Melchior 1964. siendo su taxonomía la siguiente:

DIVISIÓN	:	CONIFEROPHYTA
CLASE	:	CONIFERINEA
ORDEN	:	CONIFERALES
FAMILIA	:	PINACEAE
GÉNERO	:	Pinus
ESPECIE	:	<i>Pinus radiata</i> D. Don.
N. V..	:	"pino "

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Ayacucho, 16 de abril del 2022


LAURA AUCASIME MEDINA
BIOLOGA
Reg. C.B.P. N° 583 C.R. - XIII

Anexo 12. Resultados del análisis de muestras de agua superficial de la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2021-2022.

Anexo 12.1. Valores de los parámetros fisicoquímicos de las muestras agua superficial recolectadas durante tres meses (octubre, febrero y agosto) en campo, micrcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2021-2022.

Puntos de muestreo	Parámetros		
	pH	Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	Sólidos disueltos totales (mg/l)
PM1-O-1	7.51	70	30
PM2-O-1	7.35	80	30
PM3-O-1	7.58	60	30
PM4-O-1	7.62	60	30
PM5-O-1	8.00	50	20
PM6-O-1	7.88	60	30
PM1-F-2	6.95	20	10
PM2-F-2	6.83	30	10
PM3-F-2	7.59	40	20
PM4-F-2	7.60	40	20
PM5-F-2	7.61	40	20
PM6-F-2	7.69	40	20
PM1-A-3	7.80	60	40
PM2-A-3	8.26	30	40
PM3-A-3	8.55	30	30
PM4-A-3	8.21	50	30
PM5-A-3	8.47	50	40

Anexo 13. Resultados del análisis de muestras de agua en laboratorio

Anexo 13.1. Valores de los parámetros fisicoquímicos del agua superficial de la microcuenca Toccto, recolectadas durante tres meses (octubre, febrero y agosto), distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2021-2022.

Puntos de muestreo	Parámetros			
	Turbidez (NTU)	Nitratos (mg/L NO ₃ ⁻)	Fosfatos (mg/L PO ₃ ⁻)	Sulfatos (mg/L SO ₄ ⁻)
PM1-O-1	24,10	0,96	7,98	75,66
PM2-O-1	28,50	0,35	7,14	24,26
PM3-O-1	35,20	0,38	6,64	0,00
PM4-O-1	21,60	0,36	4,29	0,00
PM5-O-1	20,50	0,31	2,77	0,00
PM6-O-1	19,30	0,28	4,79	0,00
PM1-F-2	32,50	0,26	5,73	14,95
PM2-F-2	33,10	0,34	6,38	9,47
PM3-F-2	38,60	0,31	6,84	0,00
PM4-F-2	36,20	0,38	5,59	0,00
PM5-F-2	34,70	0,35	8,37	0,00
PM6-F-2	29,50	0,27	4,86	0,00
PM1-A-3	11,78	0,70	5,30	14,09
PM2-A-3	2,85	0,57	2,60	11,63
PM3-A-3	9,28	0,62	4,10	8,70
PM4-A-3	7,50	0,37	7,50	0,00
PM5-A-3	6,42	0,61	1,80	0,00
PM6-A-3	6,42	0,62	2,40	0,00

Anexo 14. Resultados de las características químicas del suelo de la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022

Anexo 14.1. Parámetros químicos del suelo recolectadas durante tres meses (febrero, junio y agosto), microcuenca Toccto, distrito de Chiara 2022

ID	Código	pH (1:1)	CE (1:1) dS/m	CaCO ₃ ⁻ (%)	Nt (%)	MO (%)	P (ppm)	K (ppm)	CIC (Cmol (+) /kg)	Ca ⁺⁺ (Cmol (+) /kg)	Mg ⁺⁺ (Cmol (+) /kg)	K ⁺ (Cmol (+) /kg)	Na ⁺ (Cmol (+) /kg)	Al ³⁺ + H ⁺ (Cmol (+) /kg)	Saturación de bases (%)	Clase Textural
1	*P1-F-1	5,04	0,06	0	0,45	9,12	5,54	103,0	23,47	2,42	0,64	0,350	0,12	2,50	15	Franco
2	P2-F-1	4,96	0,05	0	0,49	10,08	3,18	113,5	25,34	1,77	0,51	0,270	0,09	2,92	10	Suelo Orgánico
3	P3-F-1	4,96	0,05	0	0,58	11,86	3,97	87,5	24,61	1,84	0,54	0,267	0,14	3,00	11	Suelo Orgánico
4	P1-F-2	5,07	0,05	0	0,43	8,85	5,02	100,0	23,77	2,25	0,72	0,310	0,12	2,48	14	Franco
5	P2-F-2	5,00	0,06	0	0,46	9,33	3,61	83,0	24,01	1,93	0,58	0,270	0,11	3,00	12	Franco
6	P3-F-2	5,04	0,05	0	0,48	9,82	3,53	100,0	24,56	1,76	0,53	0,230	0,09	3,20	11	Franco
7	**Pj1-F-1	4,89	0,04	0	0,55	11,25	4,67	93,0	24,96	1,66	0,49	0,256	0,09	3,10	10	Suelo Orgánico
8	Pj2-F-1	4,85	0,05	0	0,59	12,00	4,05	98,5	26,14	1,72	0,51	0,290	0,10	3,26	10	Suelo Orgánico
9	Pj3-F-1	4,89	0,05	0	0,65	13,17	3,44	130,5	26,24	1,98	0,61	0,374	0,13	3,32	12	Suelo Orgánico
10	Pj1-F-2	5,00	0,05	0	0,47	9,67	3,97	110,0	23,68	1,98	0,54	0,318	0,11	2,80	12	Franco
11	Pj2-F-2	4,95	0,05	0	0,56	11,52	3,09	133,0	25,92	2,05	0,58	0,349	0,13	3,22	12	Suelo Orgánico
12	Pj3-F-2	4,96	0,05	0	0,62	12,62	4,58	150,5	30,72	2,64	0,72	0,450	0,14	3,30	13	Suelo Orgánico
13	P1-J-1	4,88	0,04	0	0,48	9,74	3,09	86,0	23,40	1,61	0,46	0,174	0,09	4,26	10	Franco
14	P2-J-1	4,79	0,06	0	0,82	16,73	3,00	70,0	28,91	1,99	0,61	0,154	0,11	3,74	10	Suelo Orgánico
15	P3-J-1	4,83	0,06	0	0,54	10,97	1,51	59,5	25,40	2,23	0,64	0,174	0,12	2,84	12	Suelo Orgánico
16	Pj1-J-1	4,60	0,04	0	0,59	12,07	5,72	93,5	28,54	2,29	0,61	0,210	0,10	4,32	11	Suelo Orgánico
17	Pj2-J-1	4,75	0,09	0	0,36	7,41	10,81	137,5	23,45	2,74	0,61	0,349	0,14	2,24	16	Suelo Orgánico

ID	Código	pH (1:1)	CE (1:1) dS/m	CaCO ₃ (%)	Nt (%)	MO (%)	P (ppm)	K (ppm)	CIC (Cmol (+) /kg)	Ca ⁺⁺ (Cmol (+) /kg)	Mg ⁺⁺ (Cmol (+) /kg)	K ⁺ (Cmol (+) /kg)	Na ⁺ (Cmol (+) /kg)	Al ³⁺ + H ⁺ (Cmol (+) /kg)	Saturación de bases (%)	Clase Textural
18	Pj3-J-1	4,86	0,06	0	0,44	9,05	3,97	97,5	24,80	3,86	1,28	0,236	0,12	2,12	22	Suelo Orgánico
19	P1-A-1	5,04	0,06	0	0,52	10,56	4,93	227,0	24,31	2,41	0,74	0,477	0,16	2,00	16	Suelo Orgánico
20	P2-A-1	4,94	0,04	0	1,23	25,14	13,18	103,5	26,47	1,32	0,46	0,262	0,13	3,30	8	Suelo Orgánico
21	P3-A-1	4,76	0,06	0	0,74	15,09	8,70	119,0	25,12	2,04	0,59	0,200	0,11	2,10	12	Suelo Orgánico
22	P1-A-2	4,96	0,05	0	0,62	12,62	6,77	115,0	24,72	2,41	0,66	0,292	0,12	3,02	14	Suelo Orgánico
23	P2-A-2	4,88	0,04	0	0,70	14,26	5,72	103,0	25,00	1,97	0,58	0,190	0,11	2,60	11	Suelo Orgánico
24	P3-A-2	5,00	0,05	0	0,86	17,56	9,32	125,0	25,37	1,83	0,51	0,262	0,14	2,52	11	Suelo Orgánico
25	Pj1-A-1	4,72	0,06	0	0,81	16,56	9,05	150,0	25,44	1,55	0,51	0,349	0,13	3,40	10	Suelo Orgánico
26	Pj2-A-1	4,80	0,04	0	0,79	16,19	10,11	102,0	25,11	1,49	0,49	0,256	0,11	3,66	9	Suelo Orgánico
27	Pj3-A-1	4,96	0,05	0	0,87	17,83	6,60	130,0	25,61	2,00	0,58	0,318	0,13	3,98	12	Suelo Orgánico
28	Pj1-A-2	4,72	0,04	0	0,65	13,30	12,21	120,0	24,61	2,08	0,59	0,287	0,13	2,82	13	Suelo Orgánico
29	Pj2-A-2	4,84	0,04	0	0,91	18,65	9,58	138,0	25,57	2,26	0,67	0,354	0,10	3,60	13	Suelo Orgánico
30	Pj3-A-2	4,96	0,05	0	0,88	17,97	8,97	157,0	25,94	2,27	0,67	0,328	0,14	3,14	13	Suelo Orgánico

*Pi: pino

**Pji: pajonal

Anexo 15. Resultados de las características físicas del suelo de la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022

Anexo 15.1. Valores de las características físicas de los suelos recolectados durante tres meses (febrero, junio y agosto) y dos períodos (lluvia y seco), microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2021-2022

ID	Código	Tipo de cobertura	Zona de pendiente	Capacidad de campo (%)	Punto de marchitez (%)	Densidad Aparente (g/cc)	Densidad Real (g/cc)	Porosidad (%)	Capacidad de Retención de agua disponible (m ³ /ha)
1	P1-F-1	Pino	Alto	41,52	23,45	0,74	1,64	54,83	133,72
2	P2-F-1	Pino	Medio	52,03	29,26	0,52	1,60	67,54	118,40
3	P3-F-1	Pino	Bajo	52,98	29,72	0,67	1,50	55,76	155,84
4	Pj1-F-1	Pajonal	Alto	54,51	30,62	0,67	1,51	55,71	160,06
5	Pj2-F-1	Pajonal	Medio	49,81	27,46	0,66	1,52	57,03	147,51
6	Pj3-F-1	Pajonal	Bajo	57,02	31,63	0,62	0,96	63,83	157,42
7	P1-J-1	Pino	Alto	37,02	19,54	0,80	1,87	57,49	139,84
8	P2-J-1	Pino	Medio	42,50	22,29	0,48	1,66	71,75	97,01
9	P3-J-1	Pino	Bajo	40,03	20,79	0,83	1,71	51,63	159,69
10	Pj1-J-1	Pajonal	Alto	36,50	18,38	0,97	1,76	45,02	175,76
11	Pj2-J-1	Pajonal	Medio	44,20	23,61	0,67	1,43	53,36	137,95
12	Pj3-J-1	Pajonal	Bajo	44,20	23,61	0,67	1,43	53,36	137,95
13	P1-A-1	Pino	Alto	38,50	19,76	0,61	1,70	64,10	114,31
14	P2-A-1	Pino	Medio	56,50	29,67	0,72	1,72	57,90	193,18
15	P3-A-1	Pino	Bajo	45,02	23,58	0,56	1,63	66,13	120,06
16	P1-A-2	Pino	Alto	28,60	14,74	1,02	1,90	46,74	141,37
17	P2-A-2	Pino	Medio	40,02	20,87	0,83	1,70	51,22	158,95
18	P3-A-2	Pino	Bajo	44,70	23,91	0,81	1,68	51,88	168,40
19	Pj1-A-1	Pajonal	Alto	44,01	22,86	0,75	1,65	54,45	158,63
20	Pj2-A-1	Pajonal	Medio	53,00	27,71	0,66	1,51	56,26	166,91
21	Pj3-A-1	Pajonal	Bajo	49,50	25,62	0,43	1,57	72,64	102,68
22	Pj1-A-2	Pajonal	Alto	50,60	26,81	0,70	1,44	51,26	166,53
23	Pj2-A-2	Pajonal	Medio	52,03	27,87	0,76	1,63	53,11	183,62
24	Pj3-A-2	Pajonal	Bajo	50,51	26,65	0,72	1,56	54,26	171,79

Anexo 16. Valor promedio de las constantes de humedad y la capacidad de retención del agua disponible en el suelo por tipo de cobertura, microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022

Características fisicoquímicas	Pajonal	Pino	u	p-valor
Capacidad de campo del suelo (%)	48,82 ± 11,59 (36,50-57,02)	43,28 ± 17,80 (28,60-56,50)	42,5	0,0939
Punto de marchitez (%)	26,07 ± 13,78 (18,38-31,63)	23,13 ± 19,79 (14,74-29,72)	43,0	0,0998
Capacidad de retención de agua disponible (m ³ /ha)	357,81 ± 14,00 (236,17-422,32)	325,98 ± 19,04 (223,12-444,30)	47	0,1571

Nota: Se muestra el promedio ± el coeficiente de variación acompañado del mínimo y el máximo.

En el p-valor de Mann Whitney (u), se colocó (*) si p<0,05 y (**) si p<0,01.

Anexo 17. Valores promedio, coeficiente de variación, mínimo-máximo de las características fisicoquímicas del suelo por tipo de cobertura, microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022

Características fisicoquímicas	Pajonal	Pino	u	p-valor
Densidad aparente (g/cc)	0,69 ± 17,66 (0,43-0,97)	0,72 ± 21,75 (0,48-1,02)	61,0	0,5432
Densidad real (g/cc)	1,50 ± 13,06 (0,96-1,76)	1,69 ± 6,40 (1,50-1,90)	21,5	0,0039**
Porosidad (%)	55,86 ± 12,19 (45,02-72,64)	58,08 ± 13,23 (46,74-71,75)	59,0	0,4704
Potencial de hidrogeno (pH)	4,85 ± 2,34 (4,60-5,00)	4,94 ± 1,94 (4,76-5,07)	59,5	0,0286*
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0,051 ± 25,26 (0,04-0,09)	0,052 ± 16,25 (0,04-0,06)	88,5	0,2992
Materia orgánica (%)	13,28 ± 25,99 (7,41-18,65)	12,78 ± 34,60 (8,85-25,14)	91,5	0,3951
Nitrógeno total (%)	0,65 ± 26,06 (0,36-0,91)	0,63 ± 34,50 (0,43-1,23)	91,5	0,3950
Contenido de fosforo disponible (ppm)	6,72 ± 45,86 (3,09-12,21)	5,40 ± 56,17 (1,51-13,18)	81,0	0,1982
Contenido de potasio (ppm)	122,73 ± 18,12 (93,00-157,00)	106,33 ± 35,66 (59,5-227,00)	63,0	0,0421*
Capacidad de intercambio catiónico (CIC, Cmol (+)/kg)	25,78 ± 7,02 (23,45-30,72)	24,96 ± 5,47 (23,40-28,91)	70,5	0,0852
Calcio intercambiable (Ca ⁺⁺ , Cmol (+)/kg)	2,17 ± 27,16 (1,49-3,86)	1,99 ± 16,00 (1,32-2,42)	93,0	0,4306
Magnesio intercambiable (Mg ⁺² , Cmol (+)/kg)	0,63 ± 30,49 (0,49-1,28)	0,59 ± 14,61 (0,46-0,74)	104,0	0,7390
Potasio intercambiable (K ⁺² , Cmol (+)/kg)	0,31 ± 19,44 (0,21-0,45)	0,26 ± 31,73 (0,15-0,48)	60,0	0,0309*
Sodio intercambiable (Na ⁺² , Cmol (+)/kg)	0,12 ± 14,09 (0,09-0,14)	0,12 ± 16,88 (0,09-0,16)	99,0	0,5845

Acidez intercambiable ($\text{Al}^{3+}+\text{H}^+$, Cmol (+)/kg)	3,22 ±18,01 (2,12-4,32)	2,90 ±20,34 (2,00-4,26)	69,5	0,0779
Saturación de bases del suelo (%)	12,53 ±25,03 (9,00-22,00)	11,8 ±18,18 (8,00-16,00)	99,0	0,5846

Nota: Se muestra el promedio ± el coeficiente de variación acompañado del mínimo y el máximo.

En el p-valor de Mann Whitney (u), se colocó (*) si $p < 0,05$ y (**) si $p < 0,01$.

Anexo 18. Valores promedio, coeficiente de variación, mínimo y máximo de las características fisicoquímicas del agua superficial de la microcuenca Toccto en referencia al pino, distrito de Chiara 2021-2022.

Características fisicoquímicas	Área con cobertura de pino			p-Valor
	Antes	Durante	Después	
Sólidos disueltos (mg/l)	26,67±41,92 (10,00-40,00)	26,67±30,62 (20,00-40,00)	30,00±33,33 (20,00-40,00)	0,8670
Turbidez (NTU)	23,99±53,69 (2,85-38,60)	21,15±60,32 (6,42-36,20)	18,41±62,84 (6,42-29,50)	0,6476
Potencial de hidrogeno (pH)	7,60±7,30 (6,83-8,55)	7,91±4,66 (7,60-8,47)	7,97±4,13 (7,69-8,33)	0,1825
Conductividad Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	46,67±45,46 (20,00-80,00)	48,33±15,58 (40,00-60,00)	50,00±20,00 (40,00-60,00)	0,8894
Nitrato (mg/l NO_3^-)	0,50±46,31 (0,26-0,96)	0,40±27,04 (0,31-0,61)	0,39±51,09 (0,27-0,62)	0,5957
Fosfato (mg/l PO_4^{3-})	5,86±28,33 (2,60-7,98)	5,05±51,34 (1,80-8,37)	4,02±34,86 (2,40-4,86)	0,3197
Sulfato disuelto (mg/l)	17,64±130,43 (0,00-75,66) ^a	0 ^b	0 ^b	0,0067*

Nota: Se muestra el promedio ± el coeficiente de variación acompañado del mínimo y el máximo.

En el p-valor de Kruskal Wallis (*), si p-valor $< 0,05$.

Anexo 19. Rotulado de agua y suelo

Muestra de agua	
Población	: Río Mozoqcancha
Sección	: Antes, durante o después de la cobertura con pino
Ubicación	: Toccto
Coordenadas (UTM)	
Código	: MA-1

Muestra de suelo	
Población	: Suelo con cobertura de pino o pajonal
Posición topográfica	: Baja, media o alta
Ubicación	: Toccto
Coordenadas (UTM)	
Código	: MS-1

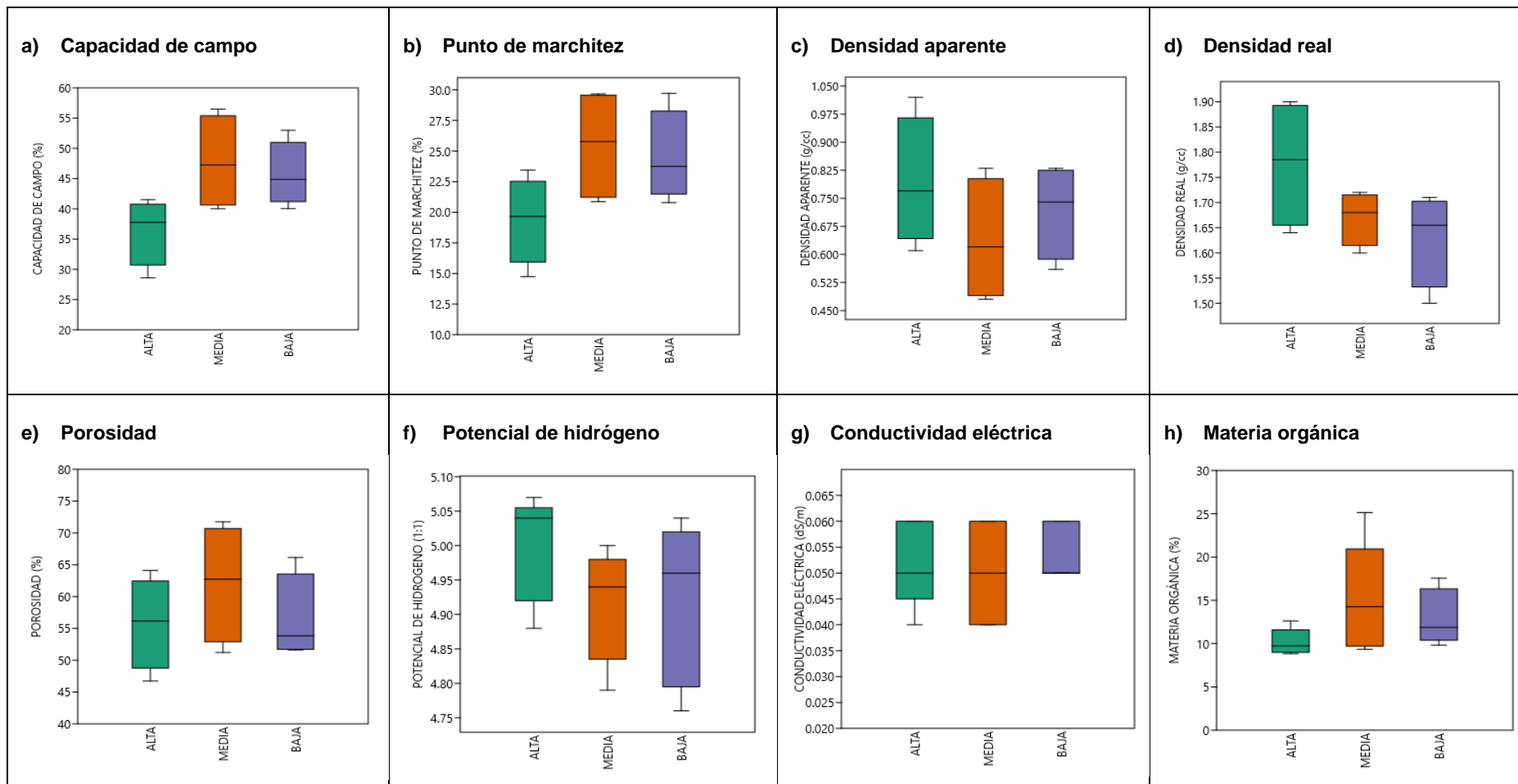
Anexo 20. Resumen de la influencia de la pendiente en el valor de los parámetros evaluados

Anexo 20.1. Valores de los parámetros del suelo por tipo de cobertura y zona de pendiente, microcuenca Toccto, distrito de Chiara 2022

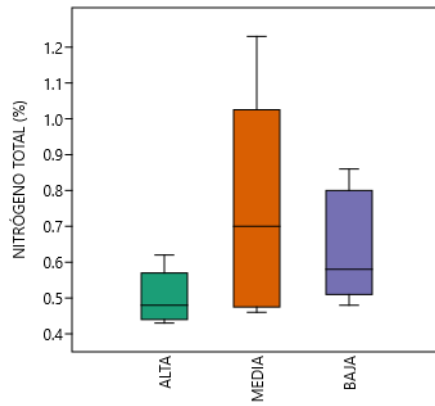
Parámetros del suelo	Muestreo de suelo con cobertura de pino de acuerdo a zona de pendiente			Muestreo de suelo con cobertura de pajonal de acuerdo a zona de pendiente			Variación para suelos con cobertura de pino		Variación para suelos con cobertura de pajonal		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta - Media	Media - Baja	Alta - Media	Media - Baja	
Físicos	Capacidad de campo (%)	36,41	47,76	45,68	46,41	49,76	50,31	11,350	-2,080	3,350	0,550
	Punto de marchitez (%)	19,37	25,52	24,50	24,67	26,66	26,88	6,150	-1,020	1,990	0,220
	Densidad Aparente (g/cc)	0,79	0,64	0,72	0,77	0,69	0,61	-0,150	0,080	-0,080	-0,080
	Densidad Real (g/cc)	1,78	1,67	1,63	1,59	1,52	1,38	-0,110	-0,040	-0,070	-0,140
	Porosidad (%)	55,79	62,10	56,35	51,61	54,94	61,02	6,310	-5,750	3,330	6,080
Químicos	pH	5,00	4,91	4,92	4,79	4,84	4,93	-0,090	0,010	0,050	0,090
	C,E dS/m	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-0,002	0,004	0,008	-0,002
	Nt (%)	0,50	0,74	0,64	0,61	0,64	0,69	0,240	-0,100	0,030	0,050
	MO (%)	10,18	15,11	13,06	12,57	13,15	14,13	4,930	-2,050	0,580	0,980
	P (ppm)	5,07	5,74	5,41	7,12	7,53	5,51	0,670	-0,330	0,410	-2,020
	K (ppm)	126,20	94,60	98,20	113,30	121,80	133,10	-31,600	3,600	8,500	11,300
	CIC (Cmol (+) /kg)	23,93	25,95	25,01	25,45	25,24	26,66	2,020	-0,940	-0,210	1,420
	Ca ⁺⁺ (Cmol (+) /kg)	2,22	1,80	1,94	1,91	2,05	2,55	-0,420	0,140	0,140	0,500
	Mg ⁺⁺ (Cmol (+) /kg)	0,64	0,55	0,56	0,55	0,57	0,77	-0,090	0,010	0,020	0,200
	K ⁺ (Cmol (+) /kg)	0,32	0,23	0,23	0,28	0,32	0,34	-0,090	0,000	0,040	0,020
	Na ⁺ (Cmol (+) /kg)	0,12	0,11	0,12	0,11	0,12	0,13	-0,010	0,010	0,010	0,010
	Al ⁺³ + H ⁺ (Cmol (+) /kg)	2,85	3,11	2,73	3,29	3,20	3,17	0,260	-0,380	-0,090	-0,030
	Saturación de bases (%)	13,80	10,20	11,40	11,20	12,00	14,40	-3,600	1,200	0,800	2,400

Valor	Influencia de la pendiente
≤0	No Influye
>0	Influye

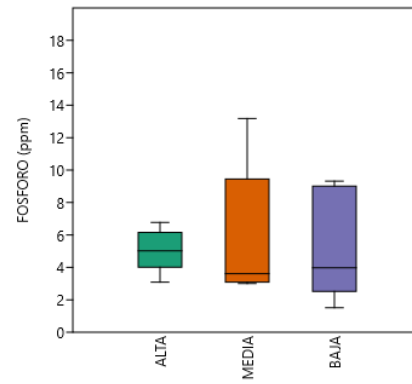
Anexo 21. Cajas y bigotes de las características fisicoquímicas del suelo con cobertura de pino por zona de pendiente, microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022.



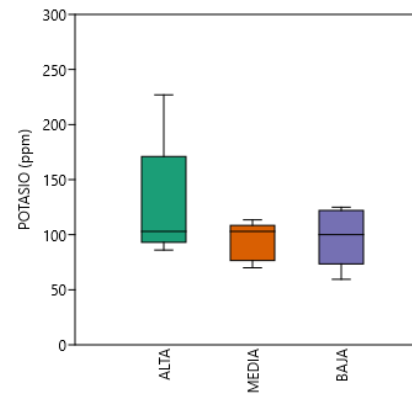
i) Nitrógeno total



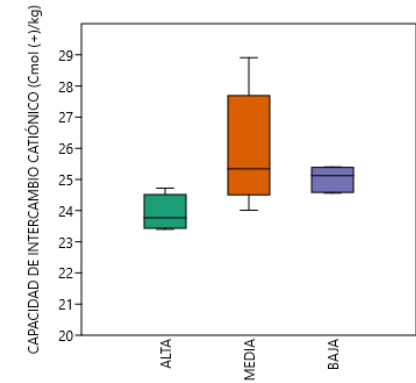
j) Fósforo disponible



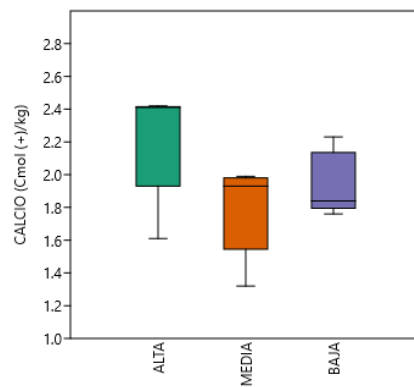
k) Potasio disponible



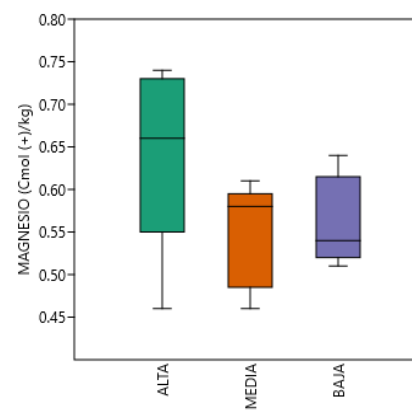
l) Capacidad de intercambio catiónico



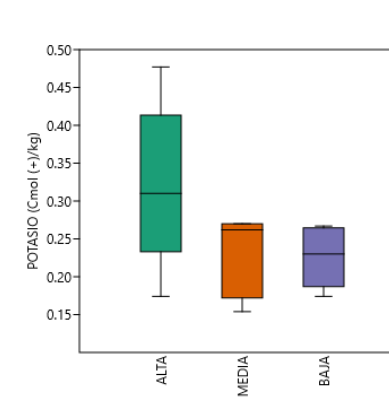
m) Calcio intercambiable



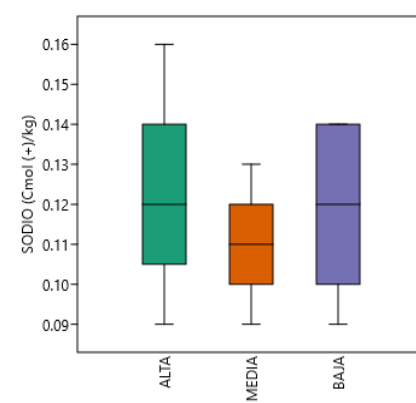
n) Magnesio intercambiable



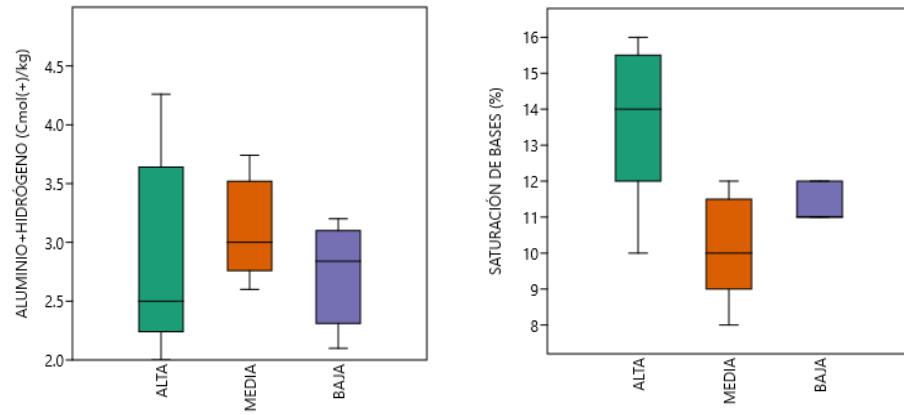
o) Potasio intercambiable



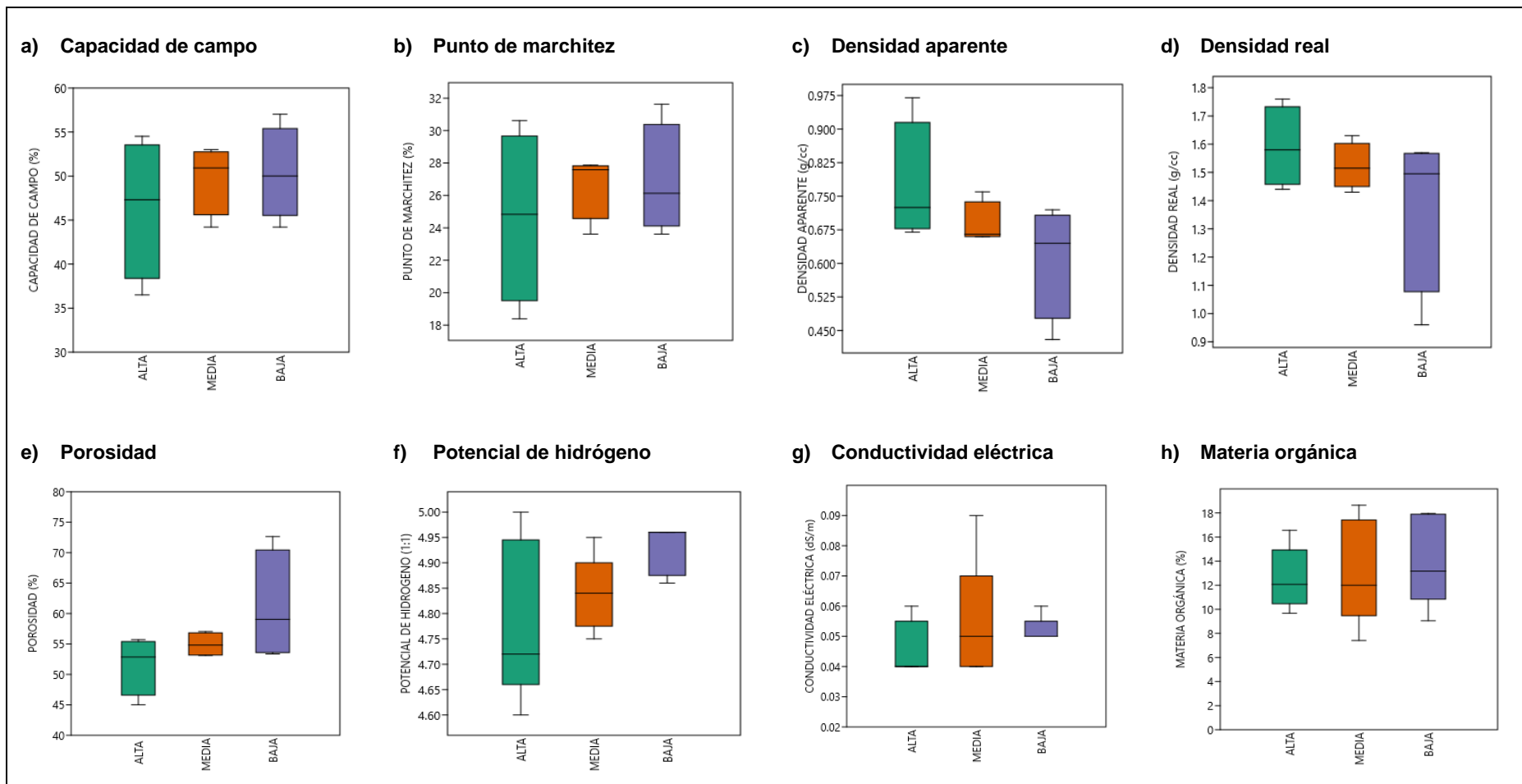
p) Sodio intercambiable



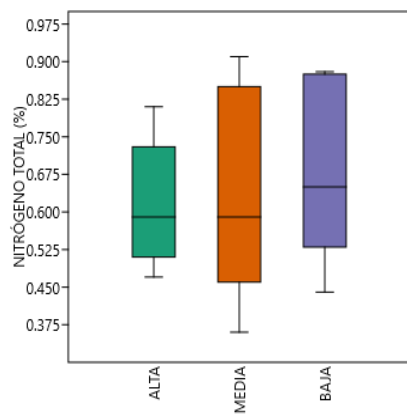
q) Acidez intercambiable (aluminio más hidrógeno) r) Saturación de bases



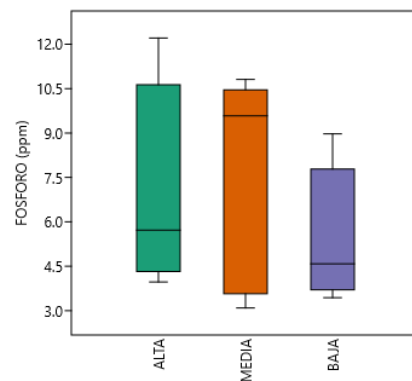
Anexo 21. Cajas y bigotes de las características fisicoquímicas del suelo con cobertura de pajonal por zona de pendiente, microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022.



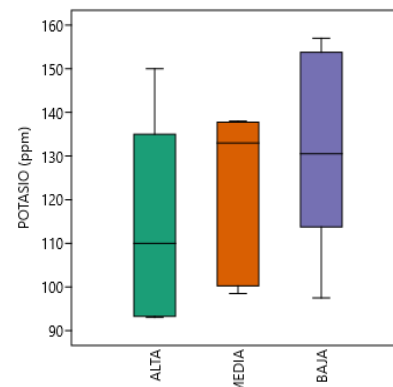
i) Nitrógeno total



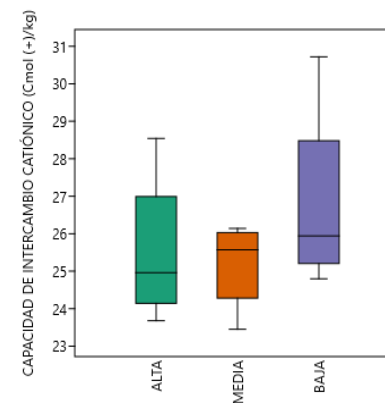
j) Fósforo disponible



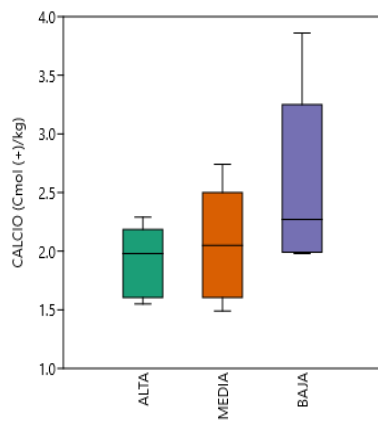
k) Potasio disponible



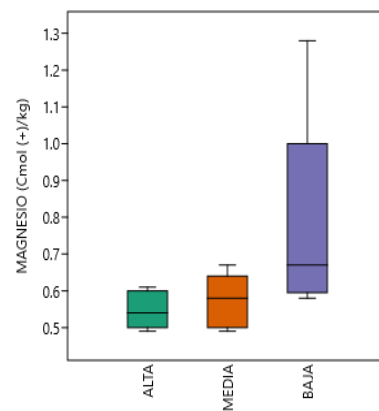
l) Capacidad de intercambio catiónico



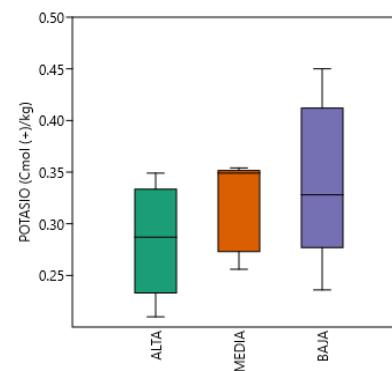
m) Calcio intercambiable



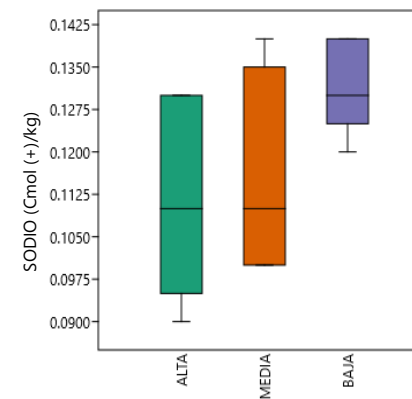
n) Magnesio intercambiable



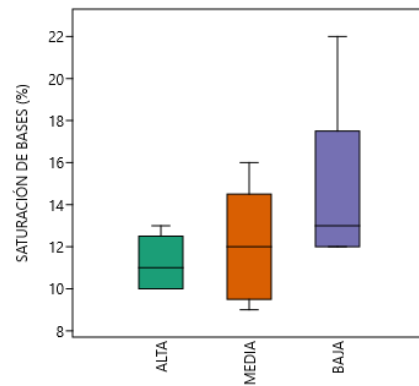
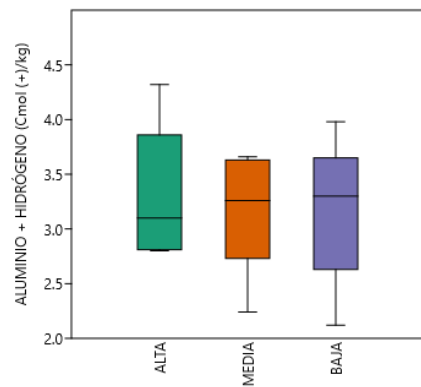
o) Potasio intercambiable



p) Sodio intercambiable



q) Acidez intercambiable (aluminio más hidrógeno)
r) Saturación de bases.



Anexo 22. Artículo Científico

Características fisicoquímicas del suelo y del agua superficial en zonas con diferente cobertura vegetal, microcuenca Toccto, Ayacucho 2021

Juan Carlos Prado Flores

Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de
Huamanga

juan.prado.28@unsch.edu.pe

Resumen

Esta investigación evaluó las características fisicoquímicas del suelo y del agua superficial en la microcuenca Toccto, Ayacucho (3952 m.s.n.m.), comparando áreas de pajonal y pino (*Pinus radiata* D. Don) durante 2021-2022. La metodología incluyó muestreos estacionales (lluvia y estiaje) empleando mediciones *in situ*, análisis de laboratorio para parámetros físicos y químicos. Los resultados indicaron que el pajonal posee una mayor capacidad de retención de agua (357,81 m³/ha) frente al pino (325,98 m³/ha), aunque sin diferencias estadísticas significativas. No obstante, se hallaron diferencias estadísticas en el suelo: la cobertura de pino presentó mayor densidad real (1,69 gr/cc) y el pH más elevado (4,94) que el pajonal. En contraste, el pajonal mostró niveles superiores de potasio disponible (122,173 ppm) e intercambiable (106,33 ppm). Respecto al agua superficial, las concentraciones de sulfato variaron significativamente entre tramos, aunque todas las características analizadas cumplen con los Estándares de Calidad del agua (Categoría 1-A2) para potabilización convencional. Con base a lo antes expuesto se concluye que, si bien ambas

coberturas mantienen la aptitud del agua, el pajonal ofrece ventajas comparativas en la regulación hídrica y disponibilidad de nutrientes.

Palabras claves: pino, pajonal, agua, características fisicoquímicas.

Abstract

This research evaluated the physicochemical properties of soil and surface water within the Toccto micro-watershed in Ayacucho, Peru (located at 3,952 m.a.s.l.), comparing high-altitude tussock grassland (*pajonal*) and pine plantation (*Pinus radiata* D. Don) during the 2021-2022 period. The methodology employed seasonal sampling (wet and dry seasons) incorporating *in situ* measurements and laboratory analysis of physical and chemical parameters. The findings indicated that the grassland possesses a higher water retention capacity (357,81 m³/ha) compared to the pine cover (325,98 m³/ha), although these differences were not statistically significant. However, significant statistical variations were observed in soil composition: the pine-covered areas exhibited higher particle density (1,69 g/cm³) and a higher pH (4,94) than the grassland. Conversely, the grassland showed superior levels of available potassium (122,173 ppm) and exchangeable potassium (106,33 ppm). Regarding surface water, sulfate concentrations varied significantly across different reaches; nevertheless, all analyzed parameters comply with the Water Quality Standards (Category 1-A2) for conventional treatment. Based on these results, it is concluded that while both land covers maintain water suitability, the natural *pajonal* (grassland) offers comparative advantages in terms of hydrological regulation and nutrient availability.

Keywords: pine, high-altitude grassland, water physicochemical characteristics.

I. Introducción

La vegetación estratégica desempeña un rol crítico en la estabilidad de los ecosistemas altoandinos, pues regula la infiltración de hídrica, modula el microclima y provee materia orgánica esencial para la salud del suelo (Moreno, 2012). En el departamento de Ayacucho, la forestación con especies exóticas como el pino (*Pinus radiata* D. Don) ha modificada sustancialmente la cobertura original de pajonal. Aunque diversos sectores promueven estas plantaciones por su capacidad de secuestro de carbono y control de la erosión, la evidencia científica actual sugiere impactos inciertos sobre la provisión de agua y la biodiversidad nativa (Mosquera et al., 2022).

En la microcuenca Toccto, el ecosistema de pajonal dominado por la familia de las Gramíneas y las Asteráceas coexisten con las plantaciones forestales. Si bien algunas investigaciones atribuyen al pino beneficios en la recuperación de áreas degradadas, otros estudios advierten sobre la reducción del rendimiento hídrico, la disminución de la diversidad herbácea y la alteración del ciclo del nitrógeno en el suelo (Buytaert et al., 2007; Medina et al., 2022; Wang et al., 2019). Esta dicotomía es especialmente preocupante ante la creciente escasez de agua dulce derivado del cambio climático y la conservación de las cabeceras de cuenca.

Debido a la falta de consenso y la necesidad de gestionar los pastizales altoandinos bajo criterios de sostenibilidad, este estudio ha evaluado las características fisicoquímicas del suelo y agua superficial de la microcuenca Toccto. La investigación comparó áreas bajo cobertura de pajonal y pino durante

los períodos de lluvia y estiaje, con el fin de generar información empírica que sustente la formulación de políticas ambientales equilibradas en la región.

II. Metodología

2.1. Diseño y tipo de investigación

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un tipo de investigación básica y un alcance correlacional, además de un diseño no experimental de corte transversal (Hernández et al., 2014).

2.2. Área de estudio

El estudio se localiza en la microcuenca Toccto, distrito de Chiara, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho, a una altitud de 3952 m.s.n.m., abarcando la zona de vida Páramo muy húmedo – SUBALPINO SUBTROPICAL (GRA, 2013). Geográficamente, el centroide se localiza en las coordenadas UTM 58788,00 m E y 8520844,00 m S (WGS 84).

2.3. Muestreo y recolección de datos

Para el presente estudio se realizó muestreos durante meses de octubre 2021 y febrero, junio y agosto 2022, para capturar variabilidad de las características fisicoquímicas del suelo y agua superficial de la microcuenca Toccto.

2.3.1. Suelo

Se establecieron unidades de muestreo en zonas con cobertura de pino y pajonal. Asimismo, se recolectaron muestras para el análisis químico y físico

en laboratorio, empleando métodos del cilindro propuesto por García (2017) para determinar la densidad aparente y real, así como la porosidad. Además, del muestreo compuesto propuesto por Gómez (2013) y MIDAGRI (2024), para las características químicas. El análisis de las muestras en laboratorio siguió procedimientos estandarizados aprobados por el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI] (2024).

2.3.2. Agua

Se seleccionaron tres secciones del río Mozojcancha correspondientes a antes del área forestada, a lado de la plantación y después de la misma. Para el muestreo se siguió las recomendaciones del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado por la Autoridad Nacional del Agua [ANA] (2016). La medición de las características como el pH, conductividad eléctrica y sólidos disueltos, haciendo uso de un multiparámetro en campo. Los análisis de sulfato, nitrato y fosfato se realizaron en laboratorio siguiendo protocolos estandarizados propuesto por Baird et al. (2017).

2.3.3. Análisis estadístico

Para garantizar la validez de los resultados, se evaluó la normalidad de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$), la homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene ($p > 0,05$), independencia de muestra y aleatoriedad de las muestras. Debido a que las muestras no cumplieron con estos cuatro criterios, se aplicaron pruebas no paramétricas, tales como, la prueba de Mann-Whitney ($p < 0,05$) para comparar la cobertura de pajonal y pino,

además de la Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) para contrastar las tres secciones del río. Todos los procesos se ejecutaron en el “software” Paleontological Statistics-PAST versión 4.04 (Hammer et al., 2001).

III. Resultados y discusión

3.1. Resultados

3.1.1. Análisis de la capacidad de retención de agua del suelo

Tabla 1. Valor promedio de las constantes de humedad y la capacidad de retención del disponible en el suelo por tipo de cobertura, microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022

Características fisicoquímicas	Pajonal	Pino	u	p-valor
Capacidad de campo del suelo (%)	48,82	43,28	42,5	0,0939
Punto de marchitez total (%)	26,07	23,13	43,0	0,0998
Capacidad de retención de agua disponible (m ³ /ha)	357,81	325,98	47	0.1571

En la Tabla 1 se muestra que aplicada la prueba no paramétrica de Mann-Whitney ($p < 0,05$) confirmó que las diferencias observadas en la capacidad de campo, punto de marchitez y capacidad de retención de agua disponible no resultaron estadísticamente significativa por tipo de cobertura vegetal.

3.1.2. Análisis de las características fisicoquímicas del suelo

Tabla 2. Valor promedio de las características fisicoquímicas del suelo por tipo de cobertura, microcuenca Toccto, distrito de Chiara, Huamanga, Ayacucho 2022

Características fisicoquímicas	Pajonal	Pino	u	p-valor
Densidad aparente (g/cc)	0,69	0,72	61,0	0,5432
Densidad real (g/cc)	1,50	1,69	21,5	0,0039**
Porosidad (%)	55,86	58,08	59,0	0,4704
Potencial de hidrogeno (pH)	4,85	4,94	59,5	0,0286*
Conductividad Eléctrica (dS/m)	0,051	0,052	88,5	0,2992
Materia orgánica (%)	13,28	12,78	91,5	0,3951
Nitrógeno total (%)	0,65	0,63	91,5	0,3950
Contenido de fosforo disponible (ppm)	6,72	5,40	81,0	0,1982
Contenido de potasio disponible (ppm)	122,73	106,33	63,0	0,0421*
Capacidad de intercambio catiónico (CIC, Cmol (+)/kg)	25,78	24,96	70,5	0,0852
Calcio intercambiable (Ca ⁺⁺ , Cmol (+)/kg)	2,17	1,99	93,0	0,4306
Magnesio intercambiable (Mg ⁺² , Cmol (+)/kg)	0,63	0,59	104,0	0,7390
Potasio intercambiable (k ⁺² , Cmol (+)/kg)	0,31	0,26	60,0	0,0309*
Sodio intercambiable (Na ⁺² Cmol (+)/kg)	0,12	0,12	99,0	0,5845
Acidez intercambiable (Al ⁺³ +H ⁺ , Cmol (+)/kg)	3,22	2,90	69,5	0,0779
Saturación de bases del suelo (%)	12,53	11,8	99,0	0,5846

En el p-valor de Mann Whitney (u), se colocó (*) si $p < 0,05$ y (**) si $p < 0,01$.

En la Tabla 2, el análisis fisicoquímico revela fluctuaciones en la mayoría de los parámetros evaluados según el tipo de cobertura, con excepción sodio intercambiable, el cual se mantuvo constante. Asimismo, el análisis de carbonato de calcio arrojó resultados nulos para ambos tipos de vegetación. Mediante la prueba de Mann-Whitney, se identificó diferencias estadísticas significativas en cuatro características críticas, tales como, la densidad real, potencial de hidrógeno (pH), potasio disponible y potasio intercambiable ($p < 0,05$).

3.1.3. Análisis de las características fisicoquímicas del agua superficial

Tabla 3. Valores promedio de las características fisicoquímicas del agua superficial de la microcuenca Toccto en referencia al pino, distrito de Chiara 2021-2022.

Características fisicoquímicas	Cobertura de pino			p-Valor
	Antes	Durante	Después	
Sólidos disueltos (mg/l)	26,67	26,67	30,00	0,8670
Turbidez (NTU)	23,99	21,15	18,41	0,6476
Potencial de hidrogeno (pH)	7,60	7,91	7,97	0,1825
Conductividad Eléctrica (μ S/cm)	46,67	48,33	50,00	0,8894
Nitrato (mg/l NO_3^-)	0,50	0,40	0,39	0,5957
Fosfato (mg/l PO_4^{3-})	5,86	5,05	4,02	0,3197
Sulfato disuelto (mg/l)	17,64 ^a	0 ^b	0 ^b	0,0067*

Nota: En el p-valor de Kruskal Wallis (*), si p-valor <0,05.

La Tabla 3, muestra la evaluación de las características fisicoquímicas en tres secciones (antes, durante y después) del agua superficial en el río Mozojcancha de la microcuenca Toccto, en referencia al pino. Mediante un análisis comparativo entre secciones y la presencia del pino, el estudio determina que, si bien existen variaciones en las características evaluadas, la prueba Kruskal Wallis no identifica diferencias significativas ($p > 0,05$), con excepción del sulfato disuelto.

3.2. Discusión

3.2.1. Capacidad de retención de agua del suelo

Pese a los resultados obtenidos en la Tabla 1, la evaluación de la dinámica hídrica en la microcuenca Toccto revela que los suelos con cobertura de pajonal y pino presentan una elevada capacidad de campo, con promedio 48,82 % y 43,28 %, respectivamente. Estos valores, que superan el umbral crítico del 30 % (Garrido, 1994), se vinculan directamente con las altas concentraciones de

materia orgánica (13,8 % en pajonal y 12,78 % en pino), así como la predominancia de textura franca y orgánica que favorecen la estructura del suelo (Jordán, 2005; Minasny & McBratney, 2018).

El presente estudio demuestra que la cobertura de pajonal ejerce un efecto más favorable en la hidrología local que las plantaciones de pino. Las especies nativas del pajonal, como *Festuca* y *Calamagrostis*, aportan carbono orgánico de manera constante, lo que mejora la porosidad y la infiltración hídrica (De la Cruz et al., 2020). En contraste, las características radicales y la baja frecuencia incorporación de restos vegetales en los pinos limitan la retención de partículas finas y la capacidad de almacenamiento de agua. Estos hallazgos concuerdan con lo expuesto por Páez-Bimos et al. (2022), quienes subrayan la importancia de la vegetación tipo almohadilla para regular los flujos del agua durante eventos de precipitación prolongada.

Respecto al punto de marchitez, definido como el nivel de humedad en el cual las plantas comienzan a secarse (marchitamiento irreversible), el pajonal registró valores (26,07 %) frente al pino (23,13 %). Esto indica una mayor resiliencia de los pastizales para conservar la humedad y sobrevivir al estrés hídrico en comparación con las plantaciones forestales en zonas de baja precipitación (Li et al., 2021). Asimismo, la capacidad de retención de agua disponible fue significativamente mayor en el pajonal (357,81 m³/ha) que el pino (325,98 m³/ha). La diferencia observada podría atribuirse al tipo de cobertura vegetal, ya que los suelos cubiertos por pastizales como el pajonal, suele retener y reponer agua de manera más eficiente que aquellos suelos con cobertura de

pino. En suelos forestados con pino, la disponibilidad de agua suele ser menor y la recarga del agua subterránea disminuye de manera significativa. En concordancia, Jiang et al. (2022) en un estudio en la que se midieron los recursos hídricos del pastizal, se determinó que la capacidad de retención de agua disponible puede alcanzar valores altos de hasta 218 mm que equivale a 2180 m³/ha. Por el contrario, la capacidad de retención del agua bajo las plantaciones de pino es considerable menor (Stackelberg et al., 2007) . Asimismo, Yang et al. (2018), reportaron que la tasa de reposición del agua del suelo también es mayor en los pastizales naturales, con un valor de 0,30 mm.h⁻¹, frente a 0,09 mm.h⁻¹ en suelos con cobertura de pino.

Finalmente, la evidencia resalta que la sustitución de pajonales por pinos reduce significativamente la recarga de agua subterránea y la eficiencia de reposición hídrica por lluvias, la cual es del 35,1 % en pastizales frente a solo 4,2 % en plantaciones de pino (Yang et al., 2018). Por lo tanto, se concluye que la conservación de los ecosistemas de pajonal es prioritaria desde la perspectiva ambiental para garantizar la provisión de agua dulce, dado que la forestación con pino compromete la sostenibilidad hídrica debido a la disminución de carbono orgánico y la consecuente pérdida de la capacidad de retención del suelo (Farley et al., 2004).

3.2.2. Características fisicoquímicas del suelo

En la Tabla 2, se ha observado que, las características fisicoquímicas en el suelo bajo la cobertura de pajonal y pino presentan diversas variaciones en sus valores. Los suelos con cobertura de pino presentan una densidad aparente

superior (0,72 g/cc) frente al pajonal (0,69 g/cc). Este incremento en áreas forestadas con pino coincide con estudios previos que asocian coberturas antrópicas con una mayor compactación y una menor retención hídrica (Gómez, 2013; Quichimbo, 2012). No obstante, ambos valores indican una estructura favorable al situarse debajo del umbral crítico de 1,40 g/cc (Gómez, 2013; Jordán, 2005). La menor de la densidad aparente en los suelos con cobertura de pajonal se atribuye a su mayor contenido de materia orgánica (Jordán, 2005 y Núñez, 1981).

La densidad real registra valores de 1,50 g/cc para el pajonal y 1,69 g/cc para el pino. Esta variación responde a la alta concentración de materia orgánica (Gómez, 2013; Núñez, 1981), la cual reduce significativamente esta propiedad respecto al valor mineral teórico de 2,65 g/cc.

La porosidad total presentó valores superiores en suelos con pino (58,08 %) respecto al pajonal (55,08 %), condición se atribuida a la influencia de la materia orgánica en la mejora de la estructura del suelo (Sánchez, 1981; Jordán, 2005). Además, del contenido de materia orgánica, en caso del pino es probable que en su mayor valor también haya influido el tipo e intensidad del cultivo, las prácticas de labranza y otras propiedades del suelo y su manejo. Esta afirmación se da en vista de que, en el área de estudio, se observa que los pinos fueron plantados sobre suelos con cobertura de pajonal rellenados con material de desmonte, producto de la ampliación de la carretera Ayacucho-Cangallo.

La textura en ambas coberturas se clasifica como suelos de textura franco y de tipo orgánico. Esta propiedad sugiere una capacidad favorable para retención de humedad y un alto potencial productivo (Villaroel, 1988).

En cuanto al contenido de materia orgánica se obtuvo concentraciones muy altas en los suelos con cobertura de pajonal (13,28 %) y pino (12,78 %), superando ampliamente el umbral de fertilidad del 8,00 % (Villarroel, 1988). Esta acumulación podría deberse a la mayor calidad de biomasa en el pajonal, que favorece una descomposición más eficiente en comparación con los restos vegetales del pino (Porta et al., 2003; Jordán, 2005).

El nitrógeno total, con valores de 0,65 % (pajonal) y 0,63 % (pino) se consideran muy altos (Villaroel, 1988). Este valor se debería a que el nitrógeno se encuentra directamente vinculado al contenido de materia orgánica, en vista de que más del 98 % del nitrógeno total del suelo se encuentra asociada al contenido materia orgánica (Parra et al., 2003; Carbonero, 1984).

El fósforo disponible presenta niveles bajos en ambas coberturas (6,72 ppm en pajonal y 5,40 ppm en pino) según la escala de Villaroel (1988). Esta deficiencia se debería a la acidez del suelo, el cual limita su disponibilidad al fijarlo en forma de fosfato insoluble (Parra et al., 2003). Asimismo, estos resultados se explican por la estrecha relación entre el fósforo y la materia orgánica del suelo, donde la fracción orgánica representa entre el 20 % y el 80 % del fósforo total del suelo (Carbonero, 1984; Jordán, 2005),).

El potasio disponible mostro niveles altos (122,73 ppm en pajonal y 106,33 ppm en pino), aunque la acidez extrema puede provocar su lixiviación o pérdida

por lavado (Torrez & Chinchilla, 2006; Carbonero, 1984). Este resultado puede atribuirse a que la mayoría de los suelos contienen naturalmente grandes cantidades de potasio, el cual proviene de la meteorización de rocas que contienen minerales potásicos primarios (Carbonero, 1984).

El potencial de hidrógeno (pH) de los suelos en ambas coberturas se clasifican como fuertemente ácidos (4,85 en pajonal y 4,94 en pino). El clima frío de la microcuenca Toccto limita la liberación de cationes básicos y favorece la acumulación de ácidos orgánicos (Jordán, 2005). Esta acidez está influenciado por diversos componentes y procesos edáficos como la composición y descomposición de la materia orgánica (humus), la concentración de sales solubles y la presión parcial de anhídrido carbónico. Asimismo, se encuentra afectado por la presencia de alúminosilicatos, óxidos hidratados de hierro y aluminio, y el estado de óxido reducción (Carbonero, 1984 y Parra et al., 2003).

Los niveles de calcio, magnesio y sodio son bajos y no presentan diferencias significativas entre coberturas, a excepción del potasio (K⁺) intercambiable, que fue superior en el pajonal. Esta condición se debe a que la alta acidez reduce la saturación del complejo de intercambio, disminuyendo la proporción de bases frente al hidrogeno y aluminio (Castellanos et al., 2011; Parra et al., 2003 y Fassbender, 1975). A medida que disminuye el pH, también disminuye la proporción de calcio, magnesio, potasio y sodio en los sitios de intercambio, lo cual reduce la disponibilidad de estos nutrientes para las plantas (Parra et al., 2003 y Fassbender, 1975). Estos resultados son consistentes con los resultados obtenidos por Díaz (2023), el cual reportó una mayor

concentración de calcio, magnesio y potasio intercambiable, en suelos con cobertura de pajonal en comparación con los cubiertos por pino.

Respecto a la acidez intercambiable, no existen diferencias estadísticas significativas entre el pajonal (3,22) y el pino (2,90). Esta ausencia de diferencia podría atribuirse a que ambos tipos de suelo están clasificados como fuertemente ácidos y de tipo orgánico. En estos suelos orgánicos ácidos, el hidrógeno y aluminio intercambiable predominan en la solución del suelo (Porta et al., 2003; Villarroel, 1988).

La conductividad eléctrica con valores de 0,051 dS/m en la cobertura de pajonal y 0,052 dS/m en el pino respectivamente, indican que los suelos carecen de problemas de salinidad, permitiendo el desarrollo normal de los cultivos (Castellanos et al., 2011; Jordán, 2005).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos con cobertura de pajonal obtuvo un valor alto de 25,78 CIC, Cmol (+)/kg y en el pino un valor moderado de 24,96 CIC, Cmol (+)/kg. Esta propiedad está ligada directamente al tipo y cantidad de componentes orgánicos (Porta et al., 2003), el cual influyó en la variación de sus valores.

La saturación de bases obtuvo valores críticos (12,53 % para el suelo con cobertura de pajonal y 11,8 % para el pino) muy por debajo del 50 % requerido para suelos no ácidos. Confirmando la estrecha correlación entre esta característica y el pH; a menor saturación, mayor acidez y menor fertilidad (Fassbender, 1975; Carbonero, 1984).

3.2.3. Características fisicoquímicas del agua superficial

Los resultados demuestran que la cobertura de pino influye positivamente en la transparencia del agua, reduciendo la turbidez de 23,55 NTU (antes del pino) a 18,41 NTU (después) tras su paso por la plantación de pino. Este descenso sugiere una mayor estabilidad del suelo y control de la erosión hídrica en esta área, lo cual guarda concordancia con lo reportado por Ortiz (2011) y Marín (2019), quienes afirman que el pino aumenta la estabilidad del suelo y controla a erosión del suelo. Estos hallazgos coinciden, asimismo, con el estudio de Guevara (2022) en el río Huaylla Belén, donde la vegetación arbórea favoreció la sedimentación de partículas en suspensión.

En contraste, los sólidos disueltos totales (SDT) mostraron un incremento de 26,67 mg/l a 30,67 tras el paso por plantaciones de pino. Este fenómeno se atribuye a factores antrópicos concurrentes, tales como la construcción de carretera, incendios y actividades ganaderas en la zona. Al respecto IDEAM (2010) señala que el incremento de los sólidos disueltos en los recursos hídricos responde no solo a la influencia de origen natural, sino también a las presiones de origen antropogénico.

Respecto al potencial de hidrógeno (pH), el agua muestra una tendencia hacia la alcalinidad, con variaciones entre 7,60 a 7,97. Estos valores se mantienen dentro los valores óptimos para la vida acuática, según el índice de la National Sanitation Foundation (ICA-NSF), el intervalo favorable oscila entre 6,5 a 8,5, lo que garantiza la subsistencia de sistemas biológicos (Pérez-Castillo & Rodríguez, 2007).

Por otro lado, se identifican niveles críticos de nutrientes; específicamente, el fosfato que alcanzó los 5,86 mg/l, superando ampliamente el valor de referencia de 0,05 mg/l para aguas no contaminadas (Rodríguez & Silva, 2015), evidenciando un riesgo de eutrofización. Por su parte, el nitrato disminuyó de 0,50 mg/l a 0,39 mg/l tras áreas forestadas, lo que indica una capacidad potencial de los sistemas forestales para mitigar el lixiviado (lavado y transporte) de compuestos nitrogenados. Esta observación se encuentra sostenido por Avila et al. (2004), quienes afirman que los sistemas agroforestales actúan como barreras que reducen la contaminación por lixiviado de nitratos hacia los acuíferos y escorrentías.

La concentración de sulfato disuelto fue de 17,64 mg/l en el punto de control previo a la cobertura de pino. Este valor se asocia a aportes de compuestos sulfatados a los cuerpos hídricos por fuentes naturales; investigadores como Ortiz (2011), indican que su presencia deriva de la composición mineralógica del suelo; mientras Marín (2019), señala que estas pueden provenir de la oxidación bacteriana de sulfuros y la OMS (2018) de deposiciones atmosféricas de origen natural.

Con base a lo antes expuesto, se deduce que la calidad del recurso hídrico no depende exclusivamente del tipo de cobertura vegetal, sino de una interacción compleja de factores edáficos y presiones antrópicas locales (Ponette-González et al., 2015). En la microcuenca Toccto, la calidad del agua se considera aceptable para el consumo humano y el equilibrio ecológico, condicionada al

monitoreo riguroso de los niveles de nutrientes y las actividades humanas desarrolladas en la zona.

Finalmente, se determinó que las características fisicoquímicas del agua superficial evaluada cumplen con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) vigentes. Específicamente establecidos para el Sub-Sector A. Específicamente, los parámetros analizados sitúan el recurso hídrico dentro de la Categoría 1, tipo A2, la cual clasifica las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable mediante tratamiento convencional convencionales.

IV. Conclusiones

Los suelos con cobertura de pajonal superan significativamente a las plantaciones de pino en la regulación hídrica, alcanzando una capacidad de campo de 48,82 % y una reserva de agua disponible de 357,81 m³/ha. Aunque los suelos con pino registran una mayor densidad real (1,69 g/cc) y un pH de 4,94, la cobertura de pajonal ofrece condiciones del suelo más favorables al mantener niveles superiores de potasio disponible (122,73 ppm). Finalmente, se ha identificado variaciones críticas en las concentraciones de sulfato (aniones disueltos en el agua) en las zonas de pajonales, lo que confirma que el cambio de cobertura vegetal altera la dinámica de transporte y retención de sustancias en el sistema hídrico superficial.

Referencias bibliográficas

Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad del de los Recursos Hídricos Superficiales. Gráfica Industrial

Alarcón S.R.L. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales>

Avila, H., Harmand, J. M., Dambrine, E., Jiménez, F., Beer, J., & Oliver, R. (2004).

Dinámica del nitrógeno en el sistema agroforestal *Coffea arabica* con *Eucalyptus deglupta* en la zona sur de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*, 11(41-42), 83-91. https://www.researchgate.net/publication/236649949_Dinamica_del_nitrogeno_en_el_sistema_agroforestal_Coffea_arabica_con_Eucalyptus_deglupta_en_la_zona_sur_de_Costa_Rica_Nitrogen_dynamics_in_a_Coffea_arabica_-_Eucalyptus_deglupta_agroforestry_system_in

Buytaert, W., Iñiguez, V., & Bièvre, B. (2007). The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. *Forest Ecology and Management*, 251(1), 22-30. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.06.035>

Carbonero, P. (1984). *Química del suelo y los fertilizantes (3ra.)*. E.T.S. de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas (UPM). <https://oa.upm.es/54493/>

Castellanos, J. Z., Uvalle, J. X., & Aguilar, A. (2011). *Manual de interpretación de análisis de suelos*. Laboratorio Agrolab. <https://dokumen.tips/documents/interpretacion-de-fert-suelos-2011-es-una-de-las-mas-importantes-determinaciones.html>

De la Cruz, J., Gómez, J., Chanco, M., Carrillo, E. P., & Aucasime, L. (2020). Flora y vegetación de la provincia de Huamanga (Ayacucho-Perú). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 8(1), 3-18

- Díaz, F. (2023). Influencia de las plantaciones de pino (*Pinus Patula* Schiede ex Schlttdl. Y cham.) sobre la propiedades físicas y químicas de los suelos del bosque montano de Chalamarca, Cajamarca, Perú [Tesis para obtener el Título como Ingeniero Forestal y Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. https://repositorio.unach.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14142/385/D%C3%ADaz_Rafael_F.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Farley, K. A., Kelly, E. F., & Hofstede, R. G. M. (2004). Soil organic carbon and water retention after conversion of grasslands to Pine plantations in the Ecuadorian Andes. *Ecosystems*, 7(7), 729-739. <https://doi.org/10.1007/s10021-004-0047-5>
- Fassbender, H. W. (1975). Química de Suelos (Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de las OEA). Bib. Orton IICA / CATIE.
- Garrido, M. S. (1994). Interpretación de análisis de suelos (Salón General). Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario; 84-341-0810-0. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_05.pdf
- Guevara, G. T. (2022). Impacto de las plantaciones forestales de pino (*Pinus patula*) en la diversidad florística y calidad de sitio en el valle de Huaylla Belén, Luya, Amazonas, Perú [Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2964>

- Gobierno Regional de Ayacucho de Ayacucho (GRA). (2013). Zonificación Ecológica Económica—Ayacucho. Gobierno Regional de Ayacucho. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/zonificacion-ecologica-economica-ayacucho>
- Gómez, J. C. (2013). Manual de prácticas de campo y del laboratorio de suelos. Servicio Nacional del Aprendizaje. https://www.google.com.pe/books/edition/Qu%C3%ADmica_agr%C3%ADcola_qu%C3%ADmica_del_suelo_y/RSs6AgAAQBAJ?hl=es&gbpv=1&dq=densidad+real+del+suelo&pg=PA65&printsec=frontcover
- Hammer, F., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). Past 4—The Past of the Future—Natural History Museum (Versión 4.04) [Paleontología Electrónica]. <https://www.nhm.uio.no/english/research/infrastructure/past/index.html>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (Sexta edición). McGraw Hill España. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=775008>
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2010). Estudio nacional del agua. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. https://www.andi.com.co/Uploads/ENA_2010.compressed.pdf
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA). (1995). Mapa ecológico del Perú. Ministerio de Agricultura. <https://es.slideshare.net/slideshow/mapa-ecologico-inrena/78455111#6>

- Jiang, R., Li, T., Jia, Z., & Dong, Y. (2022). Determining soil available water capacity and reasonable irrigation volume in dryland pasture. *Water*, 14(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/w14172760>
- Jordán, A. (2005). *Manual de edafología*. Universidad de Sevilla. https://www.academia.edu/6005589/Manual_de_edafologia_jordan
- Li, B., Li, P., Zhang, W., Ji, J., Liu, G., & Xu, M. (2021). Deep soil moisture limits the sustainable vegetation restoration in arid and semi-arid Loess Plateau. *Geoderma*, 399, 115122. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115122>
- Marín, R. (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: Tratamiento y control de calidad de aguas (Segunda edición)*. Ediciones Díaz de Santos.
- Medina, B., Jonard, M., Rendón, M., & Jacquemart, A. L. (2022). Effects of Pine Plantation on Native Ecuadorian Páramo Vegetation. *Forests*, 13(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/f13091499>
- Minasny, B., & McBratney, A. B. (2018). Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European Journal of Soil Science*, 69(1), 39-47. <https://doi.org/10.1111/ejss.12475>
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI). (2024). *Manual para el análisis de suelos agrícolas y agua para riego (Primera)*. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/1745>

- Moreno, C. A. (2012). Efectos de diferentes tipos de vegetación sobre la capacidad de infiltración de agua en suelos de páramo en la Reserva Privada Palugullo (Ecuador) [Tesis de pregrado para la obtención de Licenciatura en Ecología Aplicada al Manejo de Recursos]. Universidad San Francisco de Quito.
- Mosquera, G. M., Marín, F., Stern, M., Bonnesoeur, V., Ochoa-Tocachi, B. F., & Román-Dañobeytia, F. (2022). Servicios ecosistémicos hídricos de los pajonales altoandinos: ¿Qué sabemos? *Forest Trends*. https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2022/02/Servicios-ecosistemicos-hidricos-de-los-pajonales-altoandinos-Que-sabemos.pdf?fbclid=IwAR1iFCZmE7pj35Hdi01zGmVpe_9YR1vZ3m6JxGxGmwqi6OrFgxPyXdeolUs
- Núñez, J. (1981). *Fundamentos de Edafología* (Primera edición). Editorial Universidad Estatal a Distancia. https://www.google.com.pe/books/edition/Fundamentos_de_Edafolog%C3%ADa/dpAcHU7xxoC?hl=es&gbpv=1&dq=Densidad+real+del+suelo&pg=PA67&printsec=frontcover
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: Cuarta edición que incorpora la primera adenda (Cuarta)*. Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241549950>
- Ortiz, J. E. (2011). *Manual análisis fisicoquímico básico para el análisis de aguas para el análisis de agua para consumo humano*. Instituto Nacional de

Salud. <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20 analisis%20fisico%20quimico%20aguas.pdf>

Páez-Bimos, S., Villacís, M., Morales, O., Calispa, M., Molina, A., Salgado, S., de Bievre, B., Delmelle, P., Muñoz, T., & Vanacker, V. (2022). Vegetation effects soil pore structure and hydraulic properties in volcanic ash soils of the high Andes. *Hydrological Processes*, 36(9), e14678. <https://doi.org/10.1002/hyp.14678>

Parra, M. A., Escobar, R., Navarro, C., & Arquero, O. (2003). Los suelos y la fertilización del olivar cultivado en zonas calcáreas. Mundi-Prensa Libros. https://www.google.com.pe/books/edition/Los_Suelos_y_la_Fertilizaci%C3%B3n_Del_Oliva/YY7fTegB7rgC?hl=es&gbpv=1&dq=punto+de+marchitez&pg=PA28&printsec=frontcover

Pérez-Castillo, A. G., & Rodríguez, A. (2007). Índice fisicoquímico de la calidad de agua para el manejo de lagunas tropicales de inundación. *Revista de Biología Tropical*, 56(4), 14. <https://doi.org/10.15517/rbt.v56i4.5769>

Ponette-González, A. G., Brauman, K. A., Marín-Spiotta, E., Farley, K. A., Weathers, K. C., Young, K. R., & Curran, L. M. (2015). Managing water services in tropical regions: From land cover proxies to hydrologic fluxes. *Ambio*, 44(5), 367-375. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0578-8>

Porta, J., López-Acevedo, M., & Roquero, C. (2003). Edafología para la agricultura y el medio ambiente (Tercera Edición). Ediciones Mundi-Prensa. <https://toaz.info/doc-viewer>

- Quichimbo, P. (2012). Efectos sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos por el cambio de la cobertura vegetal y uso del suelo: Páramo de Quimsacocha al sur del Ecuador. *Suelos Ecuatoriales*, 42, 138-153.
- Rodríguez, C., & Silva, M. (2015). Calidad del agua en la microcuenca alta de la quebrada Estero en San Ramón de Alajuela, Costa Rica. *Revista Pensamiento Actual*, 15(25), 85-97. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pensamiento-actual/article/view/22597>
- Sánchez, P. A. (1981). *Suelos del trópico: Características y manejo* (Primera Edición). IICA Biblioteca Venezuela.
- Stackelberg, N. O. von, Chescheir, G. M., Skaggs, R. W., & Amatya, D. M. (2007). Simulation of the hydrologic effects of afforestation in the tacuarembó river basin, Uruguay. *Transactions of the ASABE*, 50(2), 455-468. <https://research.fs.usda.gov/treesearch/28882>
- Torrez, G., & Chinchilla, F. (2006). *Manual de interpretación de análisis de suelos y foliares para la nutrición de limón, aguacate, cocotero y marañón*. Ministerio de Agricultura y Ganadería. <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/6991/BVE18040172e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villarroel, J. (1988, agosto). *Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio*. AGRUCO. <http://atlas.umss.edu.bo:8080/jspui/handle/123456789/142>
- Wang, K., Zhang, Y., Tang, Z., Shangguan, Z., Chang, F., Jia, F., Chen, Y., He, X., Shi, W., & Deng, L. (2019). Effects of grassland afforestation on structure and function of soil bacterial and fungal communities. *Science of*

The Total Environment, 676, 396-406.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.259>

Yang, L., Zhang, H., & Chen, L. (2018). Identification on threshold and efficiency of rainfall replenishment to soil water in semi-arid loess hilly areas. *Science China, Earth Sciences*, 61(3), 292-301. <https://doi.org/10.1007/s11430-017-9140-0>



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°0016-2026-UNSCH-EPG/KBA

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de Posgrado en segunda instancia para la **Escuela de Posgrado – UNSCH**; en cumplimiento a la Resolución Directoral N°002-2026-UNSCH-EPG/D, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

AUTOR	Bach. JUAN CARLOS PRADO FLORES
DENOMINACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS	MAESTRÍA EN CIENCIAS
GRADO ACADÉMICO QUE OTORGA	MAESTRO
DENOMINACIÓN DEL GRADO ACADÉMICO	MAESTRO(A) EN CIENCIAS, MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL Y BIODIVERSIDAD
TÍTULO DE TESIS	Características fisicoquímicas del suelo y del agua superficial en zonas con diferente tipo de cobertura vegetal, microcuenca Toccto, Chiara, Ayacucho 2021
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD	10% de similitud
N° DE TRABAJO	2926642732
FECHA	09 de abril de 2026

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es procedente otorgar la constancia de originalidad con depósito.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

09 de abril de 2026.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESCUELA DE POSGRADO
Ms. Kevris BERROCAL ARGUMEDO
Sub-Directora de Investigación

CC.
Archivo
KBA/rjeg

Características fisicoquímicas del suelo y del agua superficial en zonas con diferente tipo de cobertura vegetal, microcuencia Toccto, Chiara, Ayacucho 2021

por Juan Carlos PRADO FLORES

Fecha de entrega: 09-abr-2026 06:01a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2926642732

Nombre del archivo: TESIS-JUAN_CARLOS_PRADO_FLORES_T.docx (3.71M)

Total de palabras: 29643

Total de caracteres: 165570

Características fisicoquímicas del suelo y del agua superficial en zonas con diferente tipo de cobertura vegetal, microcuenca Toccto, Chiara, Ayacucho 2021

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

2%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	1%
3	www.repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1%
5	cathi.uacj.mx Fuente de Internet	<1%
6	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	uvadoc.uva.es Fuente de Internet	<1%

9	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	www.minem.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
11	pure.uva.nl Fuente de Internet	<1 %
12	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
13	unl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	www.scielo.org.ar Fuente de Internet	<1 %
15	doku.pub Fuente de Internet	<1 %
16	www.cordilleratropical.org Fuente de Internet	<1 %
17	www.else.com.pe Fuente de Internet	<1 %
18	oa.upm.es Fuente de Internet	<1 %
19	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad de Manizales Trabajo del estudiante	<1 %

21	portal.amelica.org Fuente de Internet	<1 %
22	dSPACE.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad Estatal Amazonica- Trabajo del estudiante	<1 %
24	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
25	WSP PERU S.A.. "EIA-SD del Proyecto de Exploración Minera Racaycocha Sur- IGA0010395", R.D. N° 822-2016-MEM-DGAAM, 2020 Publicación	<1 %
26	bioseguridad.minam.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.una.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
28	gredos.usal.es Fuente de Internet	<1 %
29	dokumen.site Fuente de Internet	<1 %
30	www.produccion-animal.com.ar Fuente de Internet	<1 %

31	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
32	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
33	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
34	revistas.uteq.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
35	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
36	repositorio.umariana.edu.co Fuente de Internet	<1 %
37	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
38	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante	<1 %
41	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
42	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

43

ccd.ucam.edu

Fuente de Internet

<1 %

44

libros.usfq.edu.ec

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO(A) EN CIENCIAS, MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL Y BIODIVERSIDAD

RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°001108-2025-UNSCH-EPG/D.

Siendo las 11:00 a.m. del 17 de diciembre de 2025 se reunieron en el auditorium de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis, presidido por el **Dr. OSCAR GUTIERREZ HUAMANI** Director (e) de la Escuela de Posgrado, el **Mg. PERCY COLOS GALINDO** Director de la Unidad de Posgrado de la Facultad Ciencias Biológicas, e integrado por los siguientes miembros: **Dr. EDWIN PORTAL QUICAÑA** y el **Mtro. REBELINO ACUÑA MARTINEZ**; para la sustentación oral y pública de la tesis titulada: **CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL SUELO Y DEL AGUA SUPERFICIAL EN ZONAS CON DIFERENTE TIPO DE COBERTURA VEGETAL, MICROCUENCA TOCCTO, CHIARA, AYACUCHO 2021**, presentado por el **Bach. JUAN CARLOS PRADO FLORES**. Teniendo como asesor al **Dr. CARLOS EMILIO CARRASCO BADAJOZ**.

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN CIENCIAS, MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL Y BIODIVERSIDAD**. Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por el graduando.

A continuación, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis procedió a la votación, la que dio como resultado el siguiente calificativo: DIECISIETE (17).

CALIFICACION (x)	
Aprobado(a) por Unanimidad.	X
Aprobado(a) por Mayoría.	—
Desaprobado(a) por Unanimidad.	—
Desaprobado(a) por Mayoría.	—

(x) Marcar con aspa.

Luego, el presidente del Jurado recomienda que la Escuela de Posgrado proponga que se le otorgue al **Bach. JUAN CARLOS PRADO FLORES**, el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN CIENCIAS, MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL Y BIODIVERSIDAD**. Siendo las..... 13:10hrs. se levanta la sesión.

Se extiende el acta en la ciudad de Ayacucho, a las..... 13:10hrs. del 17 de diciembre de 2025.

.....
Dr. OSCAR GUTIERREZ HUAMANI
Director(e) de la Escuela de Posgrado.

.....
Mg. PERCY COLOS GALINDO
Director (e) de la JPG-FCB

.....
Dr. EDWIN PORTAL QUICAÑA
Miembro.

.....
Mtro. REBELINO ACUÑA MARTINEZ
Miembro.

.....
Dr. JOSÉ ALARCÓN GUERRERO
Secretario Docente.

Observaciones:

.....
.....
.....