

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL: DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS

NATURALES



Tesis

Capacidad de infiltración en suelos con cobertura forestal de *Pinus radiata* y

***Polylepis spp* en la Unidad Hidrográfica Rontoccocha-Abancay,2021.**

Asesor:

Mg. González Mamani, Elena Elvira

Autor:

Segovia Guillen, Pilar

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Abancay- Apurímac -Perú

2025

Acta de sustentación



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. AMBIENTAL Y RR.NN

Acta N°: 016

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Abancay, a los 21 días del mes de febrero del 2025, siendo las 10:30 a.m. horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 009-2025-UTEA-FI-EPIARN de fecha 30 de enero del 2025 de la Escuela Profesional de Ing. Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Calderón Aedo Kristhel Jaylane
Dictaminante :	Mg. Pimentel Maldonado Waldir
Replicante :	Mg. Salas Peña Vanesa

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN DE SUELOS CON COBERTURA FORESTAL DE PINUS RADIATA Y POLYLEPIS SPP EN LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE RONTOCOCHA ABANCAY 2021

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Segovia Guillen Pilar
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título)

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

Por: **Mayoría**
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Segovia Guillen Pilar	Aprobado

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


Presidente: **Mg. Calderón Aedo Kristhel Jaylane**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)


(Firma)

Dictaminante: **Mg. Pimentel Maldonado Waldir**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)


(Firma)

Replicante: **Mg. Salas Peña Vanesa**
(Dr. Mg.). (Apellidos y Nombres)


(Firma)

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

Reporte de similitud

Capacidad de infiltración en suelos con cobertura forestal de *Pinus radiata* y *Polylepis spp* en la Unidad Hidrográfica Rontoccocha-Abancay, 2021.

INFORME DE ORIGINALIDAD

19% INDICE DE SIMILITUD	17% FUENTES DE INTERNET	3% PUBLICACIONES	10% TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------	---------------------------------------

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	Submitted to Gitam University Trabajo del estudiante	4%
3	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	2%
5	repositorio.ute.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	www.scielo.org.ar Fuente de Internet	1%
8	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Segovia Guillen Pilar
Tipo de Documentos de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 73020742
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0001-0052-4184
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: González Mamani, Elena Elvira
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 29658752
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0003-3468-2161
Datos de la Investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de investigación	: Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	: 2022-2023
Fuente de financiamiento	: Vicerrectorado de Investigación
Porcentaje de Similitud	: 19 %
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado en primer lugar a Dios, que me permitió sobrellevar mi enfermedad en toda esta etapa de aprendizaje y formación, luego a mis amados padres que se sacrificaron por educarme y brindarme todo lo necesario, así mismo a cada uno de mis docentes que me transmitieron sus conocimientos y consejos. y a mis compañeros Ronald y Alexander grandes amigos en mi etapa universitaria.

Agradecimiento

En primer lugar, agradecer a Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida.

A mis padres que gracias a su esfuerzo, dedicación y apoyo alcance concluir esta meta tan ansiada. A mi asesora por el apoyo brindado en esta ardua labor.

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo demostrar estadísticamente la diferencia significativa que existe entre la capacidad de infiltración de un suelo con cobertura forestal de *Pinus radiata* y *Polylepis spp* en la unidad hidrográfica Rontoccocha.

La investigación es del tipo básico, con alcance descriptivo, la población en estudio fueron suelos con cobertura forestales de *Pinus radiata* y *Polylepis spp*, las muestras fueron 4 parcelas en suelos con *Pinus radiata* y 4 parcelas en suelos con *Polylepis spp*. En las pruebas de infiltración se obtuvieron dos variables de medición velocidad y lámina acumulada, consecutivamente se obtuvo la capacidad de infiltración del suelo mediante ecuación de Horton. Para evaluar la diferencia entre las dos coberturas forestales se empleó la prueba U de Mann Whitney. Al mismo tiempo se analizaron muestras de cada suelo en laboratorio (densidad aparente, clase textural, pH, humedad y materia orgánica).

Finalmente, el resultado obtenido fue una capacidad de infiltración promedio para suelos con *Pinus radiata* de 17.63 cm/hora y para suelos con *Polylepis spp* de 44.12 cm/hora. Se concluye que existe diferencia significativa entre la capacidad de infiltración de los suelos evaluados. Estos resultados nos permiten confirmar los efectos que tienen las especies arbóreas sobre la infiltración de los suelos. La cobertura forestal afecta positivamente el proceso de infiltración del suelo por sus sistemas de raíces, la capa de vegetación y la alta materia orgánica que mejora en gran medida la microporosidad del suelo.

Palabras claves: capacidad de infiltración, suelos, cobertura forestal, *Pinus Radiata*, *Polylepis spp*.

Abstract

The objective of this research was to statistically demonstrate the significant difference that exists between the infiltration capacity of a soil with forest cover of *Pinus radiata* and *Polylepis* spp in the Rontoccocha hydrographic unit.

The research is of the basic type, with a descriptive scope, the population under study were soils with forest cover of *Pinus radiata* and *Polylepis* spp, the samples were 4 plots in soils with *Pinus radiata* and 4 plots in soils with *Polylepis* spp. In the infiltration tests, two measurement variables were obtained: velocity and accumulated depth, consecutively the infiltration capacity of the soil was obtained using the Horton equation. To evaluate the difference between the two forest covers, the Mann Whitney U test was used. At the same time, samples of each soil were analyzed in the laboratory (apparent density, textural class, pH, humidity and organic matter). Finally, the result obtained was an average infiltration capacity for soils with *Pinus radiata* of 17.63 cm/hour and for soils with *Polylepis* spp of 44.12 cm/hour. It is concluded that there is a significant difference between the infiltration capacity of the soils evaluated. These results allow us to confirm the effects that tree species have on soil infiltration. Forest cover positively affects the soil infiltration process due to its root systems, vegetation layer and high organic matter that greatly improves soil macroporosity.

Keywords: infiltration capacity, soils, forest cover, *Pinus Radiata*, *Polylepis* spp.

Índice

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
Índice	ix
Índice de tablas	xii
Índice de figuras	xiv
Índice de anexos	xvi
I. Introducción.....	17
II. Planteamiento del problema.....	19
2.1.Descripción y formulación del problema.....	19
2.1.1 <i>Problema general</i>	21
2.1.2 <i>Problemas específicos</i>	21
2.2. Objetivos.....	22
2.3. Justificación e importancia	22
2.4. Hipótesis.....	24
2.4.1 <i>Hipótesis general</i>	24
2.4.2 <i>Hipótesis específicas</i>	25
2.5. Variables	25
2.5.1 <i>Variable Independiente: Suelos con cobertura forestal</i>	25

2.5.2. <i>Variable Dependiente: Capacidad de infiltración</i>	25
2.5.3. <i>Operacionalización de variables</i>	26
III. Marco teórico	27
3.1 Antecedentes	27
3.1.1 <i>A nivel internacional</i>	27
3.1.2 <i>A nivel nacional</i>	31
3.1.3 <i>A nivel regional y local</i>	37
3.2 Bases teóricas	37
3.2.1 <i>Capacidad de infiltración</i>	37
3.2.2 <i>Velocidad o tasa de infiltración</i>	38
3.2.3 <i>Factores que rigen la infiltración</i>	39
3.2.4 <i>Uso de infiltrómetro</i>	40
3.2.5 <i>Modelos empíricos de infiltración</i>	41
3.2.6 <i>Suelo</i>	42
3.2.7 <i>Características físicas del suelo</i>	42
3.2.8 <i>Propiedades químicas de los suelos</i>	45
3.2.9 <i>Influencia de la vegetación en la infiltración</i>	46
3.3 Definición de términos.....	46
3.3.1 <i>Infiltración</i>	46
3.3.2 <i>Tasa de infiltración</i>	47
3.3.3 <i>Lamina acumulada</i>	47
3.3.4 <i>Suelo forestal</i>	47
3.3.5 <i>Ecosistema</i>	47
3.3.6 <i>Servicios ambientales</i>	47
3.3.7 <i>Ciclo hidrológico</i>	47

3.3.8	<i>Escorrentía</i>	48
3.3.9	<i>Degradación del suelo</i>	48
3.3.10	<i>Cobertura forestal</i>	48
3.3.11	<i>Erosión hídrica</i>	48
3.3.12	<i>Unidad hidrográfica</i>	48
IV.	Metodología	49
4.1	Tipo de investigación	49
4.2	Nivel o alcance de investigación.....	49
4.3	Ámbito temporal y espacial	50
4.4	Población y muestra.....	52
4.5	Instrumentos	53
4.6	Procedimientos	56
4.7	Análisis de datos	61
4.8	Consideraciones éticas	61
V.	Resultados y discusión	62
5.1	Resultados	62
5.2	Discusión de resultados.....	92
5.3	Prueba de hipótesis.....	93
VI.	Conclusiones	96
VII.	Recomendaciones	98
VIII.	Referencias	99
IX.	Anexos	103

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables.....	26
Tabla 2 Clasificación de la velocidad de infiltración del suelo.....	38
Tabla 3 Comparación de propiedades del suelo según su textura.....	43
Tabla 4 Ubicación de las poblaciones de estudio.....	52
Tabla 5 Ficha para la recolección de datos de campo.....	52
Tabla 6 Equipos y materiales para levantamiento de datos en campo.....	54
Tabla 7 Equipos y materiales para análisis fisicoquímico en laboratorio.....	55
Tabla 8 Velocidad de infiltración promedio en suelos con <i>Pinus radiata</i> del mes de julio y agosto.....	67
Tabla 9 Velocidad de infiltración en suelos con <i>Polylepis spp</i> en el mes de julio y agosto.	71
Tabla 10 Velocidad de infiltración en suelos con cobertura forestal de <i>Pinus radiata</i> y <i>Polylepis spp</i>	75
Tabla 11 Prueba estadística T- Student para dos muestras.....	77
Tabla 12 Lamina acumulada en suelos con <i>Pinus radiata</i>	78
Tabla 13 Lamina acumulada de suelos con <i>Polylepis spp</i>	80
Tabla 14 Lamina acumulada en suelos con <i>Pinus radiata</i> y suelos con <i>Polylepis spp</i> ...	82
Tabla 15 Prueba estadística T- Student para dos muestras.....	84
Tabla 16 Resultados de la humedad en suelo con <i>Pinus radiata</i> y <i>Polylepis spp</i>	85
Tabla 17 Resultados del análisis mecánico en suelos con <i>Polylepis spp</i> y <i>Pinus radiata</i>	87

Tabla 18 Resultados del potencial de hidrogeno en suelos con <i>Pinus radiata</i> y <i>Polylepis spp</i>	88
Tabla 19 Resultados de materia orgánica en suelos con <i>Pinus radiata</i> y <i>Polylepis spp</i> ..	90
Tabla 20 Resultados de la densidad aparente en suelos con <i>Pinus radiata</i> y <i>Polylepis spp</i>	91
Tabla 21 Características fisicoquímicas del suelo	93
Tabla 22 Datos de infiltración para determinar la capacidad de infiltración en suelos con cobertura forestal de <i>Pinus radiata</i>	94
Tabla 23 Datos de infiltración para determinar la capacidad de infiltración en suelos con cobertura forestal de <i>Polylepis spp</i>	96
tabla 24_Capacidad de infiltración del suelo con <i>Pinus radiata</i> y <i>Polylepis spp</i>	98
Tabla 25 Capacidad de infiltración de suelos con <i>Polylepis spp</i> y <i>Pinus radiata</i> y promedio	102
Tabla 26 Prueba U de mann-whitney para muestras independientes	103

Índice de figuras

Figura 1 Vista frontal del funcionamiento del doble anillo	41
Figura 2 Ubicación del ámbito de estudio	51
Figura 3 Flujograma que ilustra el procedimiento metodológico de una prueba de infiltración en suelo	56
Figura 4 Flujograma que ilustra el procedimiento metodológico de la obtención de muestra y análisis de laboratorio..	60
Figura 5 Velocidad de infiltración en suelos con <i>Pinus radiata</i> del mes de julio y agosto y su velocidad promedio.....	62
Figura 6 Correlación de promedios de las muestras tomadas el mes de julio y agosto en suelos con <i>Pinus radiata</i>	69
Figura 7 Velocidad de infiltración instantánea promedio en suelos con <i>Polylepis spp</i> de los mes de julio y agosto	70
Figura 8 Correlación entre promedio de muestras tomadas en julio y agosto en suelos con <i>Polylepis spp</i>	73
Figura 9 Comparación de la velocidad de infiltración en suelos con <i>Pinus radiata</i> y suelos con <i>Polylepis spp</i>	74
Figura 10 Promedio lamina acumulada - suelos con <i>Pinus radiata</i>	76
Figura 11 Lamina acumulada - suelo con <i>Polylepis spp</i>	79
Figura 12 Comparación de la velocidad de infiltración instantánea en suelos con <i>Pinus radiata</i> y suelos con <i>Polylepis spp</i>	81
Figura 13 Comparación de los resultados de la humedad del suelo por método gravimétrico.....	83

Figura 14 Comparación de resultados del análisis mecánico del suelo por método de bouyoucos.....	86
Figura 15 Comparación resultados de pH del suelo.....	87
Figura 16 Comparación resultados de materia orgánica de los suelos evaluados.....	89
Figura 17 Logaritmo natural para determinar el valor de la constante "k" para suelos con cobertura forestal de <i>Pinus radiata</i>	90
Figura 18 Logaritmo natural para determinar el valor de la constante "k" para <i>Polylepis spp</i>	92
Figura 19 Logaritmo natural para determinar el valor de la constante "K" para suelos con cobertura forestal de <i>Pinus radiata</i>	96
Figura 20 Logaritmo natural para determinar el valor de la constante "K" para <i>Polylepis spp</i>	98
Figura 21 Capacidad de infiltración para suelos con <i>Pinus radiata</i> y <i>Polylepis spp</i>	100

Índice de anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia.....	111
Anexo 2: Validación de instrumento	113
Anexo 3: Instrumento de recolección de datos	116
Anexo 4: Evidencias de la situación actual del área de estudio	129
Anexo 5: Visitas de campo	132
Anexo 6: Mapas	143
Anexo 7: Informe de laboratorio	148

I. Introducción

Rontoccocha está ubicada en la cuenca del río Mariño, con formaciones de agua anexas que la hacen ser la segunda fuente hídrica más importante de Abancay, se encuentra en un espacio geográfico que posee un sistema de humedales y bofedales con lagunas altoandinas que incluyen ecosistemas de pajonales y bosques de queñuales.

La infiltración en suelos forestales tiene un impacto directo en la gestión del agua, la salud del suelo y la sostenibilidad de los ecosistemas. La infiltración es crucial para la recarga de acuíferos y la disponibilidad de agua subterránea, especialmente en regiones que dependen de estas fuentes para abastecerse de agua potable, riego agrícola y otros usos. Un suelo con buena capacidad de infiltración reduce la escorrentía superficial, lo que disminuye el riesgo de inundaciones y erosión. Rontoccocha posee un sistema de ecosistemas de queñuales que ecológicamente actúan como reservorios de agua, reteniendo la humedad que proviene tanto de las lluvias como de las densas nieblas que los envuelven (ECOAN, 2007).

Otra función que cumplen es la protección del suelo frente a la erosión, una labor que se ha visto comprometida por la presión antrópica (PNH, 2011). La unidad hidrográfica de Rontoccocha, viene enfrentando una serie de problemas, como son la erosión y pérdida de suelos, alteración y pérdida de los ecosistemas y biodiversidad local, bajo el sistema de quema por rotación de parcelas y extensión de la frontera agrícola, el sobrepastoreo, la quema indiscriminada de pastos nativos y la deforestación de bosques relictos (Sunass, 2022). Una de las consecuencias más evidentes es la compactación del suelo que impide que el agua de lluvia se infiltre y sea aprovechada, provocando que esta fluya como escorrentía superficial generando la pérdida de suelos y alterando la calidad y disponibilidad del recurso hídrico. Por otro lado, las forestaciones con Pino en las zonas alto andinas se han masificado en los últimos años, impulsada por instituciones públicas y privadas. Es aquí donde hacemos un paréntesis para preguntarnos ¿Las forestaciones realmente están mejoran los servicios

ambientales en la zona altoandina? Antes de iniciar una forestación a gran escala con una especie exótica, es fundamental realizar estudios preventivos para evaluar sus posibles impactos ecológicos en el medio ambiente (Frank & Finckh, 1997).

Algunas investigaciones sugieren que la forestación con especies exóticas no garantiza la sostenibilidad del suelo, ya que, los monocultivos podrían incrementar el riesgo de daños significativos causados por plagas. Además, las condiciones ecológicas que prevalecen con la introducción de estas especies tienden a impedir completamente el crecimiento de la mayoría de las plantas nativas. (Von Much & Osorio, 1987). En este sentido, la presente investigación tiene como fin asegurar la continuidad de los servicios ambientales que los ecosistemas forestales brindan, mediante la conservación y protección de la cobertura forestal nativa.

La investigación contempla 5 apartados, en el 1ro, Planteamiento del problema, se desarrolló la descripción y formulación del problema, donde se planteó los problemas y objetivos de estudio, dando así la justificación y generando las hipótesis de investigación. En el 2do, Marco teórico, se presentan los antecedentes, base teórica y definición de términos, en el 3ro, se desarrolla la metodología, donde se describe el tipo, nivel y diseño de la investigación, el ámbito temporal y espacial, la población, muestra, los instrumentos, procedimientos, análisis de datos y consideraciones éticas. En el 4to, se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de infiltración y análisis de laboratorio, las discusiones con otras investigaciones similares y la prueba de hipótesis, finalmente se muestran el 5to apartado, conclusiones sobre los resultados y respuesta a los objetivos sostenidos en la investigación y en el 6to apartado recomendaciones de la investigación.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

En Los últimos 50 años han sido catastrófica la degradación de los ecosistemas y los entornos naturales del planeta. Cada día, al menos 32,300 hectáreas de bosque desaparecen, y el tamaño de las poblaciones de vida silvestre se ha reducido en un promedio del 60%, según el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) del 2018.

Según el programa de la FAO/IAEA Nuclear Techniques in Food and Agriculture, se estima que alrededor de 2,000 millones de hectáreas de suelos en el mundo sufren algún tipo de deterioro como consecuencia de las actividades antrópicas. Esto equivale al 15% de toda la tierra firme, un área mayor que México y Estados Unidos juntos.

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) Cada año, a nivel mundial se pierden tierras productivas debido a la degradación, eso lleva a una pérdida de alrededor de 20 millones de toneladas de alimentos. Más del 68% del suelo en América del Sur se encuentra afectado por la erosión, muy por encima del promedio mundial del 33%.

Según el Instituto del Bien Común (IBC) se ha perdido 4.3 % de bosques andinos en estos últimos 37 años y 6,7 % de bofedales “Es problemático lo que sucede en la zona andina del Perú, porque no se recupera la superficie vegetal. No se hace necesariamente reforestación sino forestación, es decir que se siembran árboles como eucaliptos que no son nativos y que además pueden convertirse en especies invasoras”, explica Moreno sobre la pérdida de vegetación en el bioma Andes, que además no se suele recuperar, sino que se destina a otros usos como agricultura.

Según la investigación de Morales (2002) los suelos de la Sierra o Región Andina, presentan problemas de erosión en grado moderado a severo. Esta situación, es tanto más preocupante si se tiene en cuenta que en la sierra peruana el porcentaje de tierras con

potencial agrícola es de solo 3.5% del total de tierras existentes en esta Región.

Según los investigadores Martínez y Villarte (2009) en su investigación “Estructura dasométrica de las plantas de un parche de *Polylepis besseri incarum* y avifauna asociada en la Isla del Sol (Lago Titicaca, La Paz-Bolivia)” indican que actualmente los bosques de *Polylepis* representan uno de los ecosistemas más amenazados de los Andes. Están en peligro de desaparecer debido al cambio climático y a la reducción del tamaño poblacional causadas principalmente por las actividades antrópicas.

A nivel local, un estudio tarifario realizado por la SUNASS en 2014 revelo que la laguna de Rontoccocha está experimentando diversos problemas debido a las actividades humanas. Estas incluyen la deforestación, la tala de árboles, la quema indiscriminada de bosques nativos, el sobrepastoreo de ganado y otras actividades similares que, a lo largo de los años, han afectado progresivamente estos ecosistemas. Estos impactos tienen consecuencias directas en la cantidad y calidad del agua disponible.(pág. 34)

Según Huamán (2016) en su investigación “Evaluación de la capacidad de infiltración por precipitaciones, utilizando infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha” afirma que en la actualidad se enfrenta una situación crítica marcada por la frecuente escasez de agua, la erosión de suelos y los incendios forestales en la zona de recarga hídrica de Rontoccocha.(pág. 9)

Las especies forestales objeto de estudio están ubicadas en la unidad hidrográfica de Rontoccocha, a altitudes que oscilan entre los 3600 y 4100 msnm. Desde hace más de 14 años, se han llevado a cabo reforestaciones y forestaciones en estos espacios utilizando para dichas actividades especies exóticas como nativas. No obstante, existe una gran incertidumbre debido a la falta de investigaciones previas que evalúen los posibles efectos futuros de la forestación con especies exóticas.

La problemática de la investigación es la disminución de la capacidad de infiltración

en las zonas altoandinas a consecuencia de la erosión y degradación de los suelos, problemática generada por actividades antrópicas como la expansión de la frontera agrícola, sobrepastoreo, quema de bosques relictos. En la parte alta de la unidad hidrográfica Rontoccocha, se evidencia la presencia de bosques relictos de queñuales con un cierto grado de alteración por la actividad antrópica, se observó la presencia de ganado y parcelas agrícolas alrededor de estos bosques (ver anexo 4), dentro del bosque se evidencio pisadas, excremento y caminos de ganado, que posiblemente llegan a pasar por el bosque relicto en busca de pastos(Anexo 4), actualmente el distrito de Abancay viene enfrentando en época seca problemas de desabastecimiento de agua y la evidente disminución del caudal hídrico (Cooperación Suiza, 2021).

Resolver este problema requiere un enfoque integral que incluya tanto la investigación como la implementación de prácticas sostenibles que favorezcan la recuperación de la capacidad de infiltración de los suelos en estas zonas vitales para las comunidades altoandinas. Con esta investigación se contribuye a afianzar el conocimiento en esta área y ofreció información valiosa para desarrollar prácticas agroforestales que mejoren los servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas alto andinos.

2.1.1 Problema general

- ¿En qué medida la capacidad de infiltración es significativamente diferente entre un suelo con cobertura forestal de *Pinus radiata* y de *Polylepis spp* en la unidad hidrográfica Rontoccocha, Abancay-2021?

2.1.2 Problemas específicos

- ¿Existe diferencia significativa entre la velocidad de infiltración de un suelo con cobertura forestal de *Pinus radiata* y *Polylepis spp* en la unidad hidrográfica Rontoccocha, Abancay-2021?
- ¿Existe diferencia significativa entre la lámina acumulada de un suelo con cobertura

forestal de *Pinus radiata* y *Polylepis* spp en la unidad hidrográfica Rontoccocha, Abancay-2021?

- ¿Cuáles son las diferencias entre las propiedades físico-químicas de un suelo con cobertura forestal de *Pinus radiata* y *Polylepis spp* y que impacto tienen sobre la capacidad de infiltración de los suelos en la unidad hidrográfica Rontoccocha Abancay-2021?

2.2. Objetivos

2.2.1 Objetivo general

- Demostrar estadísticamente la diferencia significativa entre la capacidad de infiltración de un suelo con cobertura forestal de *Pinus radiata* y *Polylepis spp* en la Unidad Hidrográfica Rontoccocha, Abancay 2021.

2.2.2 Objetivos específicos

- Determinar y comparar las curvas de velocidad de infiltración entre un suelo con cobertura forestal de *Pinus radiata* y *Polylepis spp* en la unidad hidrográfica Rontoccocha, Abancay 2021.
- Determinar y comparar las curvas de la lámina acumulada entre un suelo con cobertura forestal de *Pinus radiata* y *Polylepis spp* en la unidad hidrográfica Rontoccocha, Abancay 2021
- Determinar y comparar las propiedades físico-químicas entre suelos con cobertura forestal de *Pinus radiata* y *Polylepis spp* y su impacto en la capacidad de infiltración de los suelos en la unidad hidrográfica Rontoccocha, Abancay 2021

2.3. Justificación e importancia

La capacidad de infiltración del agua en los suelos es un factor determinante en la recarga de acuíferos y en la regulación de la escorrentía superficial. En suelos con buena capacidad de infiltración, se reduce la erosión y la pérdida de suelo (Garate et al, 2022),

favoreciendo así la conservación del recurso hídrico y la estabilidad del ecosistema. Este estudio adquiere relevancia e importancia por varias razones, tanto a nivel teórico como práctico, social y ambiental, y su contribución será clave para mejorar la gestión de los recursos naturales en nuestra región, por lo tanto, se menciona a continuación las principales razones que justifican la realización de este estudio:

Desde el punto de vista teórico esta investigación se realizó porque a pesar de que existen otros estudios sobre este tema no se ha encontrado estudios con el mismo grupo poblacional y el mismo ámbito de estudio, esta investigación estará llenando un vacío en el conocimiento teórico, esto permitirá una comprensión más completa de la capacidad de infiltración en contextos forestales específicos. Los resultados obtenidos en esta investigación servirán de referencia para estudios futuros.

Desde el punto de vista práctico, el desarrollo de esta investigación contribuirá a la generación de información que permitirá una mejor comprensión del proceso de infiltración del agua en suelos con cobertura forestal, esta investigación ayudara a prevenir las acciones antrópicas que sumado al cambio climático viene acelerando el proceso de degradación de los suelos en las zonas altoandinas. La investigación favorecerá a que se desarrollen prácticas forestales que optimicen la infiltración del agua y promuevan la conservación de los ecosistemas altoandinos. Al proporcionar una comprensión detallada de los procesos de infiltración en suelos con cobertura forestal, esta investigación ayudará a desarrollar estrategias de manejo sostenible que aseguren la disponibilidad continua de agua para las comunidades locales, Asimismo respaldar decisiones políticas que promuevan prácticas sostenibles y la protección de ecosistemas vitales, a desarrollar políticas públicas relacionadas con la gestión de recursos hídricos y la conservación de suelos en las zonas altoandinas.

Desde el punto de vista social, la presente investigación tiene un impacto

significativo en la gestión de los recursos hídricos a nivel local. Los suelos con alta capacidad de infiltración ayudan a mejorar la recarga de acuíferos y reducen la escorrentía superficial, lo que puede asegurar un suministro de agua más constante para la ciudad de Abancay y para las familias que se dedican a la agricultura. La investigación también desempeña un papel importante en la educación y la concientización ambiental, sensibilizando a la población sobre la importancia de estos procesos naturales fomentando una mayor responsabilidad y compromiso con la conservación de los ecosistemas naturales (bosques, praderas, bofedales, etc.).

Desde el punto de vista ambiental, los suelos con buena capacidad de infiltración facilitan la recarga de acuíferos, lo que contribuye a mantener el equilibrio del ciclo hidrológico, esto es crucial para evitar problemas de escasez de agua y mantener la calidad de las fuentes hídricas. Es importante mencionar también que la infiltración adecuada del agua es fundamental para el crecimiento de la vegetación, que a su vez sustenta una rica biodiversidad, promoviendo así la estabilidad de los ecosistemas y la preservación de la biodiversidad. La infiltración contribuye a la actividad biológica del suelo, lo que a su vez mejora su fertilidad y estructura. Por otro lado, los suelos forestales desempeñan un papel clave en la captura de carbono. Al mejorar la capacidad de infiltración, se favorece la salud del suelo, lo que aumenta su capacidad para almacenar carbono y, por ende, ayuda a mitigar los efectos del cambio climático.

Estudiar la capacidad de infiltración en suelos forestales es, por tanto, esencial para la gestión sostenible de los recursos naturales y la conservación del medio ambiente.

2.4. Hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

- HG: Estadísticamente existe diferencia significativa entre la capacidad de infiltración de un suelo con cobertura forestal de *Pinus radiata* y *Polylepis spp* en la unidad

hidrográfica Rontoccocha, Abancay- 2021

2.4.2 Hipótesis específicas

- HE1: La diferencia que presenta la velocidad de infiltración en el tiempo es significativamente diferente entre un suelo con cobertura forestal de *Pinus radiata* y de *Polylepis spp* en unidad hidrográfica Rontoccocha, Abancay 2021
- HE2: La diferencia que presenta la lámina acumulada en el tiempo es significativamente diferente entre un suelo con cobertura forestal de *Pinus radiata* y *Polylepis spp* en la unidad hidrográfica Rontoccocha, Abancay 2021
- HE3: Las diferencias que presentan las propiedades físico-químicas de los suelos son marcadamente diferentes entre un suelo con cobertura forestal de *Pinus radiata* y *Polylepis spp* y con un impacto positivo en la capacidad de infiltración de los suelos evaluados en la unidad hidrográfica Rontoccocha Abancay-2021.

2.5. Variables

2.5.1. Variable Independiente: Suelos con cobertura forestal

Es todo suelo que albergue una vegetación forestal, se considera a una porción de la superficie de la tierra, formada por material mineral y orgánico, penetrado por cantidades variables de agua y aire y que sirve de medio para la mantención de la vegetación forestal. Estos suelos exhiben características peculiares adquiridas bajo la influencia de factores pedogenéticos que no se presentan en otros sistemas edáficos, como son hojarasca forestal, raíces de los árboles y organismos específicos que dependen de la presencia de especies forestales. (Martinez de Azagra, 2015).

2.5.2. Variable Dependiente: Capacidad de infiltración

Es el nivel máximo de agua que un suelo puede absorber dependiendo de sus propiedades físicas y del estado de humedad antecedente a la precipitación. Se mide por la altura de agua que se infiltra, expresada en mm/hora. En la década de los años treinta, los

trabajos de Horton en infiltración dominan el pensamiento hidrológico ya que conociendo la precipitación y la capacidad de infiltración de un suelo en un momento dado se puede determinar la escorrentía superficial. (Ruiz y Martínez, 2015)

2.5.3. Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable Independiente: Suelos con cobertura forestal	Especies Forestales	<i>Pinus radiata</i>	Nominal
		<i>Polylepis spp</i>	Nominal
			Arena
			Limusina
			Arcilla
			Franco arenoso
		Textura	Franco limosino
			Franco arcilloso
			Arenoso limoso
			Arenoso arcilloso
		Limoso arcilloso	
Variable Dependiente: Capacidad de infiltración	Propiedades fisicoquímicas del suelo	Densidad aparente	gr/cm ³
		Humedad	%
		Potencial de Hidrogeno	Escala
		Materia orgánica	%
		Infiltración	Velocidad de infiltración
		Lamina acumulada	Cm

Nota. la variable es operacionalizada con el fin de convertir un concepto abstracto en uno empírico, susceptible de ser medido a través de la aplicación de un instrumento. (Betancur, 2000)

III. Marco teórico

3.1 Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

Montero y Jiménez (2016), en su investigación titulada “Velocidad de la infiltración del agua en el subsuelo de las comunidades el Rosario y Jesús del Gan poder, asociado a la granulometría y a la textura de sus componentes” tuvo como objetivo determinar las velocidades de infiltración y las características de los suelos relacionado a su granulometría y textura. La población está conformada por una población finita porque se encuentra delimitado en el sector de estudio (las comunidades El rosario y Jesús del Gran Poder) con un total de 40 muestras. En la Metodología se definió como una investigación aplicada, deductiva, cuantitativa y estadística.

De acuerdo a resultados de la investigación se determinó la existencia de 4 tipos de suelos: A-1-b (Fragmentos de rocas grava y arena) representando un 15% de la totalidad de muestras con una velocidad que varía entre 84 mm/h hasta 180 mm/h, A-3 (Arena fina) representando un 20 % con una velocidad que varía entre 36 mm/h hasta 780 mm/h, A-2-4 (Gravas y arenas arcillosas limosas) representando un 57,5 % con una velocidad que varía entre 30 mm/h hasta 456 mm/h, y A-2-6 (Gravas y arenas arcillosas limosas) representando un 7,50 % con una velocidad que varía entre 72 mm/h hasta 96 mm/h.

En conclusión, La textura y granulometría de los suelos, encontrados en las comunidades El Rosario y Jesús del Gran Poder, son preponderantes para la determinación de la velocidad que tendrá el agua.

Delgado, Gaspari y Senisterra (2017) en su estudio titulado “Respuesta a la Infiltración en Distintos Complejos Suelo-Vegetación en las Sierras de Ventania, Argentina”, el objetivo del estudio fue establecer la infiltración del suelo bajo distintos usos.

El área de estudio es la cuenca del arroyo Belisario, ubicada en el sector serrano de Ventania, con una superficie de 2.596 ha. El método empleado para la obtención de información fue la caracterización de sitios edáfico-vegetal mediante toma de muestras del suelo y ensayos de infiltración en campo.

En cuanto a los resultados de infiltración, los suelos con pastizales naturales con buena cobertura presente la tasa de infiltración más alta que fue de 440 mm/h seguido de la Cobertura forestal, cultivos agrícolas con prácticas conservacionistas y pastizales degradados en lomadas que fueron de 270 mm/h; 165mm/h y 120mm/h respectivamente, presentando un registro mínimo de infiltración el pastizal degradado en sierras con 45mm/h.

Se concluyó que, a partir del análisis de los resultados, durante eventos de lluvia, el agua en los complejos con pastizales degradados se infiltra más lentamente, lo que aumenta la esorrentía superficial y sus efectos, siendo mínima la tasa de infiltración en la zona de serranía. El sector con Pastizal con buena cobertura presentó un efecto superador en cuanto a su capacidad de infiltración, secundada por la Cobertura forestal y luego por el Cultivo agrícola.

Mencías (2015), en su estudio titulado “Determinación de la infiltración en el suelo, evaluación de la calidad del agua para riego y manejo ambiental del sistema de riego El Pisque-Pichincha-Ecuador” tuvo como objetivo medir la tasa de infiltración de los suelos y la calidad del agua.

La metodológica de la investigación se categorizo a un nivel de estudio exploratorio, con modalidad de investigación de campo, laboratorio y documental, el método elegido fue el hipotético-deductivo.

El área de estudio lo conforman dos órdenes de suelos dentro del Sistema de Riego El Pisque (Entisol y Mollisol) con un área aproximada de 7,195.3 ha y 6,805.0 ha

respectivamente, y las muestras para las pruebas de infiltración fueron de 1 m² con 9 repeticiones por tipo de suelo dando un total de 18 m².

Los resultados de infiltración fueron para los suelos del orden Mollisol una infiltración básica promedio de 58.66 mm/h, lo cual representó una muy alta infiltración, mientras que los suelos del orden Entisol tienen una infiltración básica promedio de 26.92 mm/h.

La investigación concluyó que el agua del sistema de riego El Pisque es adecuada para el riego agrícola y no presenta restricciones para su uso, por otro lado, el modelo de la ecuación de Kostiakov es altamente eficiente para describir el comportamiento de la velocidad de infiltración de agua en los suelos estudiados. Las diferencias observadas en las velocidades de infiltración a factores tales como el uso y cobertura de la tierra, pendiente, calidad del agua, compactación de los suelos.

Gaibor (2019), llevó a cabo un estudio titulado “Influencia del uso del suelo en la infiltración del agua de la microcuenca Alta del río Sábalo, valle Hermoso-Ecuador”. El objetivo fue, analizar la capacidad de infiltración del agua en el suelo según el uso actual, mediante el método del cilindro infiltrómetro.

Los resultados determinaron que el pastizal tiene una capacidad de infiltración de 69,68 L/m² /h, cacao 104,79 L/m² /h, palmito 104,79 L/m² /h y bosque con 87,32 L/m² /h. Además, se analizaron las propiedades físicas del suelo como textura, porosidad, humedad del suelo, densidad aparente y real. En el estudio se encontró que los suelos en el pastizal eran arenosos francos y en cacao, palmito y bosque franco arenoso. La porosidad en pastizal fue 62,50 %, cacao 65,77 %, palmito 66,54 % y bosque 67,29 % (valor más alto). La humedad del suelo en pastizal con 58,19%, cacao 59,65 %, palmito 59,59 % y bosque con 65,05 %. De acuerdo a la densidad aparente, el valor más alto en pastizal 0,99 t m³ , seguido del cacao con 0,90 t m³ , en palmito con 0,89 t m³ y en bosque siendo el valor más bajo de

0,87 t m³ , el cual varía según el grado de compactación, en densidad real el valor alto dio en palmito y bosque con 2,66 t m³ , en pastizal con 2,64 t m³ y cacao 2,62 t m³ , el cual los valores superiores de Dr de 2,65 g cm³ tienen un elevado contenido de Fe y materia orgánica.

En conclusión, Se logró definir la capacidad de infiltración por medio del método del cilindro infiltrómetro, en cuanto al pastizal presentó mayor inconveniente para la infiltración, debido al pisoteo del ganado en suelo húmedo, lo que generó la más baja capacidad de infiltración en ese uso del suelo.

Tapia, Carmona y Martinelli (2022) en su investigación que se titula “Evaluación de la infiltración en dos complejos suelo-vegetación en el Monte de San Juan (Argentina)” tuvo como objetivo evaluar parámetros de infiltración en dos complejos de suelo-vegetación.

La metodología para la obtención de datos inicio con la realizaron ensayos de infiltración con un infiltrómetro de anillo simple y carga variable en dos condiciones de superficie (suelo desnudo y suelo cubierto).

Asimismo, se tomaron muestras de suelo de forma aleatoria, un total de 40 muestras (20 por complejo) y se determinó textura, contenido de materia orgánica, densidad aparente, nitrógeno disponible, salinidad, entre otros.

la hipótesis a evaluar fue que la presencia de vegetación nativa, al mejorar las condiciones del suelo, favorece la tasa de infiltración y que además este efecto positivo es diferente en las distintas comunidades vegetales del Monte.

Los resultados que se obtuvieron fueron en el primer complejo (algarrobo) un suelo de textura franco-arcillo-arenoso, mientras que en el segundo (jarilla) la textura fue franco-arenoso. En ambos CSV, la velocidad media de infiltración ($p=0,03$), infiltración básica ($p=0,02$) e inicial ($p= 0,01$) fueron estadísticamente diferentes entre suelo desnudo y suelo cubierto.

En conclusión, se han encontrado diferencias en la tasa de infiltración entre los complejos suelo-vegetación, así como entre la condición de suelo cubierto y suelo desnudo. La mayor velocidad de infiltración y lámina promedio acumulada registradas es en CSV1 (dominado por *P. flexuosa*), indican un incremento en la capacidad de amortiguación de suelo frente a eventos de precipitación de alta intensidad, así como una reducción en la susceptibilidad del suelo a la erosión.

3.1.2 A nivel nacional

González (2015), en su investigación titulada "Caracterización de la Infiltración en Bosques Plantados con *Polylepis* spp., de 11 y 29 años, en el Parque Nacional Huascarán, Quebrada Quilcayhuanca, Huaraz, Ancash", los objetivos de la presente investigación fueron determinar la influencia de los bosques plantados de *Polylepis* spp., de 11 y 29 años en el proceso de infiltración; calcular la tasa de infiltración a través de los cilindros infiltrómetros; realizar la caracterización del suelo, a través de calicatas y análisis de muestras en laboratorio; y determinar el grado de descomposición de las hojarasca en las tres condiciones de Bosque (BP_29, BSM_11, BM_11).

La metodología utilizada para el levantamiento de información fue el muestreo del suelo, determinación del perfil del suelo empleando las cartas de Munsell, la metodología de Fassbender para determinar la descomposición de la hojarasca, el método de bloques de yeso para determinación de la humedad inicial del suelo, método de cilindro infiltrómetro para la medición de la infiltración y método del cilindro metálico individual (Forsythe, 1947) para determinar la densidad aparente.

La población de estudio lo conforman los suelos con plantaciones forestales de *Polylepis* que se distribuyen en 12 parcelas de 100 m² cada una.

Los resultados obtenidos para la caracterización del suelo respecto a la humedad inicial fue para BP_29 (13,5%), BSM_11(17,7%); BM_11 (14.5%) y T (15%); los

resultados de textura del suelo fueron para BSM_11 y BM_11 una textura franco con 8 y 14 % de contenido de arcilla, (BP_29) y el Testigo (T) presentan una textura de franco arenoso cuyos valores son 6% de arcilla en ambas parcelas y arena en 62 a 68 %, en cuanto al pH, el BM_11 presenta la acidez más marcada con un pH de 4,45., le sigue el BSM_11 con una acidez de 4,49., el BP_29 tiene una acidez de 4,58, el Testigo, cuenta con un pH de 4.81, para la materia orgánica se obtuvo El BM_11 con 7,80%, y el Testigo (T) con 7,52% presentan los valores más altos y el BP_29 y BSM_11 con 6,46% y 5,56% respectivamente. Para la densidad aparente se obtuvo para BP_29 (0,47gr/cm³), BSM_11 (0,66gr/cm³), BM_11 (0,95) y Testigo (1,07) siendo este último significativamente mayor.

Los resultados de la infiltración fueron los siguientes BM_11 (48,5 cm/h); BP_29 (45,1 cm/h); BSM_11 (37,3 cm/h) y Testigo (34,5 cm/h).

En conclusión los suelos con cobertura de Bosque plantado (BP_29, BSM_11, BM_11), presentan una mayor velocidad de infiltración que los suelos sin cobertura Forestal (área Testigo), con respecto a la caracterización del suelo se pudo determinar que el área Testigo y el BP_29 pertenecen a la clase textural franco arenoso; mientras que el área del BM_11 y el BSM_11 tienen la clase textural franco, se ha encontrado la mayor concentración de Biomasa seca de hojarasca en el BP_29, estos resultados son los esperados para las áreas evaluadas, ya que cuantos más años tenga la plantación habrá mayor acumulación de mantillo sobre la superficie del suelo.

Gutiérrez, Hermosa y Bazán (2017), llevaron a cabo una investigación titulada "Caracterización de la infiltración de agua en tres sistemas de uso del suelo de la Comunidad Santiago de Carampoma, Huarochirí, Lima". Su estudio tuvo como objetivo comparar la influencia del bosque intervenido de Japaní en la infiltración de agua con la de otros sistemas de uso del suelo, como pasturas compactadas por ganadería y cultivos de papas en andenes agrícolas.

La metodología empleada para el levantamiento de información se dividió en cinco secciones: Metodología en campo y gabinete para el levantamiento y análisis de información de las pruebas de infiltración, metodología para la recolección de muestras de suelo de los usos de suelo comparados, metodología para la descripción de los perfiles de suelo, metodología para la determinación del estado de descomposición de la hojarasca y el cálculo de la biomasa seca y metodología para la determinación de la humedad disponible del suelo por el método de bloques de yeso.

La población lo conforma un área de 665 hectáreas que se denomina bosque natural relicto de Japaní.

Como resultado de la investigación para las pruebas de infiltración según la triple interacción (uso de suelo, altitud y pendiente) se tomó como referencia el rango de valores óptimos establecido por Alegre en el 2013 (0.45-0.55 cm/seg 0.5), únicamente los resultados provenientes de los puntos: “Parte alta del bosque intervenido con pendiente fisiográfica alta”; “Parte media del pastizal parcialmente compactado por ganadería con pendiente fisiográfica alta” y “Parte baja del bosque intervenido con pendiente fisiográfica alta” serían considerados como poseedores de una óptima infiltración, siendo (0.66 cm/seg0.5) (0.50 cm/seg0.5) y (0.48 cm/seg0.5) los respectivos valores de esta. Los resultados según uso de suelo fueron pastizal parcialmente compactado por ganadería obtuvo el mayor promedio con (0.37 cm/seg0.5) de infiltración, seguido por el bosque intervenido con (0.33 cm/seg0.5) y finalmente los cultivos de papas en andenes agrícolas con (0.28 cm/seg0.5).

Se concluye que los usos de suelo “Bosque intervenido” y “Pastizal Parcialmente compactado por Ganadería” fueron los únicos con valores óptimos de infiltración, el uso de suelo “Pastizal Parcialmente Compactado por Ganadería” posee mayor cantidad de infiltración promedio (0.37 cm/seg0.5) en contraste con el “Bosque intervenido” (0.33 cm/seg0.5) y los “Cultivos de papas en andenes agrícolas” (0.28 cm/seg0.5).

Dueñas (2019), en su trabajo de investigación “Evaluación de la infiltración en plantaciones de bambú o caña de Guayaquil (*Guadua angustifolia*) en el distrito La Florida, San Miguel – Cajamarca”, tiene como objetivo principal evaluar la capacidad de infiltración de las plantaciones de *Guadua angustifolia* comparando la influencia de plantaciones de más de 30 años de edad, con plantaciones de 10 o 15 años de edad y bosques de montaña nativos presentes en el distrito la Florida.

La población en estudio lo conforman cada cobertura vegetal, las muestras se obtuvieron de las parcelas seleccionadas en total 10 muestras de infiltración por cada parcela.

La metodología de evaluación inicio con un el viaje preliminar, seguido de la organización secuencial de diversas actividades de campo y la caracterización del sistema rizomático, hojarasca y del suelo.

Como resultados tenemos que el de mayor valor de infiltración (media) corresponde al bosque de montaña con un valor de 0,602 cm/seg0.5 seguido por el bosque de bambú maduro con un valor de 0.576 cm/ seg0.5 y finalmente el bosque de bambú joven con un valor de 0,471 cm/ seg0.5. los resultados de la caracterización del sistema rizomático nos indican que se tiene una profundidad promedio, de 0.90 m, no se observaron diferencias significativas entre los rizomas de la cobertura Bambú maduro con la de Bambú joven, en los resultados de la caracterización de la hojarasca se observa que en el bosque de bambú maduro (53,85% hojas descompuestas) y bosque de bambú joven (64,28% hojas descompuestas) hay una diferencia aproximada de 6 cm y los resultados para la caracterización del suelo fueron para porosidad 49,81 %, 42,64 % y 34,72 % para las coberturas de Bambú Maduro(BM) , Bambú Joven(BJ) y Bosque de montaña (B) respectivamente, los valores de contenido de humedad; 34,36 % para el Bambú Maduro; 20,10 % para Bambú joven y 10,49 % para el bosque de Montaña, los valores de materia orgánica para B, BM y BJ fueron 5,71%; 5,75% y 6,25% respectivamente, valores de pH

fueron para B, BM y BJ 6,30;6,10 y 6,36 respectivamente, densidad aparente(g/cc) para B,BM y BJ fueron 1,73; 1,33 y 1,52 y por último la clase textural para B,BM y BJ fue franco arenoso; franco arcilloso y franco respectivamente.

Se concluyó que, la cobertura de bosque de montaña presentó el mayor valor de capacidad de infiltración, con 0,602 cm/seg0.5, le siguió la cobertura de bambú maduro con 0,576 cm/seg0.5, y, en tercer lugar, la cobertura de bambú joven con 0,471 cm/seg0.5, todos estos valores se consideraron óptimos para la infiltración.

Garate, et al. (2022), en su estudio que titula “Diferencias en la capacidad de infiltración del suelo en dos tipos de cobertura vegetal en la Amazonía peruana” tiene como objetivo comparar la capacidad y velocidad de infiltración del suelo en dos tipos de cobertura vegetal (bosque primario intervenido y pastizal) en la Amazonía peruana.

El método de medición fue el uso del infiltrómetro de anillo simple que nos permitió medir la tasa de infiltración de los suelos; se recolectaron tres muestras en los pastizales y seis en el bosque primario.

Los resultados respecto a las características fisicoquímicas del suelos en los dos tipos de cobertura fueron valores de materia orgánica (%) para Bosque primario de $2,6 \pm 1,3$ a y para pastizales de $2,1 \pm 0,7$. En ambos tipos de cobertura las características texturales fueron similares para Bosques primarios textura franco y para pastizales franco-arenoso, al aplicar el análisis estadístico no se encontraron diferencias significativas en las características fisicoquímicas del suelo entre los dos tipos de cobertura (t-Student, $p > 0,05$). En los resultados obtenidos de la capacidad de infiltración promedio en los bosques (1162 ± 448 mm/hora) fue 16 veces más que en el pastizal (73 ± 60 mm/hora).

Se concluye que la capacidad de infiltración del suelo en los bosques primarios es mayor que en los pastizales. Esto tendría impactos significativos en el comportamiento hidrológico de los ecosistemas tropicales.

Ticse (2018), en su investigación titulada “Correlación de la cobertura vegetal de pastos naturales con la recarga hídrica de la cuenca alta del río Shullcas como medida de adaptación al cambio climático en el periodo julio 2013 hasta junio 2014”. Tiene como objetivo determinar la relación de los pastos naturales y la recarga de acuíferos, estudiando tres zonas de ladera: Huishna, Huaytapallana y Lazo Huntay (testigo). La investigación es aplicada, se empleó el método hipotético deductivo.

Los resultados de infiltración para la zona Huishna fue de una velocidad alta, en promedio 660 mm/h, para la zona Huaytapallana una velocidad baja, en promedio 166 mm/h, aplicando el análisis estadístico se comprueba que el tipo de cobertura vegetal no está relacionado con la recarga hídrica de manera significativa, con un valor de $r=0.018$. La mayor recarga hídrica se dio en Huishna, 20% de las precipitaciones anuales, debido a que esta zona presenta tipo de uso de suelo de protección y forestal, confiriéndole mejores propiedades de estructura de suelos y por tanto mayor infiltración básica de suelos, de la caracterización del suelo se obtuvieron los resultados para la zona Testigo una textura Franco arcillo arenoso (F-a-Ar) a Franco arenoso (F-Ar), La zona Huaytapallana presenta una textura Franco arenoso (F- Ar) a Arenoso franco (Ar-F) y la zona Huishna presenta una textura de Franco arenoso (F-Ar), en referencia a la materia orgánica. La zona Huishna presenta un suelo con alta materia orgánica, de característica fuertemente ácido, contenido de N, P y K, medio, bajo y bajo respectivamente. La zona Huaytapallana presenta un suelo con alta materia orgánica, de característica extremadamente ácido, contenido de N, P y K, medio, bajo y bajo respectivamente. La zona Testigo presenta un suelo con muy baja materia orgánica, de característica medianamente básico, contenido de N, P y K, muy bajo, bajo y medio respectivamente.

En conclusión: La recarga hídrica no está relaciona con la cobertura vegetal ya que el factor determinante en la recarga hídrica es el uso de suelos, debido a su influencia

en la estructura y capacidad de retención hídrica.

3.1.3 A nivel regional y local

Huamán, (2016), titulada “Evaluación de la Capacidad de Infiltración por Precipitaciones utilizando el Infiltrómetro de Doble Anillo en la Zona de Recarga Hídrica de la Unidad Hidrográfica de Rontoccocha-Abancay”, que tuvo como objetivo determinar el potencial de la capacidad de infiltración por precipitaciones utilizando como instrumento de medición el infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha.

La metodología de la investigación fue del tipo descriptiva correlacional el método para obtención de datos en campo fue el uso del infiltrómetro de doble anillo. La zona de estudio se ubica en la Unidad Hidrográfica de Rontoccocha Distrito y Provincia de Abancay Región Apurímac, con un área de 9.33 km² y 23 puntos de muestreo en toda la Unidad Hidrográfica Rontoccocha.

Como resultado se obtuvo el volumen total, del acumulado de las 23 muestras, de un área de 9.33 km² que equivale a 3687478452.90 litros o 3687478.45 m³.

Se concluyó que la evolución de la velocidad de infiltración en cada una de las muestras es totalmente variable que va desde un mínimo de velocidad hasta un máximo en cada una de las muestras. La evolución en el tiempo del volumen acumulado en cada una de las muestras es totalmente variable que va desde un mínimo de volumen acumulado de agua hasta un máximo.

De acuerdo con la practica realizada se puede concluir que la velocidad de infiltración va a depender de la textura, el tamaño de los agregados del suelo, y estructura.

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Capacidad de infiltración

Martínez y Navarro (1996) señalaron que la capacidad de infiltración se define

como la cantidad máxima de agua que un suelo es capaz de absorber en un tiempo determinado, influenciada por las características del terreno y su nivel de humedad. Hillel (1982) subrayó que cuando la precipitación supera esta capacidad, el suelo llega a su máximo potencial de infiltración, lo que se denomina como la capacidad de infiltración del suelo.

Tabla 2

Clasificación de la velocidad de Infiltración del suelo

Interpretación	Velocidad de infiltración (cm/hora)
Muy Lenta	< 0.2
Lenta	0.2-0.5
Moderadamente Lenta	0.5-2.0
Moderada	2.0-6.5
Moderadamente rápida	6.5-12.5
Rápida	12.5-25.0
Muy rápida	>25.0

Nota. La velocidad de infiltración se clasifica de muy lenta a muy rápida, presenta una infiltración muy lenta cuando la velocidad es menor a 0.2 cm/hora y la infiltración se considerará muy rápida cuando la velocidad es mayor a 25.0 cm/hora. Adaptada de Propiedades físicas de los suelos, por Montenegro, G. y Malagón D, 1990, Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

3.2.2 Velocidad o tasa de infiltración

Molina (1975) afirma que la velocidad o tasa de infiltración es la rapidez con la que el agua se infiltra en el suelo. durante una tormenta la infiltración varia ya que, en un comienzo, la velocidad será mayor e irá disminuyendo en el transcurso de la precipitación. Lo que ocurre es que, al comienzo de la tormenta, el suelo seco absorbe inmediatamente toda el agua que llegue, sin embargo, con el transcurrir del tiempo en suelo se irá saturando,

ocasionando una disminución en su circulación, haciendo que al final adopte un valor constante.

3.2.3 Factores que rigen la infiltración

Para que exista infiltración en el suelo hay que tomar en cuenta muchos factores entre los cuales son:

a. Características de la precipitación

Martínez y Navarro (1996) indican que, a medida que aumenta la duración e intensidad de las lluvias, el suelo tiene dificultades para absorber toda el agua, lo que genera encharcamiento y escorrentía superficial. En caso, que la intensidad de la lluvia sea menor que la capacidad de infiltración del suelo, toda la precipitación será absorbida; sin embargo, si la capacidad de infiltración es insuficiente, la entrada de agua se verá obstaculizada.

b. Tipo y propiedades del suelo

Las características físicas como textura, densidad, permeabilidad están directamente relacionadas con la infiltración del agua en los suelos; se entiende que, a mayor porosidad, tamaño de partículas y fisuración, mayor será su capacidad de infiltración. Los suelos con una alta proporción de poros no capilares (de gran diámetro) generalmente tienen buena aireación, rápida infiltración y baja capacidad de retención de agua (Pritchett, 1986). Asimismo, las características químicas como materia orgánica, pH, contenido de nutrientes, salinidad influyen en el proceso de infiltración, la pérdida de materia orgánica suele resultar en una disminución de esta tasa debido a la reducción de la porosidad superficial (FAO, 2005).

c. Cubierta vegetal

González del Tánago (s.f.), menciona que la cobertura forestal influye significativamente en el proceso de infiltración, la parte aérea de las plantas intercepta la lluvia, lo que reduce su intensidad y previene el sellado de la superficie del suelo y la

formación de costras. Al establecer vegetación en suelos desnudos o con escasa cobertura, se incrementa la infiltración, aunque el grado de mejora puede variar.

d. Temperatura

La temperatura del agua influye en su viscosidad y, por ende, en su capacidad para atravesar el perfil del suelo. Musgrave (1964) observó que las tasas de infiltración variaban en un mismo suelo entre invierno y verano. Cuando las temperaturas son muy bajas, el agua puede congelarse, generando impermeabilidad en la capa superficial, lo que dificulta la infiltración.

e. Grado de humedad del suelo

Campos (1984) menciona que a medida que se va humedeciendo el suelo, este se hincha por hidratación ocasionando que las arcillas y coloides cierren las grietas reduciendo la infiltración. La tasa de infiltración tiene una relación inversamente proporcional a la humedad del suelo, un suelo húmedo tiene una menor capacidad de infiltración que un suelo seco.

f. Acción del hombre y los animales

Si el suelo no ha sufrido ninguna alteración (suelo virgen) ya sea por parte del hombre o de los animales, el suelo tiene una mayor cantidad de materia orgánica y la mayor porosidad, esto favorece a la infiltración, si el suelo está sometido a muchas acciones ya sean de animales o del hombre, el suelo se llega a compactar y se reduce la capacidad de infiltración.

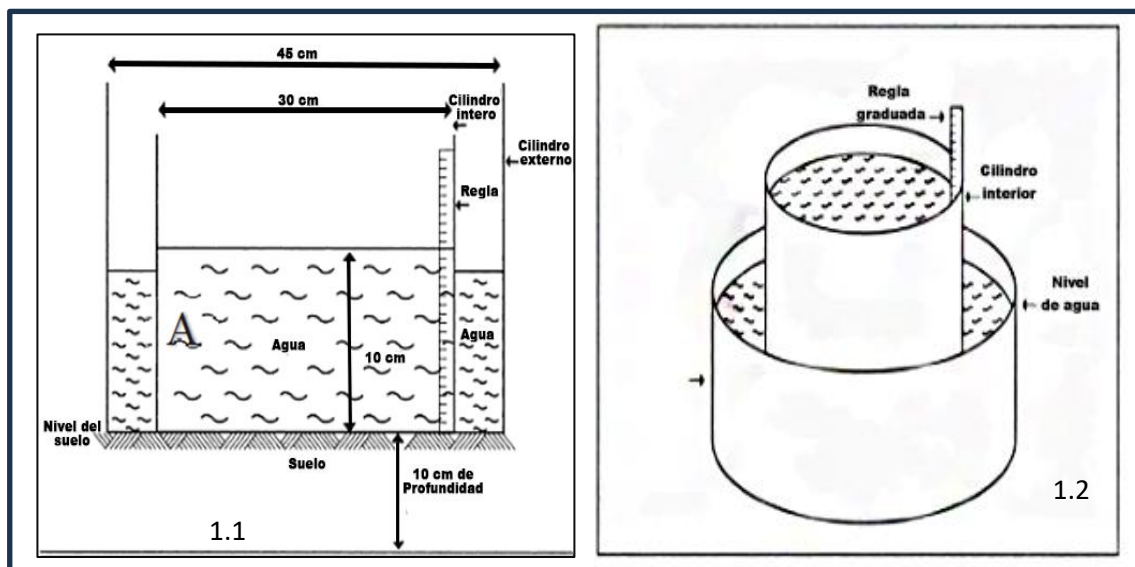
3.2.4 *Uso de infiltrómetro*

Los infiltrómetros son instrumentos que permiten medir la infiltración en áreas reducidas al aplicar agua artificialmente sobre el terreno; incluso, los datos obtenidos con estos equipos son útiles para cuencas pequeñas y homogéneas. Sin embargo, en cuencas grandes y heterogéneas, el suelo o la vegetación deben dividirse en áreas más pequeñas, y

se debe utilizar un infiltrómetro en cada una de ellas. Existen dos tipos principales de infiltrómetros, clasificados según sus características: de tipo inundador y los simuladores de lluvia. (Campos, 1998)

Figura 1

Vista frontal del funcionamiento del doble anillo



Nota. En la imagen 1.1 se visualiza el funcionamiento interno del infiltrómetro, las dimensiones de los anillos y el nivel del agua. En la imagen 1.2 se observa el funcionamiento externo del infiltrómetro. Adaptada de *Riego y Drenaje* (p.31), por Juan C. Valverde, 2007, Universidad a Distancia San José.

3.2.5 Modelos empíricos de infiltración

La estimación de la Infiltración, dependerá de las propiedades del suelo y de las variaciones de éstas tanto espacial como temporalmente, ya que a medida que cambia el contenido de humedad del suelo la infiltración variará; por ello la infiltración es un proceso muy complejo que puede describirse mediante ecuaciones matemáticas solamente de forma aproximada.

3.2.5.1 Modelo de Horton.

Una de las primeras ecuaciones de infiltración fue desarrollada por Horton (1933), quién observó que la infiltración empieza en alguna tasa f_0 y decrece exponencialmente hasta que alcanza una tasa constante f_c , tal y como se expresa en la siguiente ecuación:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt} \quad (1)$$

Donde:

$f(t)$ = capacidad de infiltración en el instante t

f_c = valor constante de la capacidad de infiltración en estado de saturación del suelo.

f_0 = valor máximo de la capacidad de infiltración al comienzo de la lluvia.

k = constante de decaimiento.

t = tiempo transcurrido desde el comienzo de la lluvia

3.2.6 Suelo

Desde un enfoque científico, la edafología estudia el suelo como un sistema natural autónomo. El suelo es una mezcla compleja de partículas minerales, materia orgánica (humus), agua, aire y organismos vivos. El suelo puede tener diferentes composiciones y características, que influyen en su capacidad para sostener vegetación, retener agua y facilitar la filtración. (Weil y Brady, 2016)

3.2.7 Características físicas del suelo

3.2.7.1 Textura.

Antonio (2007) afirma que la textura del suelo tiene un impacto significativo en su productividad. Los suelos con altos porcentajes de arena tienden a retener menos agua y pierden grandes cantidades de nutrientes minerales debido al proceso de lixiviación hacia el subsuelo.

Tabla 3*Comparación de propiedades del suelo según su textura*

Textura	Símbolo	Infiltración	Retención de Humedad	Aireación
Arenosa	A	Excelente	Muy baja	Excelente
Arenosa-franca	AF	Buena	Baja	Buena
Franco-arenosa	FA	Buena	Regular	Buena
Franco	F	Buena	Regular	Buena
Franco-limosa	FL	Buena	Buena	Buena
Limosa	L	Buena	Buena	Buena
Franco-arcilla- arenosa	FArA	Regular	Regular	Regular
Franco-arcillosa	Far	Regular	Regular	Regular
Franco-arcilla- limosa	FArL	Pobre	Regular	Regular
Arcillo-limosa	ArA	Pobre	Media	Muy Pobre
Arcillo-limosa	ArL	Pobre	Alta	Muy Pobre
Arcillosa	AR	Pobre	Muy Alta	Muy Pobre

Nota. En la tabla se observa los tipos de textura de suelo y la relación directa que esta guarda con la infiltración, la retención de humedad y la aireación. Adaptada de Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas, por Aldemar Reyes, Fabián Ulises y Yesid Carbajal, 2009, Universidad del Valle.

3.2.7.2 Estructura.

La composición del suelo abarca tanto las fracciones granulométricas como arena, arcilla y limo, como los agregados formados por la combinación de estas fracciones. Por tanto, una partícula puede ser una unidad primaria (arena, arcilla, limo) o secundaria (agregados o estructuras) (Rucks et al., 2004)

Honorato (2000) describe varios tipos de estructura del suelo: granular, prismático, masivo, de grano suelto, blocoso y laminar. Según su clasificación, los suelos con estructura

granular (esferoidal) y aquellos de grano suelto (sin estructura) presentan una alta velocidad de infiltración. En contraste, los suelos con estructura blocosa y prismática tienen una velocidad de infiltración moderada, mientras que los suelos laminares y masivos exhiben una baja velocidad de infiltración.

3.2.7.3 Densidad aparente.

La densidad volumétrica, también conocida como densidad aparente, se define como la relación entre el peso del suelo seco en gramos y el volumen que ocupa en centímetros cúbicos. Esta densidad varía según la cantidad de espacios porosos presentes en el suelo. En general, existe una relación inversa entre el contenido de espacios porosos y la densidad aparente: a medida que disminuyen los espacios porosos, la densidad aumenta (Zavaleta, 1992).

Los suelos con baja densidad aparente suelen ser porosos, bien aireados, y contar con un buen drenaje, lo que favorece el desarrollo adecuado de las raíces. Por el contrario, los suelos con alta densidad aparente tienden a ser compactos y poco porosos, lo que resulta en una aireación deficiente y una infiltración lenta del agua. Esto puede llevar a problemas como el anegamiento y la anoxia, dificultando la penetración de las raíces y su acceso al agua y nutrientes necesarios. Estas condiciones pueden impedir o ralentizar el crecimiento de las plantas de manera significativa (Donoso, 1992).

3.2.7.4 Contenido de humedad.

Forsythe (1975) indica que la humedad del suelo influye en varias propiedades físicas como la densidad aparente, la porosidad, y la penetrabilidad, además de influir en sus características químicas y biológicas, así como en el crecimiento vegetal. Campos (1984) citado por Reyes (2013) agrega que, al humedecerse, el suelo se expande debido a la hidratación, lo que cierra las grietas y disminuye la infiltración.

El contenido de humedad del suelo es una de las características más importantes para el desarrollo de la vegetación que permite garantizar la disponibilidad de agua en las corrientes superficiales incluso en épocas de baja precipitación (Villegas, 2004).

3.2.8 Propiedades químicas de los suelos

3.2.8.1 Acidez del suelo.

La acidez del suelo depende de la concentración de dos tipos de iones: los iones de hidrógeno (H^+) y los iones de hidroxilo (OH^-) (González, 2015, p. 28). Esta acidez se expresa como pH, donde la "p" minúscula indica potencial y la "H" mayúscula representa el símbolo químico del hidrógeno. El valor del pH oscila entre 0 y 14.

El pH del suelo es crucial para la abundancia de lombrices de tierra, ya que su población disminuye en suelos con pH menores a 4.0. La mayoría de las lombrices prefieren un pH entre 6 y 7 (Burns y Martin, 1986; citado por Isos, 2003). Estas lombrices mejoran las propiedades químicas y biológicas del suelo al procesar desechos animales y vegetales, que se integran en la materia orgánica y se distribuyen por todo el perfil del suelo (Syers y Springett, 1984; citado por Isos, 2003).

3.2.7.2 Materia orgánica.

La materia orgánica del suelo consiste en sustancias provenientes de restos vegetales (hojas, troncos, flores, etc.), restos animales en descomposición, exudados radiculares, estiércol, compost y productos derivados de organismos del suelo y su metabolismo (Clark, 2001; Labrador, 1996).

La materia orgánica desempeña un papel crucial en el proceso de infiltración, ya que facilita una mayor absorción de humedad y mediante la creación de espacios más amplios, permite que el agua circule con mayor facilidad a través del suelo. Un contenido adecuado de materia orgánica contribuye a la formación de hábitats saludables para la vida y su desarrollo (Ruiz Romera & Martínez Santos, 2015). Además, la materia orgánica es esencial

para la protección del suelo y actúa como un indicador de su calidad debido a su sensibilidad a los cambios que puedan producirse (Carter, 2002).. La pérdida de materia orgánica reduce la tasa de infiltración al disminuir la porosidad superficial (FAO, 2005).

3.2.9 Influencia de la vegetación en la infiltración

Para López Cadenas (1990) la profundidad de infiltración en suelos con cobertura arbórea es muy superior que en suelos agrícolas. Esta mayor permeabilidad de los suelos con cobertura arbórea se debe en parte, a la continua incorporación de materia orgánica al suelo como consecuencia de la caída de hojas, ramillas, etc., lo que contribuye a que su estructura sea más granular (variando con el tipo de bosque y estación del año). Otros aspectos que evidencian la influencia de la vegetación son: la gran capacidad de absorción de agua por parte de las cubiertas vegetales y húmicas (las cuales cubren los suelos forestales y retrasan el punto de encharcamiento); la mayor porosidad dotada por los sistemas radicales; la materia orgánica incorporada para establecer una mayor permeabilidad y finalmente, un incremento del potencial de absorción del agua por el suelo. Por otra parte, en épocas frías cuando se produce la congelación en los suelos con abundante materia orgánica, está casi no afecta a la penetración del agua. Además, al descomponerse las raíces de los árboles se crean innumerables canalillos más o menos vacíos o llenos de material sumamente permeable, por donde circulan las aguas con relativa facilidad.

3.3 Definición de términos

3.3.1 Infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua se desplaza desde la superficie hacia las capas más profundas del suelo, penetrando a través de los poros y espacios vacíos del suelo (Hillel, 1998)

3.3.2 Tasa de infiltración

Es la tasa a la que el agua penetra en el suelo desde la superficie; normalmente, se mide en milímetros por hora (mm/h), y su valor máximo coincide con la conductividad hidráulica del suelo en estado de saturación. (Bouwer, 2000)

3.3.3 Lámina acumulada

La lámina acumulada es el total de agua que se ha acumulado sobre una superficie durante un intervalo de tiempo específico, generalmente expresado en milímetros, y que refleja la cantidad de dispensador o infiltración (Woolhiser, 2002)

3.3.4 Suelo forestal

El suelo forestal es el conjunto de materiales superficiales que se encuentran en los bosques y que proporcionan soporte, agua y nutrientes a las plantas forestales, siendo influenciado por el tipo de vegetación y el clima (Hillel, 2004)

3.3.5 Ecosistema

Un ecosistema es una unidad ecológica que incluye tanto a los organismos biológicos como a los factores físicos de su entorno, interactuando de manera que permiten el flujo de energía y el reciclaje de nutrientes (Eugene , 1971)

3.3.6 Servicios ambientales

Los servicios ambientales son los beneficios directos e indirectos que los ecosistemas proporcionan a los seres humanos, los cuales son esenciales para el bienestar humano y el funcionamiento de los sistemas naturales (Daily , 1997)

3.3.7 Ciclo hidrológico

Es un proceso ininterrumpido en el que el agua se transfiere desde la superficie terrestre hacia la atmósfera y regresa nuevamente a la tierra. Este ciclo abarca varias fases, tales como la evaporación de suelos, océanos o cuerpos de agua dulce, la formación de nubes

a través de la condensación, la caída de agua en forma de precipitación, la acumulación en el suelo o en masas acuáticas y por último, la reevaporación (Campos, 1998).

3.3.8 Escorrentía

La escorrentía es el movimiento de agua sobre la superficie terrestre, que se produce después de la precipitación, cuando el agua no puede ser absorbida por el suelo o infiltrarse en él, fluyendo hacia cuerpos de agua (Hillel, 2004)

3.3.9 Degradación del suelo

La degradación del suelo es el proceso de deterioro en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, que reducen su capacidad para sustentar la vida y desempeñar sus funciones ecológicas (Rattan , 2001)

3.3.10 Cobertura forestal

La cobertura forestal es la proporción de un área terrestre que está ocupada por bosques, ya sean naturales o plantados, y es crucial para la regulación de los ciclos hidrológicos y la biodiversidad (FAO, 2010)

3.3.11 Erosión hídrica

La erosión hídrica es el proceso de desgaste y transporte de suelo debido a la acción del agua, ya sea por lluvias, escorrentía o deshielos, lo que resulta en la pérdida de la capa superficial del suelo (Morgan, 2005)

3.3.12 Unidad hidrográfica

Una unidad hidrográfica es un área geográfica que comprende una cuenca o subcuenca fluvial, donde toda el agua superficial fluye hacia un único punto de salida, y que se utiliza para el manejo y estudio de los recursos hídricos (Maidment & Mays, 1988)

IV. Metodología

4.1 Tipo de investigación

El estudio actual se clasifica como investigación básica debido a su objetivo de ampliar el conocimiento existente. Según Vara Horna (2016) la investigación básica se enfoca en analizar la relación entre variables, diagnosticar realidades empresariales o de mercado, probar y ajustar teorías, generar nuevas perspectivas sobre fenómenos y desarrollar o adaptar instrumentos de medición (p. 34).

Espinoza Montes (2010) argumenta que el investigador científico utiliza encuestas y recopila datos con el objetivo de describir, explicar y resolver problemas reales. Este proceso implica la búsqueda de datos históricos o la evaluación de la situación actual. Para asegurar la validez y precisión de los resultados, es necesario contar con una población y una muestra representativa seleccionada aleatoriamente, lo que ayuda a minimizar errores y aumentar la confiabilidad de los hallazgos (p. 21-21).

Finalmente, de acuerdo con Ander-Egg (2011), la investigación básica se realiza para ampliar el conocimiento teórico de una ciencia específica, sin centrarse en aplicaciones prácticas o consecuencias inmediatas. Su objetivo principal es aumentar el acervo teórico de una disciplina (p. 42)

4.2 Nivel o alcance de investigación

Este estudio de investigación se clasifica como una investigación descriptiva, según Espinoza (2014), "La investigación descriptiva busca detallar los objetos de estudio tal como están operando o ocurriendo, sin que el investigador interfiera en su funcionamiento" (p. 90). Además, Hernández-Sampieri y Mendoza Torres (2018) sostienen que los estudios descriptivos buscan detallar las cualidades, atributos y perfiles de individuos, colectivos, comunidades, procesos, objetos o fenómenos que se están investigando.

Esto significa obtener o registrar información para informar sobre diferentes aspectos, factores o elementos del fenómeno que se está estudiando. En un estudio descriptivo, el investigador selecciona preguntas específicas y luego recoge información sobre cada una para representar el objeto de estudio" (p. 108).

4.3 Ámbito temporal y espacial

4.3.1 Temporal

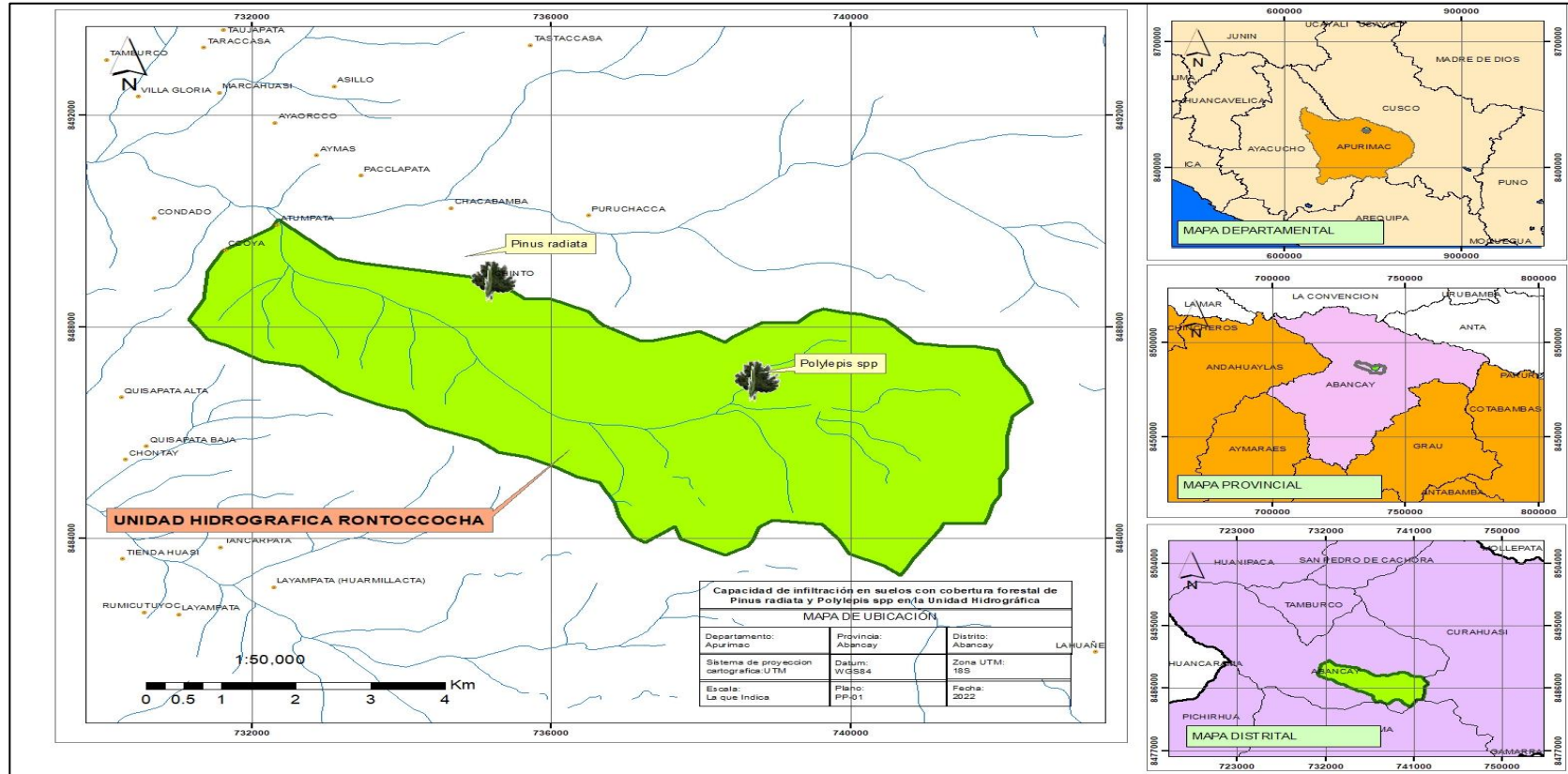
La ejecución se concretó en 12 meses calendario, la primera parte del estudio se enfocó en la recolección de datos en campo comprendiendo la época seca (mayo a noviembre) del año 2022 época considerada propicia para realizar las pruebas de infiltración, posterior a esta etapa se realizó el procesamiento de la información obtenida en el campo de estudio, el análisis de las muestras en laboratorio (los parámetros analizados fueron: contenido de humedad, pH, materia orgánica, análisis mecánico, densidad aparente y clase textural) finalmente se obtuvieron los resultados en laboratorio que culminó con la interpretación y análisis estadístico.

4.3.2 Espacial

La investigación se realizó en la unidad hidrográfica Rontoccocha que pertenece a la Microcuenca Mariño, en el distrito de Abancay. Provincia de Apurímac. Departamento de Apurímac.

Figura 2

Ubicación del ámbito de estudio



Nota. Elaboración propia. La ubicación inicio a nivel macro con el mapa departamental y nivel micro con el mapa distrital donde se observa la unidad hidrográfica Rontoccocha y la ubicación de la cobertura forestal

4.4 Población y muestra

4.4.1 Población

La población de estudio estuvo conformada por suelos con cobertura forestal de *Polylepis spp* y *Pinus radiata* que se encuentran en la unidad hidrográfica Rontoccocha en la siguiente tabla detallamos la ubicación de cada cobertura forestal y su área respectiva.

Tabla 4

Ubicación de las poblaciones de estudio

Suelos con cobertura forestal	Área	Altitud
<i>Pinus radiata</i>	2.81 ha	3636 msnm
<i>Polylepis spp</i>	2.34 ha	4083 msnm

Nota. Ubicación y altitud a la que se encuentran las dos especies forestales en investigación

4.4.2 Muestra

Una muestra se entiende como un subconjunto de una población que se elige para ser investigado, con el propósito de reunir información (C. Arias et al., 2020).

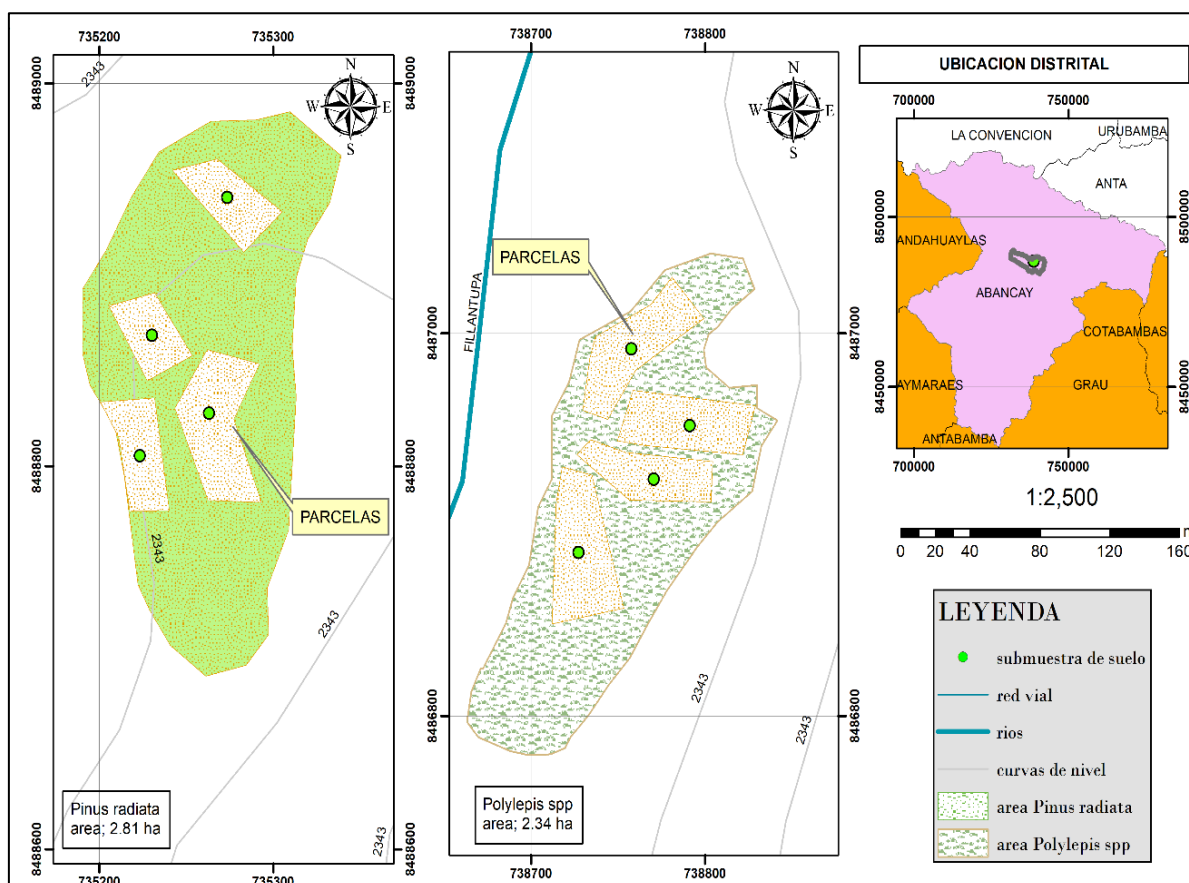
En la presente investigación se utilizó el muestreo no probabilístico intencional, los criterios de selección fueron áreas con una pendiente baja o regular y cobertura forestal densa.

La muestra está conformada por un área de 2.81 ha de suelos con *Pinus radiata* y 2.34 ha de suelos con *Polylepis spp*, dentro de cada área se seleccionaron y delimitaron 4 parcelas de las cuales se tomaron muestras del suelo para el análisis fisicoquímico siendo en total 4 submuestras por cobertura forestal, así mismo se realizó pruebas de infiltración al interior de cada parcela, siendo en total 4 pruebas de infiltración por cobertura forestal. Los criterios de evaluación estipulan que las parcelas no deben tener pendientes superiores al 40% y deben estar distribuidas uniformemente en toda el área forestal (González, 2015).

En el apartado de limitaciones de la investigación, se destacó que uno de los problemas encontrados fue la topografía irregular del terreno, lo que dificultó la ubicación de parcelas que cumplieran con los requisitos mínimos para las pruebas de infiltración.

Figura 3

Población, muestra del área de estudio y ubicación de las submuestras



Nota. Elaboración propia

4.5 Instrumentos

Los instrumentos son herramientas que sirven para la recopilación de la información en documentos y que permite al investigador medir la variable para que la herramienta sea válida. (Valderrama, 2019).

En la presente investigación se utilizó una ficha de observación para la recolección de datos, a continuación, se muestra el modelo:

Tabla 5*Ficha para la recolección de datos de campo*

Cartilla de infiltración de las parcelas evaluadas					
Cobertura forestal:		Parcela:		Fecha:	
Localización		Departamento:		Provincia:	
Georreferenciación		Norte:		Este:	
Responsable		Altitud:			
Apoyo					
Tiempo(min)		Lectura en regla (cm)		Velocidad de infiltración (cm/hora)	
Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado	Instantáneo	Acumulado
					o

Nota. Elaborado a partir de las fichas utilizadas en la investigación “Caracterización de la infiltración en bosques plantados con *Polylepis spp.*, de 11 y 29 años, parque nacional Huascarán, quebrada Quilcayhuanca, Huaraz, Ancash” (Gonzalez, 2015)

4.5.1 Materiales y equipos para pruebas de infiltración

Los equipos y materiales utilizados en campo para el cálculo de la capacidad de infiltración fueron los siguientes;

Tabla 6*Equipos y materiales para levantamiento de datos en campo*

Para Delimitación de parcelas			Para las Pruebas de infiltración		
Equipos y Materiales	Unidad	Cant.	Equipos y Materiales	unidad	Cant.
Cinta plegable	M	10	Infiltrómetro de doble anillo	unid	1
GPS	Unid	1	Cronómetro	unid	1
Estaca de madera	Unid	24	Cinta pegante	unid	2
Martillo	Unid	1	Bolsas plásticas	paq.	2

Para delimitación de parcelas			Para las pruebas de infiltración		
Rafias	M	50	Regla graduada	cm	60
Libreta de campo	Unid	1	Balde	L	15
lápiz y borrador	Unid	4	Martillo	unid	1
Cámara fotográfica	Unid	1	Tabla de madera (para instalar cilindro)	unid	1
			Cámara fotográfica	unid	1
			Lápiz y borrador	unid	4
			Libreta de campo	unid	1

Nota. Elaboración propia

4.5.2 *Materiales y equipos para pruebas de laboratorio*

Tabla 7

Equipos y materiales para análisis fisicoquímico en laboratorio

Equipos y Materiales	Unidad	Cant.
Balanza analítica	Unid	01
Probeta	Unid	03
vasos precipitados	Unid	03
Pinza	Unid	01
Estufa	Unid	01
Desecador	Unid	01
Potenciómetro	Unid	01
solución Buffer de 4.01-7.0 y 10.0	Unid	01
lápiz y borrador	Unid	02

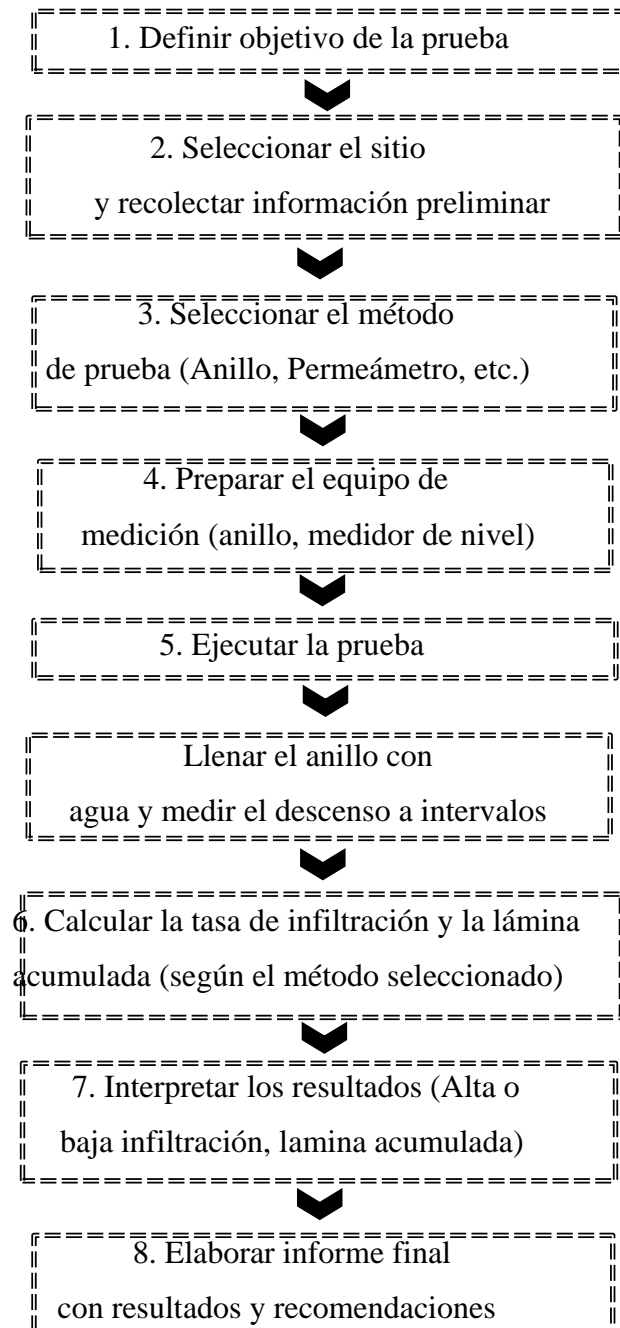
Nota. Elaboración propia

4.6 Procedimientos

4.6.1 Procedimientos para obtención de valores de infiltración (Objetivo específico 1 y2)

Figura 4

Procedimiento metodológico de una prueba de infiltración en suelo



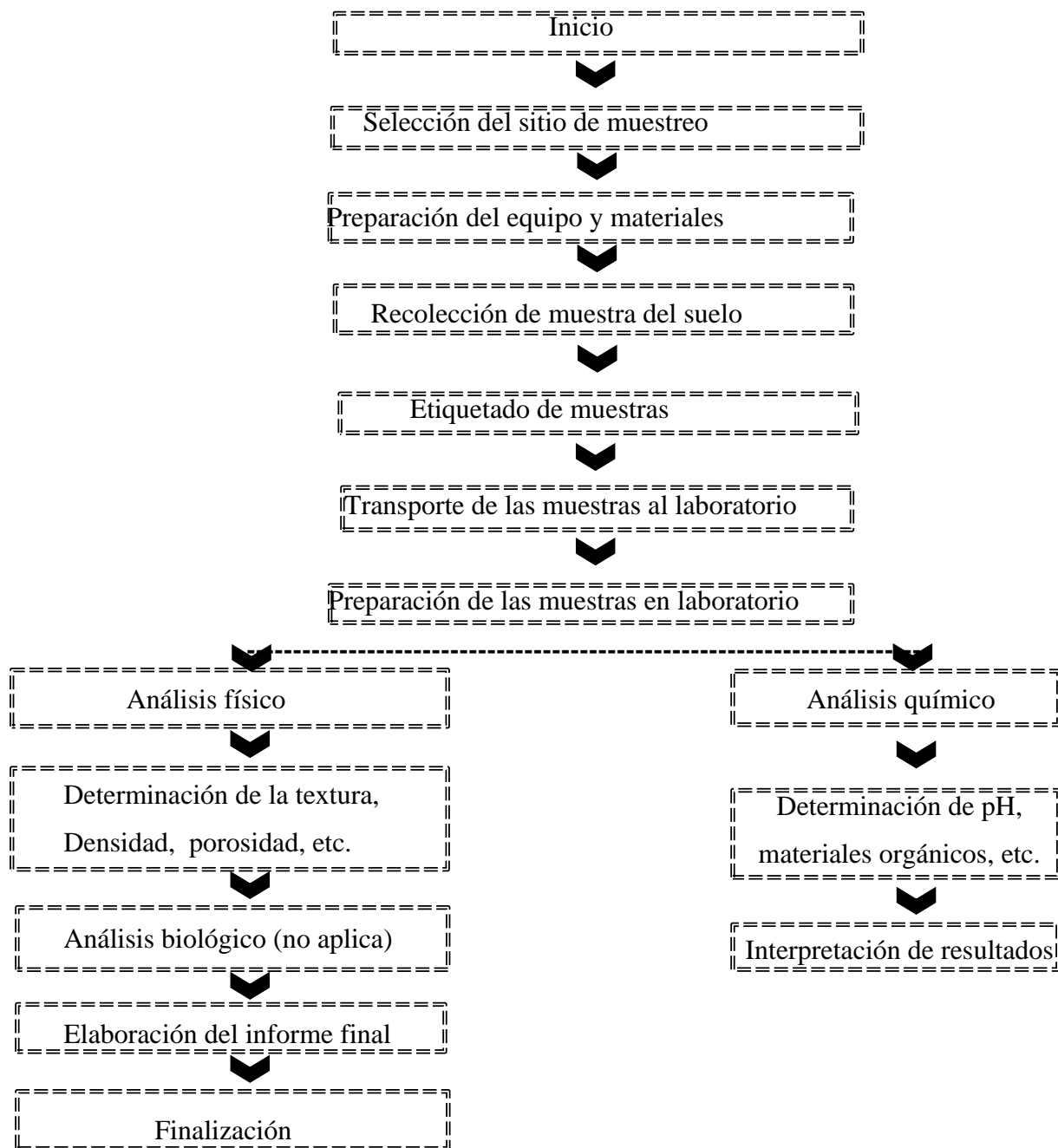
Nota. Elaboración propia

- Las pruebas de infiltración tienen como objetivo determinar la tasa de infiltración y la lámina acumulada del agua en suelos forestales en la unidad hidrográfica Rontoccocha.
- Para la recolección y toma de datos de infiltración se aplicó el método del infiltrómetro de doble anillo. Previo a la salida de campo se inventario los materiales y equipos para las pruebas y el material para registrar los datos de infiltración.
- Las pruebas se realizaron en 4 parcelas ubicadas al interior de cada cobertura forestal, 4 parcelas en plantaciones de *Pinus radiata* y 4 parcelas en plantaciones de *Polylepis spp.*
- Antes de realizar las pruebas de infiltración se realizó una limpieza del área, para lo cual se elimina la cobertura vegetal existente con mucho cuidado para no alterar la capa superior del suelo al mismo tiempo se realizó la delimitación de las muestras de 1mx1m haciendo uso de estacas y rafias, para luego insertar los anillos a una profundidad de 4 cm aproximadamente para evitar fugas de agua. Finalmente se realizan las pruebas de infiltración.
- Se humedece el anillo exterior con la finalidad de que la infiltración sea vertical en el anillo interior, después de este procedimiento se llena con agua el anillo interior y se realiza la medición tomando lectura de la regla insertada en el anillo interior.
- Posterior a la obtención de datos estos son procesados y analizados para su correcta interpretación.

4.6.2 Procedimientos para la obtención de los datos fisicoquímico de los suelos forestales (Objetivo Especifico 3)

Figura 5

Procedimiento metodológico de la obtención de muestras y análisis de laboratorio



Nota. Elaboración propia

Con el objetivo de determinar las características fisicoquímicas del suelo, se seleccionaron y tomaron muestras de las áreas de estudio (suelos con cobertura forestal de

Pinus radiata y *Polylepis* spp), las cuales se enviaron al laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales. A continuación, se detallan los parámetros evaluados y su procedimiento:

a) Densidad aparente

Para determinar la densidad aparente se empleó el uso del cilindro metálico individual, el proceso inicio con la extracción de muestras, utilizando un cilindro metálico en calicatas de 20 cm de profundidad. Con la ayuda del cilindro, se extrajo una muestra del suelo la cual fue transportada hasta el laboratorio de suelo de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, esta muestra se colocó en la estufa a unos 105 °C hasta obtener un peso constante (Forsythe, 1947)

Una vez obtenido el peso seco y conociendo el volumen se aplicó la siguiente fórmula:

$$Dap \left(\frac{gr}{cm^3} \right) = \frac{ms(gr)}{Vs(cm^3)} \quad (2)$$

Dónde:

ms = Masa seca (gr)

Vs = Volumen saturado (cm³)

b) Contenido de humedad

Para determinar el contenido de humedad en el suelo, se empleó el método gravimétrico.

En primer lugar, se recolectó muestras de las cuatro parcelas de cada suelo, que fueron almacenada de inmediato en bolsas ziploc para prevenir cualquier pérdida de masa que pudiera influir en el cálculo de la humedad hasta su análisis en el laboratorio. Posteriormente, se obtuvo el peso seco utilizando una estufa, permitiendo así realizar los cálculos correspondientes.

La humedad gravimétrica es la forma más elemental de medir la humedad en el suelo, definiéndose como la cantidad de agua presente por unidad de masa de sólidos en el suelo, y generalmente se expresa en forma de porcentaje, calculado mediante la siguiente fórmula:

$$\%HG = \frac{(MH-MS)}{MS} \times 100 \quad (3)$$

Dónde:

HG: Humedad gravimétrica

MH: Masa de suelo húmeda

MS: Masa de suelo secado al horno

El valor de suelo seco se obtiene de introducir el suelo húmedo a la estufa durante 24 horas a 105°C. Bazán, et al. (2011)

c) pH

Se toma una cantidad específica de suelo seco y triturado, la cual se coloca en un vaso destinado a la extracción; luego, se añade agua desionizada en una proporción 1:25 y se agita durante 10 minutos. Este proceso es conocido como el procedimiento de extracción. Antes de realizar la medición, el potenciómetro debe ser calibrado utilizando soluciones buffer con pH de 4.00, 7.00 y 10.00. Posteriormente, se introduce el electrodo en la muestra para medir el pH, un paso denominado procedimiento analítico, en el cual se determina el pH del suelo.

d) Textura

Para determinar la textura de suelos cubiertos por vegetación forestal, se utilizó el método de Bouyoucos (1927), basado en la ley de Stokes, la cual describe el comportamiento de partículas sólidas al descender en un fluido viscoso. Esta ecuación permite cuantificar la relación entre el tiempo que tardan las partículas en sedimentar y su tamaño, representado por su diámetro.

El procedimiento implica preparar una solución a partir de una muestra de 40 gr de suelo tamizado en un vaso precipitado, añadiendo 100 ml de hexametáfosfato de sodio (HMF, una solución dispersante), agregamos 200ml agua destilada y transferimos la mezcla del vaso precipitado a una probeta de 1 litro. Luego, se mezcla vigorosamente con un agitador de plástico y se mide la temperatura. Al introducir el hidrómetro en la solución, se procede a leer la escala del hidrómetro, tomando como referencia la parte superior del menisco. Los datos se tomaron a los 30”,1’,3’,30’,90’ y mayor de 8 horas.

4.7 Análisis de datos

El proceso estadístico abarca una serie de pasos secuenciales necesarios para llevar a cabo una investigación fundamentada en datos cuantitativos, con el fin de obtener resultados que reflejen con precisión la realidad analizada (Francisco López, 2019). En la presente investigación se realizaron correlaciones de los valores de infiltración por parcela con un nivel de significación del 0.05%. Para aplicar la correlación en primera instancia los datos de infiltración se organizaron en hojas de cálculo y se realizó la correlación mediante regresión múltiple, para lo cual se hizo unos del paquete estadístico Minitab Statistical Software Versión 21.1.0, para luego con estos datos confirmar la hipótesis planteada a través de la prueba U de Mann de Whitney con un nivel de confianza del 95%.

4.8 Consideraciones éticas

La tesis mantiene un estricto respeto por la autoría de las fuentes referenciadas y están en conformidad con las normas APA 7ma edición.

Se tomaron todas las medidas necesarias para evitar alteraciones en la cobertura vegetal existente en el área de estudio. Se restableció a su estado natural las parcelas donde se realizaron las pruebas de infiltración. El proceso de recopilación de datos, su análisis y la selección del sitio incluyen descripciones exhaustivas para asegurar la validez y credibilidad de la investigación.

V. Resultados y discusión

5.1 Resultados

5.1.1. Determinar y comparar la velocidad de Infiltración en suelos con cobertura forestal

5.1.1.1. Determinar la velocidad de infiltración en suelos con cobertura forestal de *Pinus radiata* en el mes de julio y agosto.

Se entiende como velocidad de infiltración a la rapidez con la que el agua se filtra en el suelo. Esta rapidez varía con el tiempo, siendo al comienzo una velocidad mayor que gradualmente disminuirá hasta llegar a un valor constante.

Para obtener valores representativos de velocidad de infiltración se realizaron mediciones en el mes de julio y agosto (M1 y M2).

Tabla 8

*Velocidad de infiltración promedio en suelos con **Pinus Radiata** del mes julio y agosto*

Tiempo acumulado (min)	Velocidad de infiltración instantáneo (cm/hora)								Prom
	Mes 1				Mes 2				
	P1M1	P2M1	P3M1	P4M1	P1M2	P2M2	P3M	P4M2	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	72	42	30	36	72	60	54	60	53.25
2	54	36	30	24	48	42	24	60	39.75
3	42	12	18	6	30	18	30	42	24.75
4	24	12	24	12	18	6	18	24	17.25
5	30	12	6	6	18	12	6	18	13.5
6	24	6	6	6	12	6	12	12	10.5
7	30	6	6	6	12	6	6	18	11.25
8	18	12	18	6	12	6	18	6	12
9	24	6	12	12	18	6	6	6	11.25
10	18	6	6	6	12	24	6	12	11.25
14	36	18	12	24	30	18	24	24	23.25

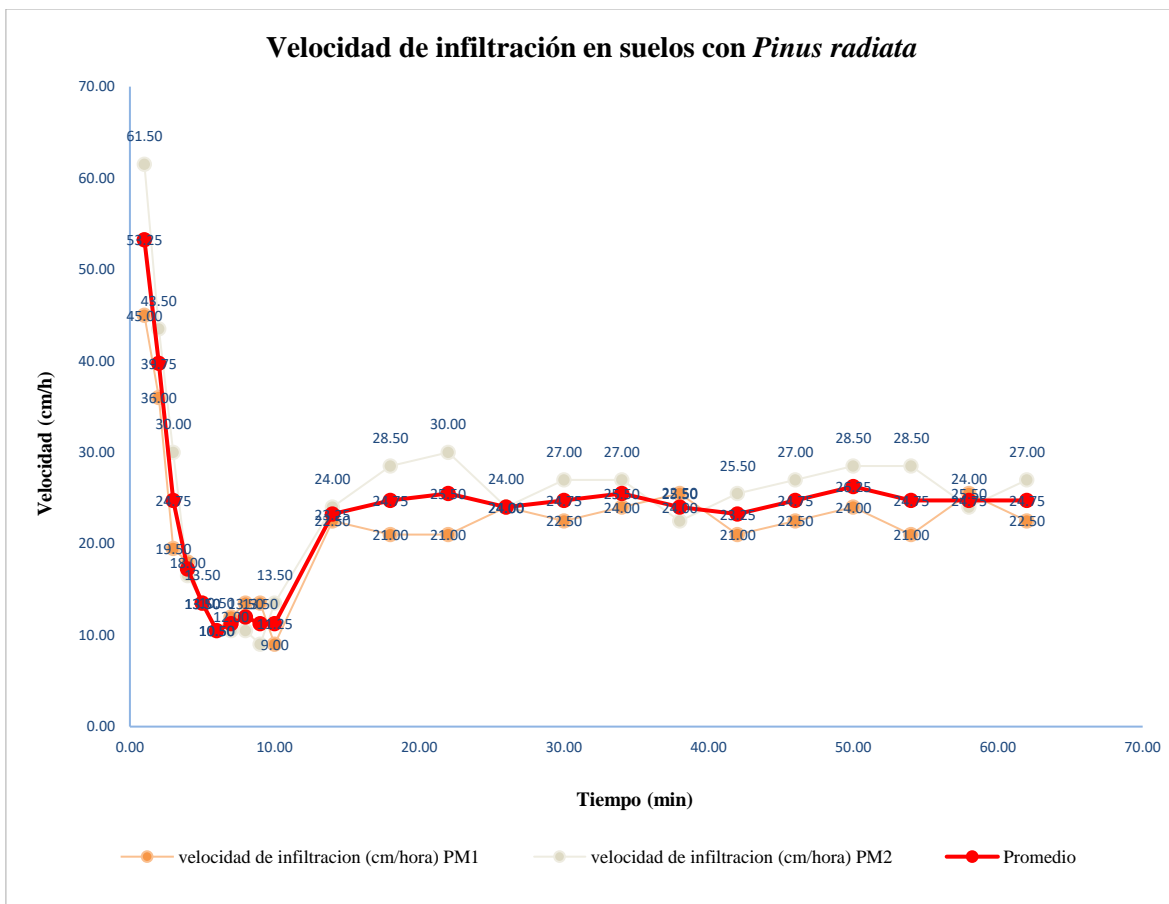
Tiempo acumulado (min)	Velocidad de infiltración instantáneo (cm/hora)								Prom
	Mes 1				Mes 2				
	P1M1	P2M1	P3M1	P4M1	P1M2	P2M2	P3M2	P4M2	
18	36	24	12	12	36	24	24	30	24.75
22	30	18	6	30	36	18	30	36	25.5
26	36	30	12	18	36	24	18	18	24
30	36	24	12	18	36	24	30	18	24.75
34	30	24	24	18	36	18	24	30	25.5
38	42	30	12	18	30	24	18	18	24
42	30	18	12	24	36	18	24	24	23.25
46	36	18	18	18	30	24	30	24	24.75
50	42	24	12	18	42	18	36	18	26.25
54	30	18	18	18	36	30	30	18	24.75
58	36	24	18	24	36	18	24	18	24.75
62	36	18	18	18	42	18	30	18	24.75

Nota. La abreviatura P hace referencia a la parcelas y M hace referencia al mes que se evaluó, por lo tanto, P1M1: parcela uno del mes de julio, P2M1: parcela dos del mes de julio, P3M1: parcela tres del mes de julio y P4M1: parcela cuatro del mes de julio; para P1M2: parcela uno del mes de agosto, P2M2: parcela 2 del mes de agosto, P3M2: parcela tres del mes de agosto y P4M2: parcela cuatro del mes de agosto.

En la tabla 8 se puede observar en la última columna el promedio de la infiltración en suelos con cobertura forestal de *Pinus radiata* las cuales fueron evaluadas en dos meses, el comportamiento de la velocidad de infiltración o tasa de infiltración es decreciente con ciertas variaciones en el transcurso del tiempo, con una tasa de infiltración máxima promedio de 53.25 cm/h al inicio de la infiltración, una tasa de infiltración mínima de 10.5 cm/h en el minuto 6, con una infiltración básica de 24.75 y con una infiltración promedio de 21.88 cm/h.

Figura 6

Velocidad de infiltración en suelos con Pinus radiata del mes de julio y agosto y su velocidad promedio

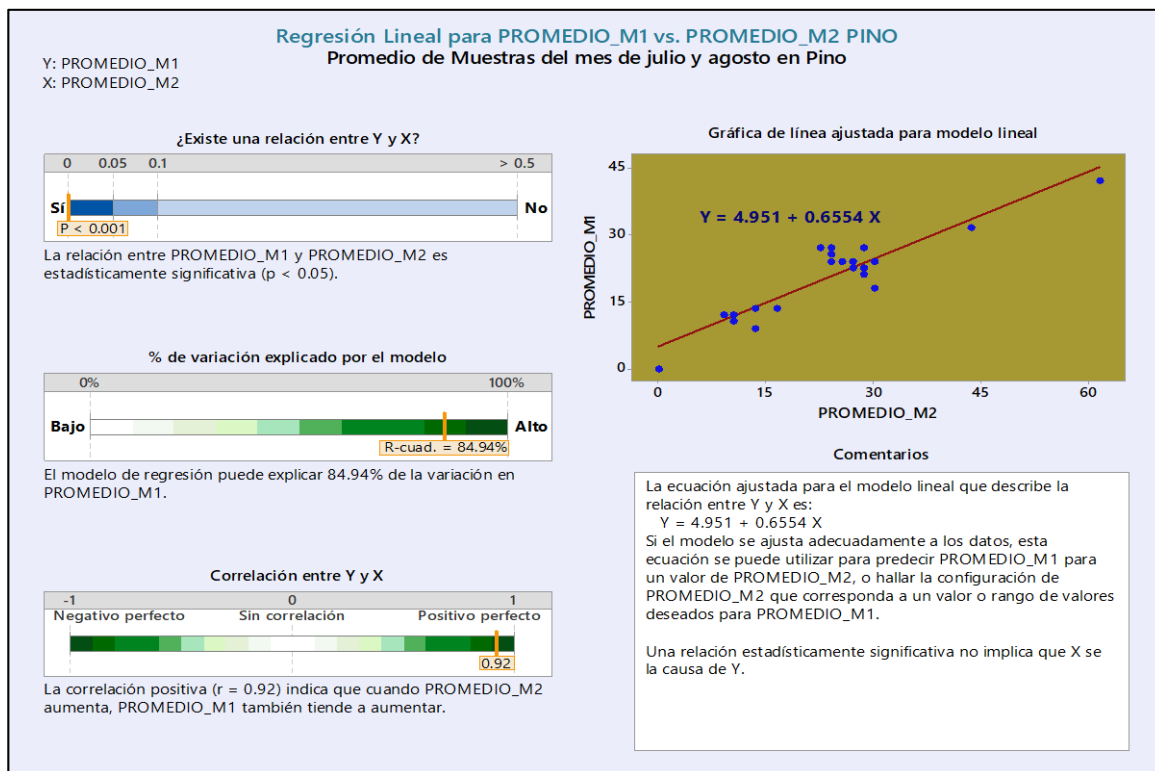


Nota. Las abreviaturas para P indica parcelas y M el mes de evaluación, por tanto, PM1: Parcelas de *Pinus radiata* del mes de julio y PM2: Parcelas de *Pinus radiata* del mes de agosto

a. Análisis de regresión lineal para valores de infiltración en suelos con *Pinus radiata*

Figura 7

Correlación de promedios de las muestras tomadas el mes de julio y agosto en suelos con *Pinus radiata*



Nota. Elaboración propia

b. Interpretación

Según la gráfica de regresión con un nivel de significancia de 95%, se tiene que el promedio de datos tomados en el mes de julio y agosto tienen un grado de correlación de $r^2 = 84.94\%$ de correlación, además del grado de correlación $r = 0.92$ alta positiva entre estas dos muestras. Por lo tanto, es posible realizar el promedio de valores obtenidos en los dos meses por el grado de correlación que guardan entre sí.

5.1.1.2. Determinación de la velocidad de infiltración en suelos con *Polylepis spp* en los meses de julio y agosto.

A continuación, se muestran los valores obtenidos de velocidad de infiltración en función al tiempo para suelos con *Polylepis spp*, se aplica una regresión múltiple a los valores

obtenidos en las 4 parcelas evaluadas para finalmente aceptar o rechazar la correlación de los valores de las parcelas.

Tabla 9

*Velocidad de infiltración en suelos con **Polylepis spp** en el mes de julio y agosto.*

Tiempo acumulad o (min)	Velocidad de infiltración (cm/hora)								Prom
	Mes 1				Mes 2				
	P1M1	P2M1	P3M1	P4M1	P1M2	P2M2	P3M2	P4M2	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
1	126	120	120	144	120	120	120	162	129
2	108	60	126	144	72	78	102	138	103.5
3	60	60	114	132	48	72	78	72	79.5
4	66	66	108	72	66	66	90	102	79.5
5	66	66	114	78	54	60	72	66	72
6	66	54	78	90	48	54	54	72	64.5
7	72	54	60	48	48	42	54	54	54
8	54	60	60	42	54	54	54	54	54
9	54	60	60	66	42	48	54	60	55.5
10	48	36	60	84	54	48	48	60	54.75
11	54	24	60	60	54	48	66	60	53.25

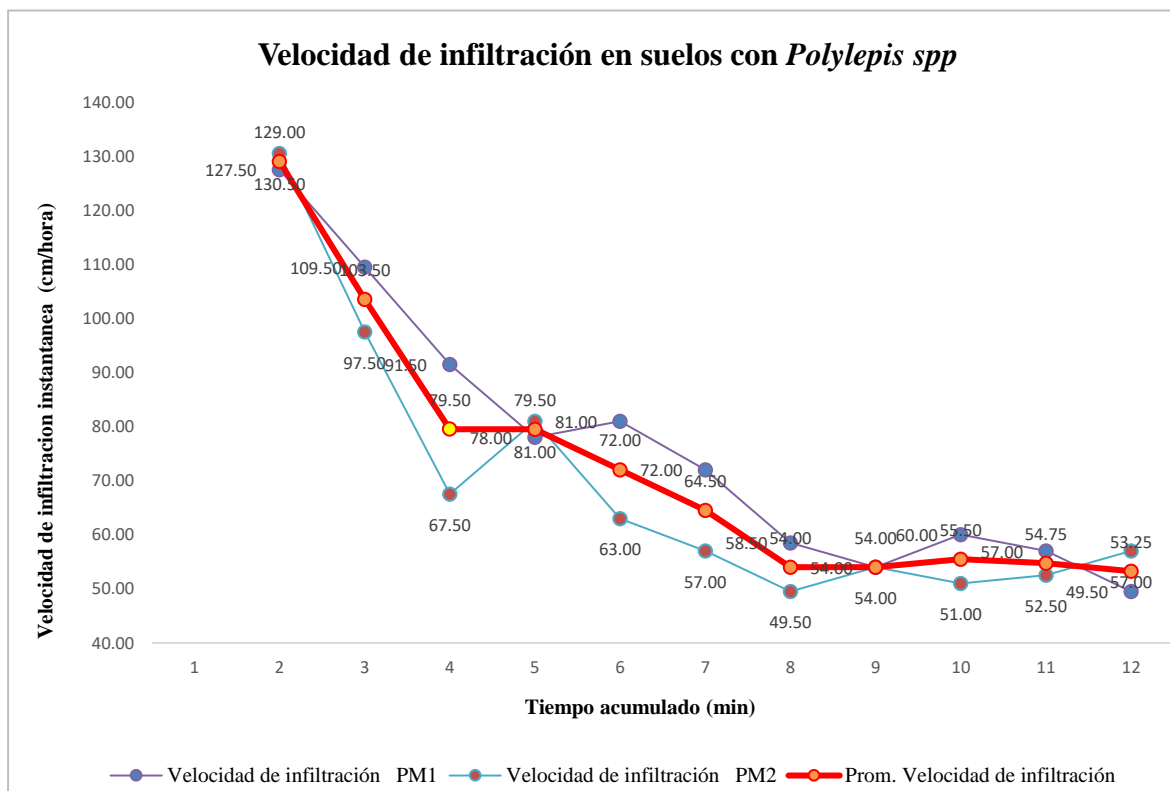
Nota. La abreviatura P hace referencia a la parcelas y M hace referencia al mes que se evaluó, por lo tanto, P1M1: parcela uno del mes de julio, P2M1: parcela dos del mes de julio, P3M1: parcela tres del mes de julio y P4M1: parcela cuatro del mes de julio; para P1M2: parcela uno del mes de agosto, P2M2: parcela 2 del mes de agosto, P3M2: parcela tres del mes de agosto y P4M2: parcela cuatro del mes de agosto.

En la tabla 9 se puede observar en la última columna el promedio de la infiltración en suelos con cobertura forestal de *Polylepis spp* las cuales fueron evaluadas en dos meses,

el comportamiento de la velocidad de infiltración o tasa de infiltración es decreciente con ciertas variaciones en el transcurso del tiempo, con una tasa de infiltración máxima promedio de 129 cm/h al inicio de la infiltración, una tasa de infiltración mínima de 53.25 cm/h en el minuto 11 y una infiltración promedio de 72.68 cm/h

Figura 8

*Velocidad de infiltración instantánea promedio en suelos con *Polylepis spp* de los meses de julio y agosto*

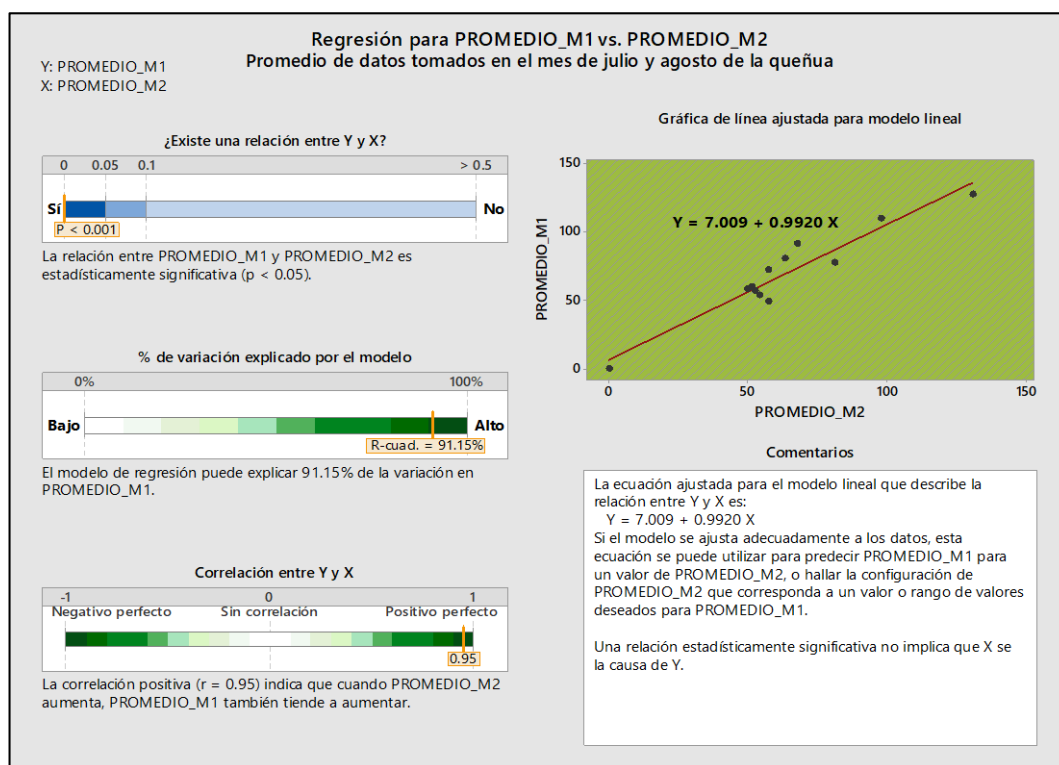


Nota. Las abreviaturas para P indica parcelas y M el mes de evaluación, por tanto, PM1: parcelas de *Polylepis spp* del mes de julio y PM2 parcelas de *Polylepis spp* del mes de agosto

a. **Análisis de regresión lineal para valores de infiltración en suelos con *Polylepis spp***

Figura 9

*Correlación entre promedio de muestras tomadas en julio y agosto en suelos con *Polylepis spp**



Nota. Elaboración propia

b. Interpretación:

Según la gráfica de regresión con un nivel de significancia de 95%, se tiene que el promedio de datos tomados en el mes de julio y agosto tienen un grado de correlación de $r^2 = 91.15\%$ de correlación, además del grado de correlación $r = 0.95$ alta positiva entre estas dos muestras.

5.1.1.3. Comparar la velocidad de infiltración entre suelos con *Pinus radiata* y *Polylepis spp.*

Tabla 10

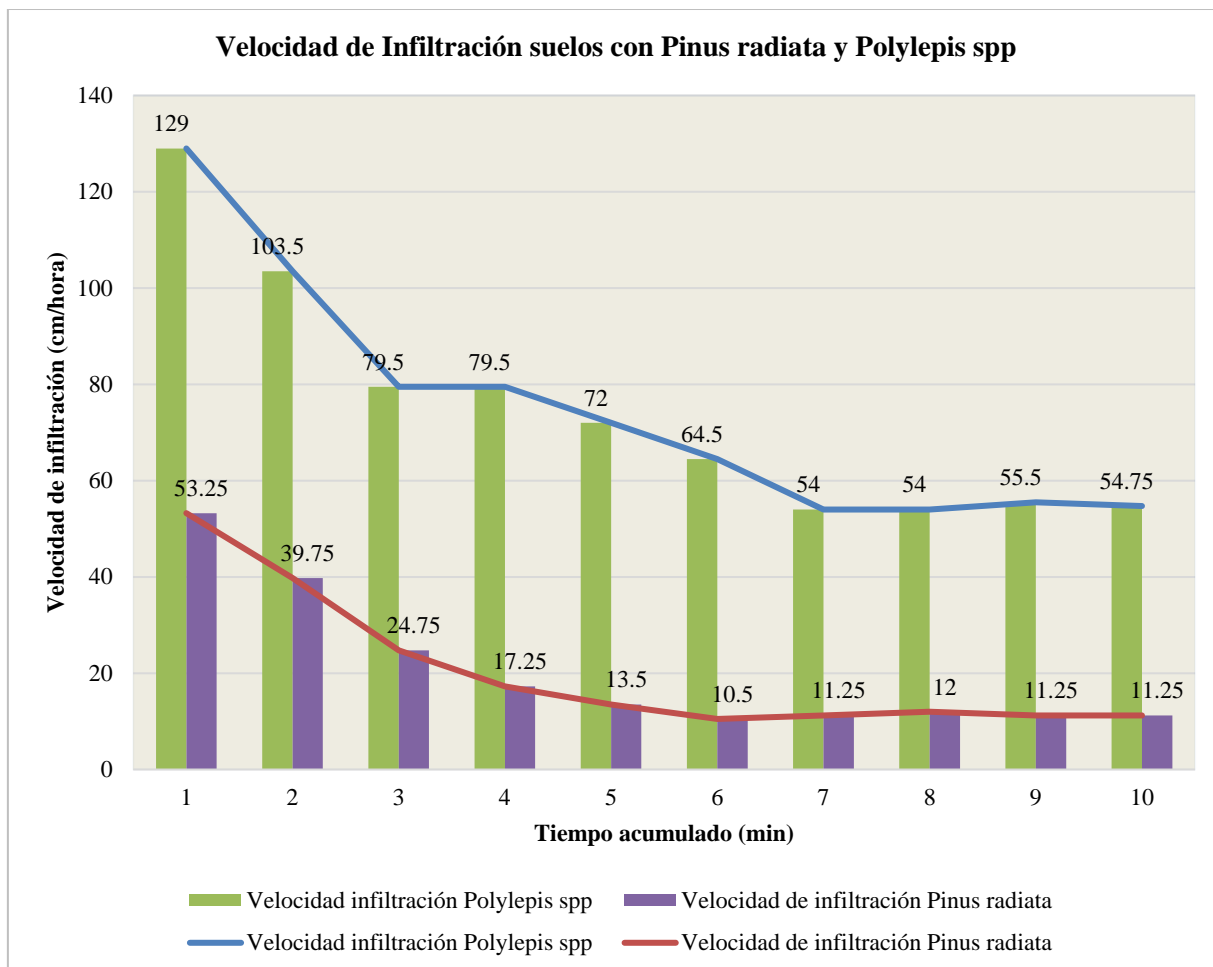
*Velocidad de infiltración en suelos con cobertura forestal de **Pinus radiata** y **Polylepis spp***

Tiempo acumulado (min)	velocidad de infiltración (cm/hora) <i>Pinus radiata</i>	velocidad de infiltración (cm/hora) <i>Polylepis spp</i>
0.00	0	0
1.00	53.25	129
2.00	39.75	103.5
3.00	24.75	79.5
4.00	17.25	79.5
5.00	13.5	72
6.00	10.5	64.5
7.00	11.25	54
8.00	12	54
9.00	11.25	55.5
10.00	11.25	54.75
Prom.	20.48	74.63

Nota. Elaboración propia

Figura 10

Comparación de la velocidad de infiltración en suelos con *Pinus radiata* y suelos con *Polylepis spp*



Nota. Se observa el comportamiento de la velocidad de infiltración que va descendiendo hasta llegar a una infiltración básica.

La velocidad de infiltración promedio (Tabla 10) es marcadamente diferente entre ambos suelos *Polylepis spp* (74.63 cm/h) y el *Pinus radiata* (20.48 cm/h); la velocidad de infiltración en el suelo con *Polylepis spp* es tres veces mayor al suelo con *Pinus radiata*.

Tabla 11

Prueba estadística T- Student para dos muestras

<i>T-Student</i>	Velocidad suelos con <i>Pinus radiata</i>	Velocidad suelos con <i>Polylepis spp</i>
Media	18.6136364	67.8409091
Observaciones	11	11
P(T<=t) dos colas	0.00020091	
Valor crítico de t (dos colas)	2.08596345	

Nota. Elaboración propia

Asimismo, la prueba T-student para dos muestras, acepta la hipótesis alterna con una Probabilidad (P) menor que 0.05, confirmando que existe diferencia significativa entre las medias de los dos grupos.

5.1.2. Determinar y comparar la lámina acumulada del suelo con *Pinus radiata* y *Polylepis spp*

5.1.2.1. Determinar la lámina acumulada del suelo con *Pinus radiata* en los meses de julio y agosto.

Se observa a continuación los datos de lámina de infiltración en el mes de julio y agosto, estos datos de acuerdo a la regresión múltiple guardan correlación entre ellos, por lo cual el promedio de la lámina infiltrada de los dos meses se observa a continuación:

Tabla 12

*Lamina acumulada en suelos con *Pinus radiata**

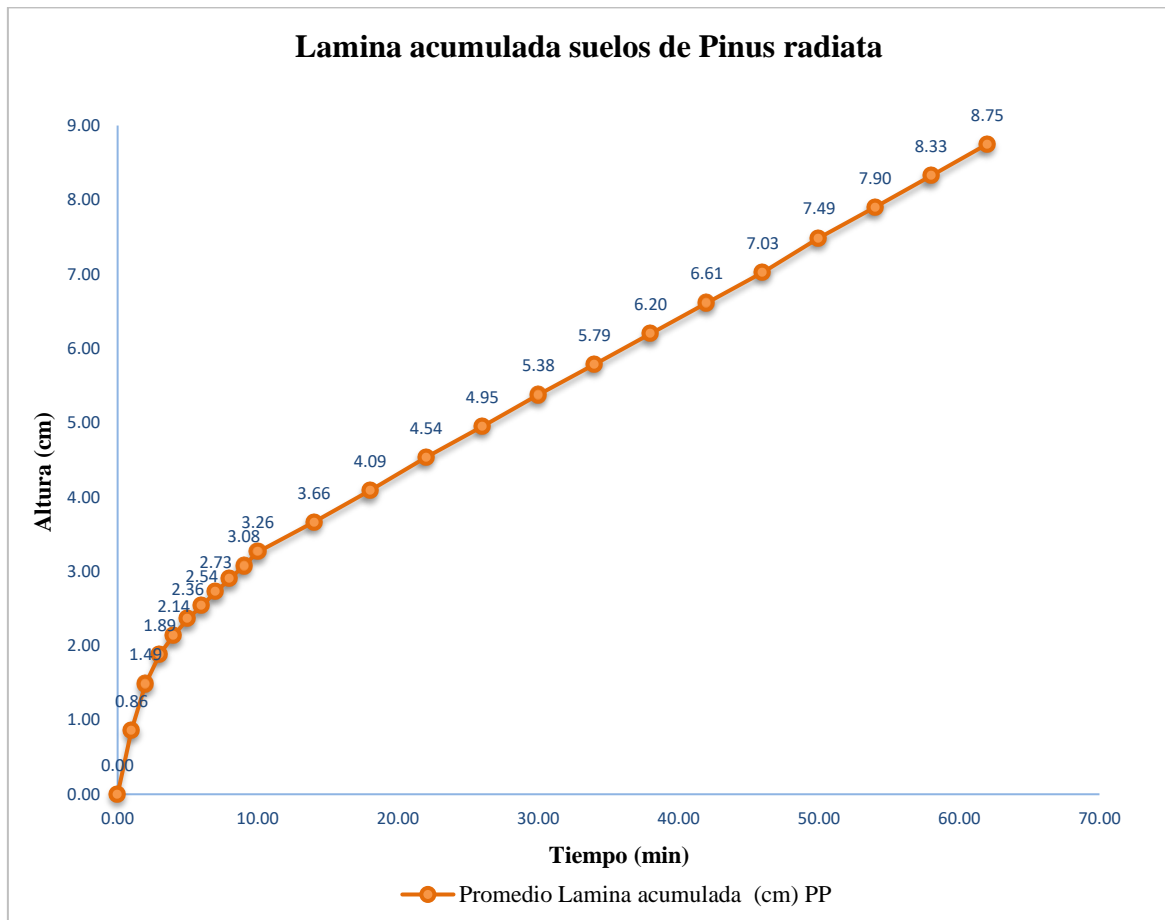
Tiempo acumulado (min)	Lamina acumulada (cm)		Promedio Lamina acumulada (cm)
	PM1	PM2	
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.75	1.03	0.89
2.00	1.35	1.75	1.55
3.00	1.68	2.25	1.96

Tiempo acumulado (min)	Lamina acumulada (cm)		Promedio Lamina acumulada (cm)
	PM1	PM2	
4.00	1.98	2.53	2.25
5.00	2.20	2.75	2.48
6.00	2.38	2.93	2.65
7.00	2.58	3.10	2.84
8.00	2.80	3.28	3.04
9.00	3.03	3.43	3.23
10.00	3.18	3.65	3.41
14.00	3.55	4.05	3.80
18.00	3.90	4.53	4.21
22.00	4.25	5.03	4.64
26.00	4.65	5.43	5.04
30.00	5.03	5.88	5.45
34.00	5.43	6.33	5.88
38.00	5.85	6.70	6.28
42.00	6.20	7.13	6.66
46.00	6.58	7.58	7.08
50.00	6.98	8.05	7.51
54.00	7.33	8.53	7.93
58.00	7.75	8.93	8.34
62.00	8.13	9.38	8.75

Nota. Las abreviaturas para P indica parcelas y M el mes de evaluación, por tanto, PM1: parcelas de *Pinus radiata* del mes de julio y PM2 parcelas de *Pinus radiata* del mes de agosto

Figura 11

*Promedio Lamina acumulada en suelos con **Pinus radiata***



Nota. La abreviatura PP hace referencia a *Pinus radiata*, la curva naranja representa el comportamiento de la lámina infiltrada que va ascendiendo en función al tiempo.

Los suelos con *Pinus radiata*, presentaron una lámina infiltrada acumulada baja a lo largo del tiempo que duro la evaluación, registrando una lámina acumulada de 8.75 cm en el minuto 62.

5.1.2.2. Determinar la lámina acumulada en suelos con *Polylepis spp* en los meses de julio y agosto.

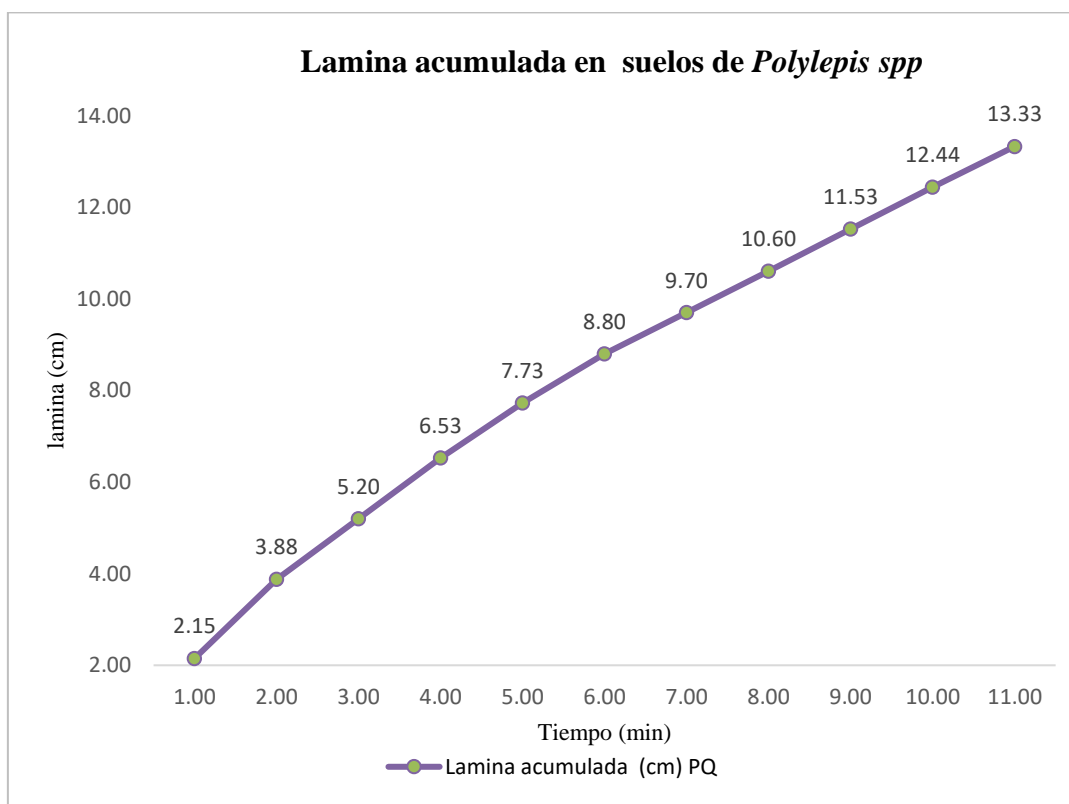
Se presentaron los datos de lámina infiltración del mes de julio y agosto, estos datos de acuerdo a la regresión múltiple realizada para el objetivo específico 1 guardan correlación entre los datos del mes de julio y agosto, por lo cual el promedio de la lámina infiltrada de los dos meses se observa a continuación:

Tabla 13

*Lamina acumulada de suelos con *Polylepis spp**

Tiempo acumulado (min)	Lamina acumulada (cm)		Lamina acumulada (cm)
	PM1	PM2	
0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	2.13	2.18	2.15
2.00	3.95	3.80	3.88
3.00	5.48	4.93	5.20
4.00	6.78	6.28	6.53
5.00	8.13	7.33	7.73
6.00	9.33	8.28	8.80
7.00	10.30	9.10	9.70
8.00	11.20	10.00	10.60
9.00	12.20	10.85	11.53
10.00	13.15	11.73	12.44
11.00	13.98	12.68	13.33

Nota. Las abreviaturas para P indica parcelas y M el mes de evaluación, por tanto, PM1: parcelas de *Polylepis spp* del mes de julio y PM2 parcelas de *Pinus radiata* del mes de agosto

Figura 12*Lamina acumulada suelo con **Polylepis spp***

Nota. La abreviatura PQ hace referencia a *Polylepis spp*, la curva morada hace referencia a la lámina de infiltración que va ascendiendo en función del tiempo.

Los suelos con *Polylepis spp*, presentaron una lámina infiltrada acumulada de 13.33 cm en el minuto 11 que demora en infiltrarse el agua.

5.1.2.3. Comparar la lámina acumulada entre suelos con *Pinus radiata* y *Polylepis spp*.

Tabla 14*Lamina acumulada en suelos con **Pinus radiata** y suelos con **Polylepis spp***

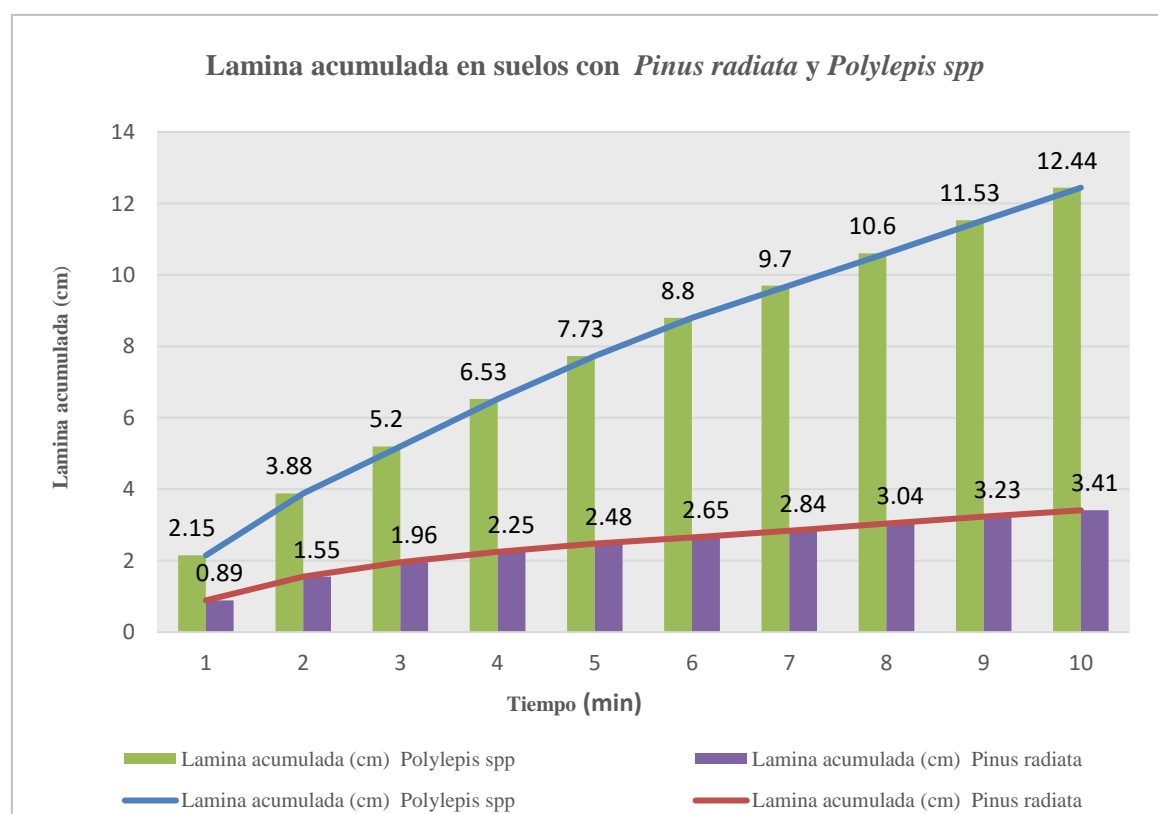
Tiempo acumulado (min)	Lamina acumulada (cm)	
	<i>Polylepis spp</i>	<i>Pinus radiata</i>
0	0	0
1.00	2.15	0.89
2.00	3.88	1.55
3.00	5.20	1.96

Tiempo acumulado (min)	Lamina acumulada (cm)	
	<i>Polylepis spp</i>	<i>Pinus radiata</i>
4.00	6.53	2.25
5.00	7.73	2.48
6.00	8.80	2.65
7.00	9.70	2.84
8.00	10.60	3.04
9.00	11.53	3.23
10.00	12.44	3.41

Nota. Elaboración propia

Figura 13

Comparación de la lamina acumulada en suelos con *Pinus radiata* y *Polylepis spp*



Nota. Elaboración propia

La lamina acumulada hasta el minuto 10 es marcadamente diferente entre *Polylepis spp* (12.44 cm) y el *Pinus radiata* (3.41 cm); la diferencia de promedios nos indica que la

cantidad de agua que puede retener el suelo con *Polylepis spp* es tres veces mayor al suelo con *Pinus radiata*.

Tabla 15

Prueba estadística T- Student para dos muestras

<i>T-Student</i>	Lamina acumulada suelos <i>Polylepis spp</i>	Lamina acumulada suelos <i>Pinus radiata</i>
Media	7.13977273	2.1125
Varianza	15.9596506	0.9954375
Observaciones	11	11
P(T<=t) dos colas	0.00025276	
Valor crítico de t (dos colas)	2.22813885	

Nota. Elaboración propia

la prueba T-student para dos muestras, acepta la hipótesis alterna con una Probabilidad (P) menor que 0.05, confirmando que existe diferencia significativa entre las medias de los dos grupos.

5.1.3. Determinar los valores de las propiedades físico-químicos de los suelos con *Pinus radiata* y *Polylepis spp*.

Se realizó el análisis fisicoquímico de los suelos con cobertura forestal ubicados en la unidad hidrográfica Rontoccocha. Para lo cual se tomaron muestras representativas de cada suelo con el fin de obtener datos descriptivos sobre el lugar de estudio, posteriormente las muestras fueron transportadas hasta el laboratorio de suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería ambiental de la Universidad Tecnológica de los Andes. Los parámetros físico-químicos evaluados fueron la humedad, densidad aparente, materia orgánica, pH y textura del suelo. Las muestras se recolectaron de puntos cercanos a las parcelas, tomando 4 submuestras en total por cobertura forestal y finalmente obteniendo una muestra representativa de cada tipo de cobertura forestal la cual fue sellada y codificada para su análisis en el laboratorio.

5.1.3.1 Porcentaje de Humedad inicial del suelo.

La humedad se determinó usando el método gravimétrico, y las lecturas en gramos se convirtieron a porcentajes. El procedimiento inicia con la eliminación de humedad existente en los vasos de ensayo con la estufa de laboratorio, para luego agregar en los 3 vasos de ensayo 20 gr de suelo y llevarlos a la estufa por 24 horas a 106 °C y finalmente pesarlos en la balanza analítica y obtener mediante formula los resultados de humedad de los suelos evaluados.

Tabla 16

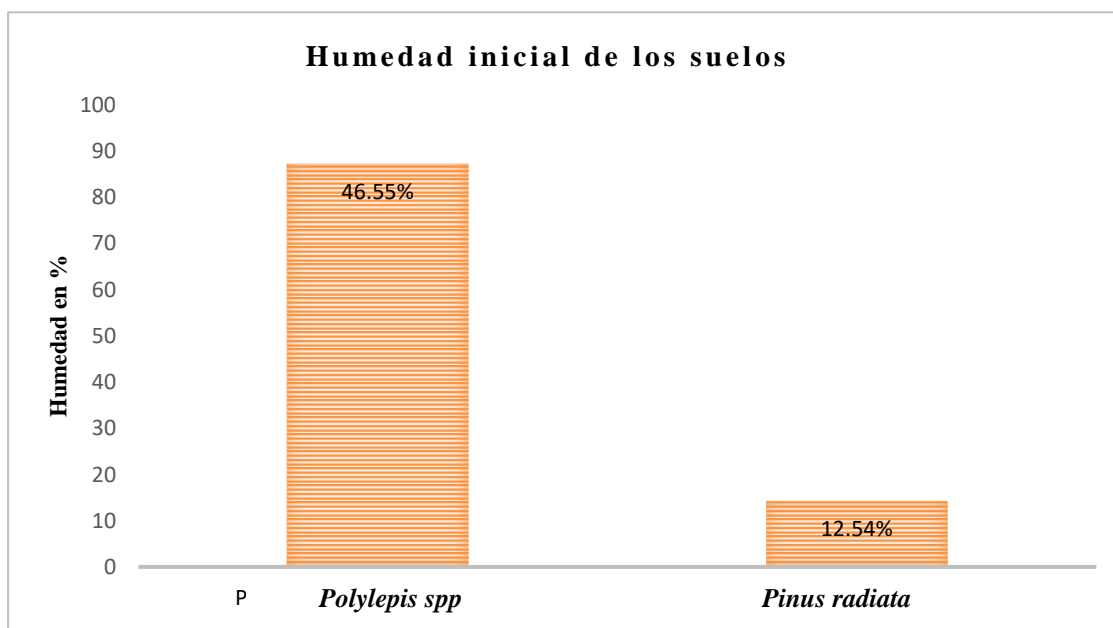
*Resultados de la humedad en suelo con **Pinus radiata** y **Polylepis spp***

Suelo	Humedad en (%)
Suelos con <i>Polylepis spp</i>	46.55
Suelos con <i>Pinus radiata</i>	12.54

Nota. Elaboración propia

Figura 14

Comparación de los resultados de la humedad del suelo por método gravimétrico



Nota. Elaboración propia

La humedad de los suelos con *Polylepis spp* como se muestra en la tabla 16 es 4 veces más que el contenido de humedad del suelo con *Pinus radiata*, mostrando una diferencia marcada entre ambos valores obtenidos.

Reynel y Felipe-Morales (1987) señalan que la humedad del suelo se conserva más tiempo debido a una mayor captación y retención de agua por parte de los árboles o arbustos. También, por el efecto protector que dicha vegetación ejerce contra los vientos desecantes y contra la radiación solar intensa. Como consecuencia de ello se favorece la infiltración de agua en el suelo y se retienen los sedimentos arrastrados por la escorrentía, disminuyéndose así los riesgos de erosión.

5.1.3.2 Textura del suelo.

El método de Bouyoucos es una técnica utilizada para determinar la textura del suelo mediante la sedimentación en un frasco de vidrio. Esta prueba es ampliamente utilizada por su precisión y confiabilidad. El método se basa en la ley de Stokes, que describe cómo las partículas de diferentes tamaños se sedimentan a diferentes velocidades cuando se encuentran en suspensión en un líquido (como el agua).

Tabla 17

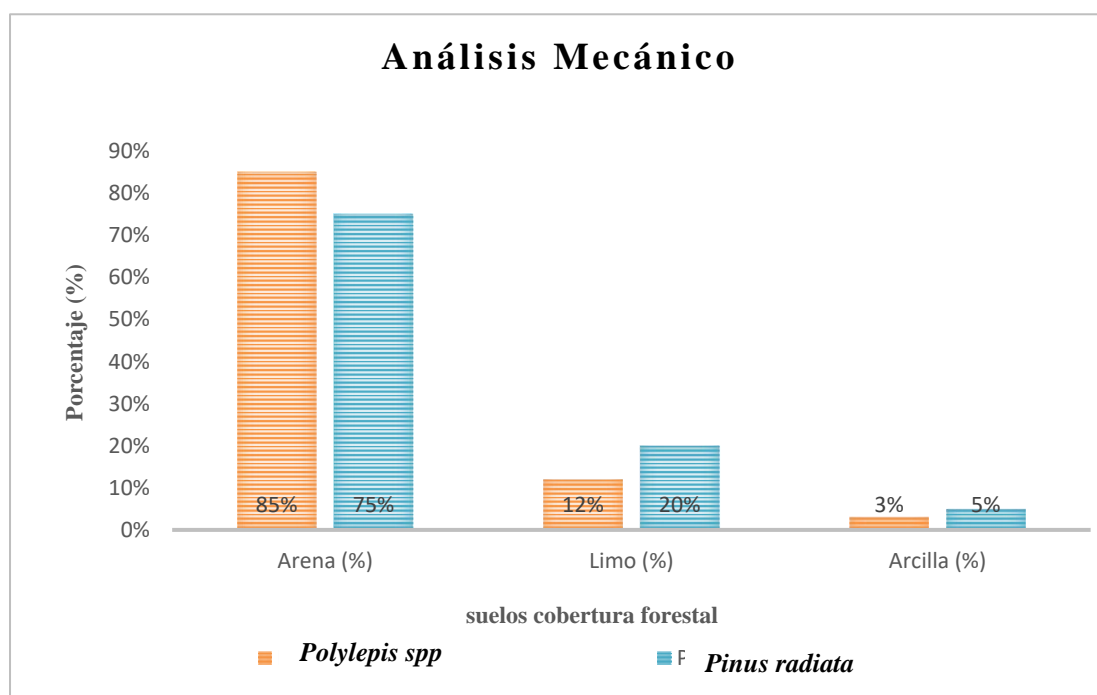
Resultados del análisis mecánico en suelos con Polylepis spp y Pinus radiata

Suelo	Análisis Mecánico			Clase Textural
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
Suelo con <i>Polylepis spp</i>	85%	12%	3%	Arena Franca
Suelo con <i>Pinus radiata</i>	75%	20%	5%	Franco arenosa

Nota. Elaboración propia

Figura 15

Comparación de resultados del análisis mecánico del suelo por método de Bouyoucos



Nota. Elaboración propia basada en resultados de laboratorio

En la Tabla 17 se observa que los suelos con *Polylepis spp* presentan una textura arena franca con 3 % de contenido de arcilla. Se trata de los suelos más adecuados en términos generales para el desarrollo de cobertura vegetal con fines de propagación y desarrollo agrícola. Esta clase textural presenta una buena infiltración.

De la misma forma los suelos con *Pinus radiata* presentan una textura de franco arenoso, con un valor similar a los suelos de *Polylepis spp* con un 5% de arcilla.

5.1.3.3 pH del suelo

El pH del suelo es crucial porque regula la movilidad de iones, la precipitación y disolución de minerales, las reacciones redox, el intercambio iónico, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutriente (Vásquez, 2005).

Tabla 18

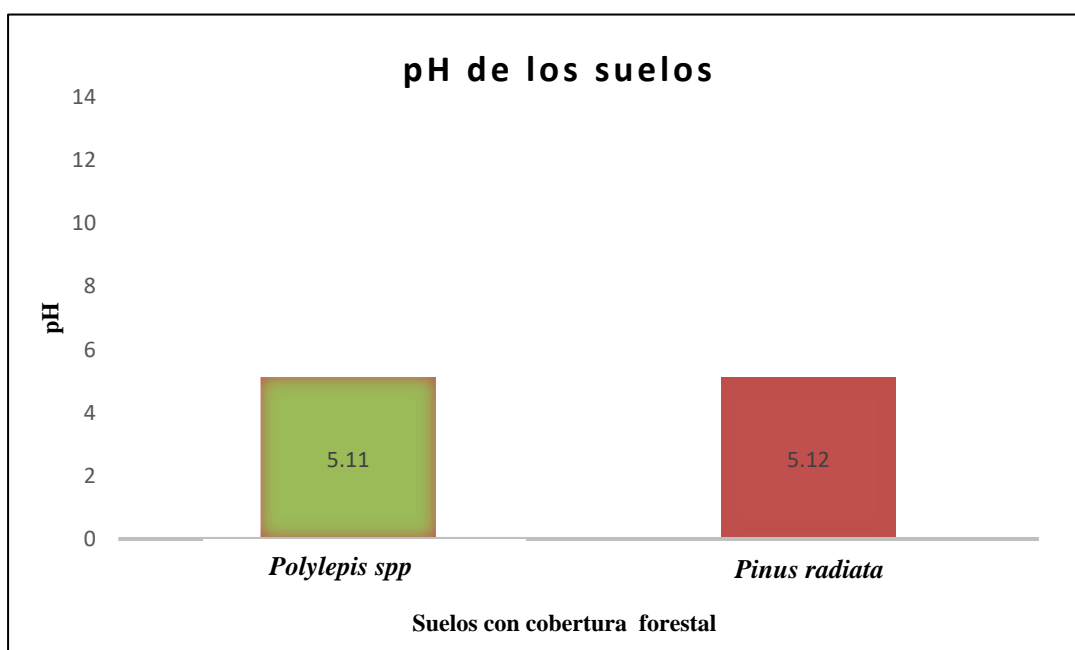
*Resultados del potencial de hidrogeniones en suelos con **Pinus radiata** y **Polylepis spp***

Suelo	pH (1:1)	Rango	Calificación
Suelo con <i>Polylepis spp</i>	5.11	5.1-5.5	Fuertemente acido
Suelo con <i>Pinus radiata</i>	5.12	5.1-5.5	Fuertemente acido

Nota. Elaboración propia basada en resultados de laboratorio

Figura 16

Comparación resultados de pH del suelo



Nota. Elaboración propia basada en resultados de laboratorio

La Tabla 18 muestra el resultado del análisis del suelo en cuanto al pH, para suelos con *Polylepis spp* el pH es de 5.11 y para suelos con *Pinus radiata* es de 5.12 siendo por consiguiente suelos clasificados con un pH fuertemente ácidos.

5.1.3.4 Materia orgánica del suelo.

La materia orgánica en el suelo puede variar rápidamente debido a transformaciones,

erosión o descomposición. Los altos niveles de materia orgánica contribuyen a una mejor estructura y estabilidad del suelo, lo que aumenta la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua. El procedimiento inicia con la eliminación de la humedad existente en los crisoles con ayuda de la estufa, para luego agregar 5 gr de suelo en los crisoles e ingresarlos en la mufla durante 5 horas a 550°C, y finalmente pesarlos en la balanza analítica y obtener mediante formula los resultados de materia orgánica para los suelos evaluados.

Tabla 19

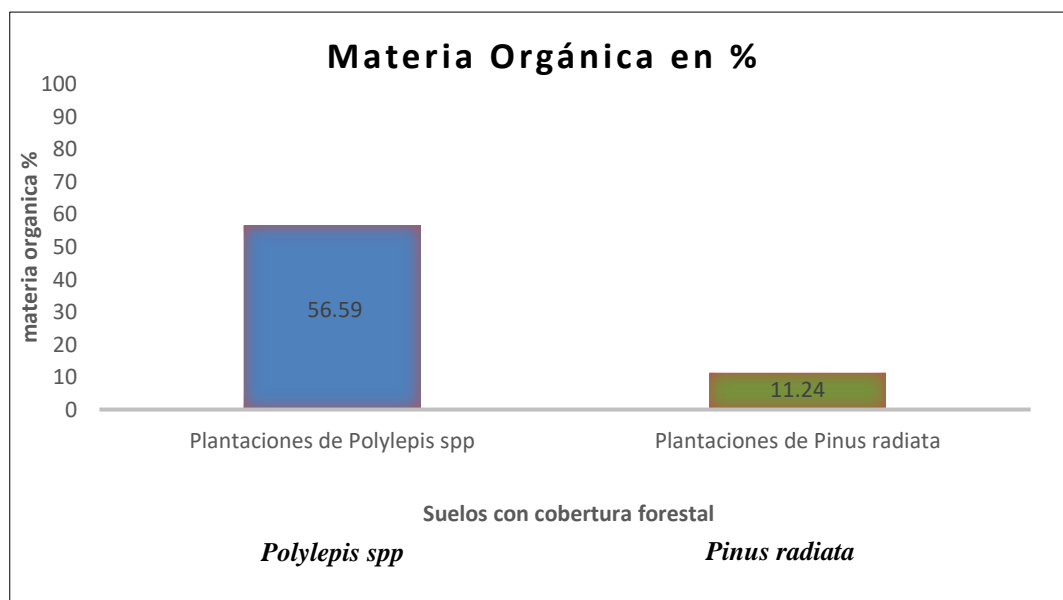
*Resultados de materia orgánica en suelos con **Pinus radiata** y **Polylepis spp***

Suelo	Materia Orgánica en %	Rango	Calificación
Suelo con <i>Polylepis spp</i>	56.59	>5.0	Muy alto
Suelo con <i>Pinus radiata</i>	11.24	>5.0	Muy alto

Nota. Elaboración propia basado en resultados de Laboratorio.

Figura 17

Comparación resultados de materia orgánica de los suelos evaluados.



Nota. Elaboración propia

En la Tabla 19 se puede observar que la materia orgánica presente en ambos suelos es muy alta, también se observa que existen diferencias marcada entre sus valores. Los suelos con *Polylepis spp* presenta un contenido muy alto 56,59 % y de *Pinus radiata* 11,24%. El valor muy alto de materia orgánica que presentan los suelos con *Polylepis spp* se debe a la acumulación del material orgánico; la materia orgánica se acumula tanto por la cantidad de aporte (presencia de cobertura vegetal), por la lenta o muy lenta velocidad de descomposición. El valor alto de materia orgánica de ambos suelos en las áreas evaluadas, es debido también a los aportes orgánicos de los

excrementos de los animales que pasan de forma regular y al hecho de que mantiene una cubierta vegetal espontáneo de forma constante a lo largo de todo el año.

5.1.3.5 Densidad aparente.

Gutiérrez (2010) menciona que los suelos de textura gruesa, poco estructurados y con bajos contenidos de materia orgánica tienen la densidad aparente alta. Donoso (1992) señala que los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces.

Tabla 20

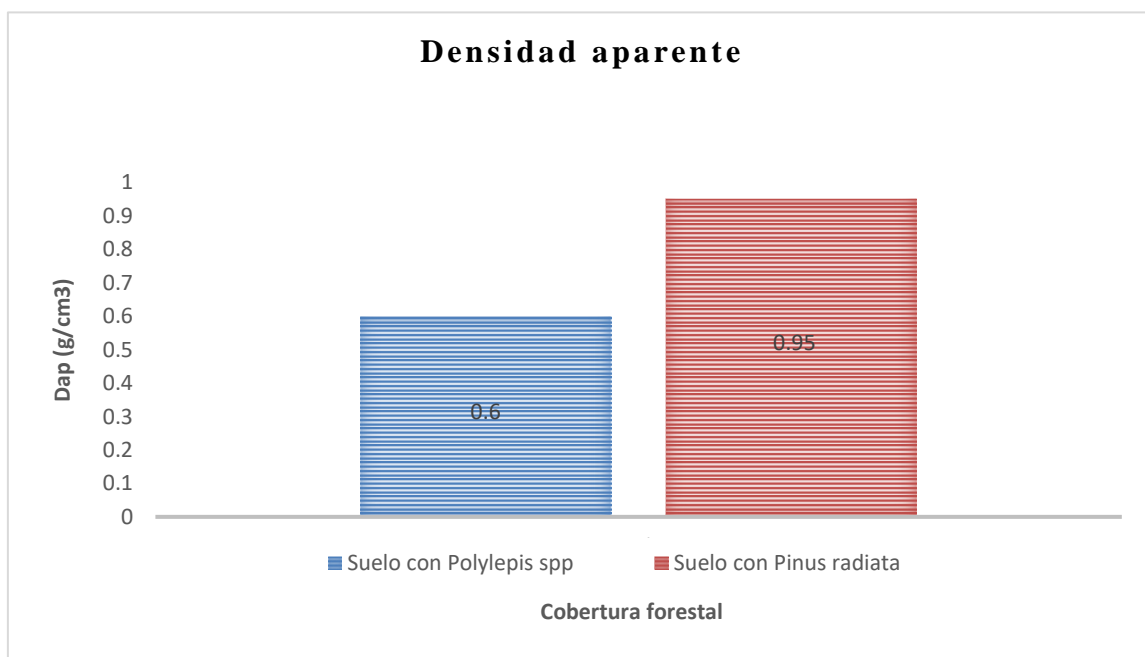
Resultados de la densidad aparente en suelos con Pinus radiata y Polylepis spp

Suelo	Profundidad(cm)	Dap(gr/cm3)
Suelo con Polylepis spp	20	0.60
Suelo con Pinus radiata	20	0.95

Nota. Elaboración propia basado en resultados de Laboratorio

Figura 18

Comparación resultados de densidad aparente de los suelos evaluados.



Nota. Elaboración propia basado en resultados de Laboratorio

En la Tabla 20 se aprecian los resultados en cuanto a densidad aparente del suelo, para suelos con *Polylepis spp* la densidad aparente fue de 0.60 gr/cm³ y para suelos con *Pinus radiata* fue de 0.95 gr/cm³. Por consiguiente, según los resultados el suelo de *Polylepis spp* es menos denso y probablemente tiene mayor porosidad y mayor capacidad de retención de agua. El suelo con *Pinus radiata* es más denso, lo que puede indicar mayor compactación o mayor presencia de partículas gruesas, esto podría afectar su capacidad de retener agua, la aireación y la facilidad con la que las raíces crecen.

Tabla 21*Resultados de las características fisicoquímicas del suelo*

Muestras	Humedad (%)	Método	Materia orgánica (%)	Método	Densidad aparente (gr/cm ³)	Método	Potencial de Hidrógeno (pH)	Método	Clase textural	Análisis mecánico			Método
										Arena	Limo	Arcilla	
Suelo con cobertura forestal de <i>Polylepis spp</i>	46.55	Gravimétrica	56.59	Calcinación	0.60	Cilindro	5.12	Electrodo	Arena Franca	85%	12%	3%	Bouyocus
Suelo con cobertura forestal de <i>Pinus radiata</i>	12.54	Gravimétrica	11.24	Calcinación	0.95	Cilindro	5.11	Electrodo	Franco arenosa	75%	20%	5%	Bouyocus

Nota. Elaboración propia basado en resultados de Laboratorio

5.1.4. Evaluación de la Capacidad de la infiltración en suelos con cobertura forestal mediante el modelo Horton

La infiltración es un proceso muy complejo que puede describirse mediante ecuaciones matemáticas solamente de forma aproximada

En la presente investigación se utilizó la ecuación matemática de Horton para obtener la capacidad de infiltración

$$\text{Ecuación de Horton: } f = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (4)$$

Donde:

f : Capacidad de infiltración

f_c : Capacidad de infiltración final

k : Coeficiente decreciente

f_0 : Capacidad de infiltración inicial

t : Tiempo transcurrido

5.1.4.1. Capacidad de infiltración en suelos con *Pinus radiata*.

Tabla 22

Datos de infiltración para determinar la capacidad de infiltración en suelos con cobertura forestal de Pinus radiata

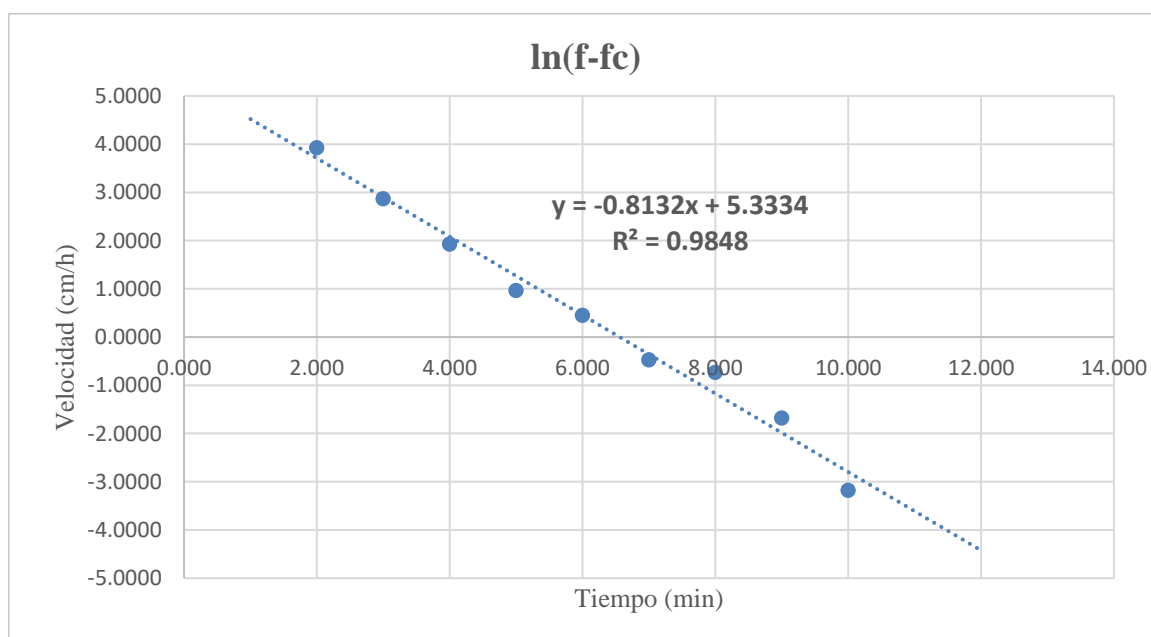
Tiempo (min)	Prom. Lamina Infiltrada (cm)	Prom. velocidad de infiltración (cm/hora)	Tiempo acumulado (Hora)	Prom. Lamina Infiltrada acum(cm)	f (cm/hr)	$\ln(f - f_c)$
0	0	0	0.000			
1	0.8625	51.75	0.017	0.8625	51.75	3.9244
2	0.625	37.5	0.033	1.4875	18.75	2.8693
3	0.4	24	0.050	1.8875	8.00	1.9279
4	0.25	15	0.067	2.1375	3.75	0.9651
5	0.225	13.5	0.083	2.3625	2.70	0.4543

Tiempo (min)	Prom. Lamina Infiltrada (cm)	Prom. velocidad de infiltración (cm/hora)	Tiempo acumulado (Hora)	Prom. Lamina Infiltrada acum(cm)	f (cm/hr)	$\ln(f - f_c)$
6	0.175	10.5	0.100	2.5375	1.75	-0.4700
7	0.1875	11.25	0.117	2.725	1.61	-0.7295
8	0.175	10.5	0.133	2.9	1.31	-1.6740
9	0.175	10.5	0.150	3.075	1.17	-3.1781
10	0.1875	11.25	0.167	3.2625	1.13	

Nota. Elaboración propia

Figura 19

Logaritmo natural para determinar el valor de la constante "K" para suelos con cobertura forestal de *Pinus radia*



Nota. Elaboración propia

En la figura observamos los valores obtenidos al aplicar logaritmo natural a f al agregar la línea de tendencia potencial nos permitirá obtener el coeficiente de decrecimiento (k) a partir de la ecuación lineal con una correlación de 0.98 que es alta, por lo tanto, la ecuación

obtenida es aceptable y se tomaran los valores de la ecuación para obtener las constantes para la ecuación de Horton.

Donde:

$$f_c=1.13 \quad \ln(f_p-f_c) = 5.3334 \quad k=0.8132$$

$$f_0=208.27 \quad f_c-f_0=207.141058$$

$$\text{Ecuación obtenida} \quad f = 1.13 + (208.27 - 1.13)e^{-0.8132t} \quad (5)$$

5.1.4.2. Capacidad de infiltración en suelos con cobertura forestal de *Polylepis*

spp.

En la presente investigación se utilizó la ecuación matemática de Horton para obtener la capacidad de infiltración.

Tabla 23

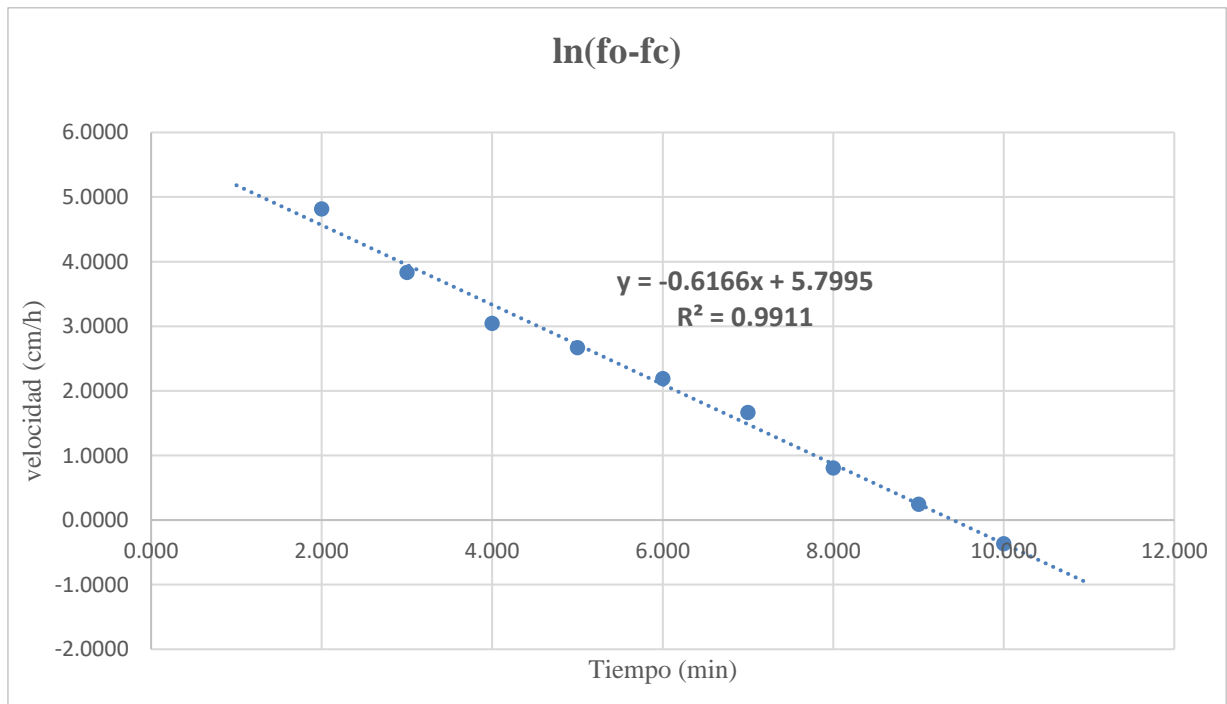
*Datos de infiltración para determinar la capacidad de infiltración en suelos con cobertura forestal de *Polylepis Spp**

Tiempo (min)	Prom. Lamina Infiltrada parcial (cm)	Prom. velocidad infiltración instantánea (cm/hora)	Tiempo acumulado (Hora)	Prom. Lamina Infiltrada parcial(cm)	Prom. Lamina Infiltrada acum(cm)	f=tasa de infiltración (cm/hr)	ln(f-fc)
0	0	0	0.000				
1	2.15	129	0.017	2.150	2.15	129.00	4.8164
2	1.725	103.5	0.033	1.725	3.875	51.75	3.8346
3	1.325	79.5	0.050	1.325	5.2	26.50	3.0457
4	1.325	79.5	0.067	1.325	6.525	19.88	2.6672
5	1.2	72	0.083	1.200	7.725	14.40	2.1889
6	1.075	64.5	0.100	1.075	8.8	10.75	1.6630
7	0.9	54	0.117	0.900	9.7	7.71	0.8062
8	0.9	54	0.133	0.900	10.6	6.75	0.2429
9	0.925	55.5	0.150	0.925	11.525	6.17	-0.3687
10	0.9125	54.75	0.167	0.913	12.4375	5.48	

Nota. Elaboración propia

Figura 20

Logaritmo natural para determinar el valor de la constante "K" para *Polylepis spp*



Nota. Elaboración propia

En la figura observamos los valores obtenidos al aplicar logaritmo natural a f al agregar la línea de tendencia potencial nos permitirá obtener el coeficiente de decrecimiento (k) a partir de la ecuación lineal con una correlación de 0.99 que es alta, por lo tanto, la ecuación obtenida es aceptable y se tomarán los valores de la ecuación para obtener las constantes para la ecuación de Horton.

Donde:

$$f_c = 5.48 \quad \ln(f_p - f_c) = 5.7995 \quad k = 0.6166$$

$$f_0 = 335.61 \quad f_c - f_0 = 330.134451$$

Ecuación obtenida $f = 5.48 + (335.61 - 5.48)e^{-0.6166t}$ (6)

5.1.4.3. Capacidad de Infiltración en suelos con cobertura forestal de *Pinus radiata* y *Polylepis spp.*

Tabla 24

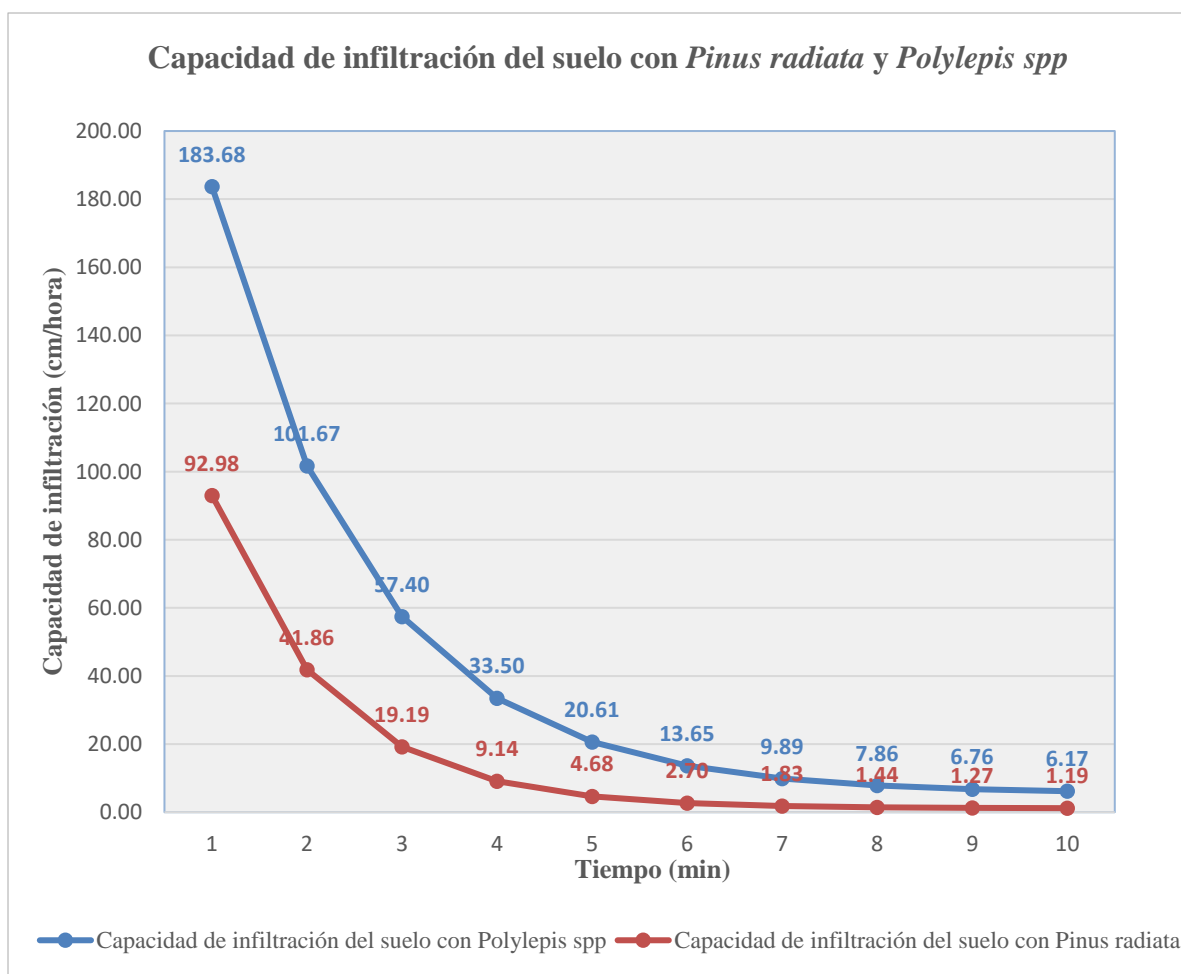
*Capacidad de Infiltración del Suelo con **Pinus radiata** y **Polylepis spp***

Tiempo (min)	Capacidad de infiltración en <i>Pinus radiata</i> (cm/h)	Capacidad de infiltración en <i>Polylepis spp</i> (cm/h)
0		
1	92.98	183.68
2	41.86	101.67
3	19.19	57.40
4	9.14	33.50
5	4.68	20.61
6	2.70	13.65
7	1.83	9.89
8	1.44	7.86
9	1.27	6.76
10	1.19	6.17
Prom.	17.63	44.12

Nota. Elaboración propia

Figura 21

Capacidad de infiltración para suelos con *Pinus radiata* y *Polylepis spp*



Nota. Elaboración propia

Se obtuvieron los valores de capacidad de infiltración que se observan en la gráfica mediante las ecuaciones (5) y (6) hasta el minuto 10 para cada tipo de cobertura forestal. Como se observa en la tabla 24 la capacidad de infiltración promedio para suelos con *Pinus radiata* fue de 17.63 cm/h y para suelos con *Polylepis spp* fue de 44.12 cm/h.

5.2 Discusión de resultados

A partir de los resultados obtenidos en la investigación, la infiltración en los suelos de *Polylepis spp* es alta con una infiltración promedio de 44.12 cm/h podemos establecer una relación con los resultados obtenidos en la investigación de Gonzales(2016) que muestra que los bosques plantados con *Polylepis spp* en Huaraz, presentan una alta tasa de infiltración, siendo el bosque plantado con *Polylepis* de 11 años con manejo el de mayor tasa de infiltración con un promedio de 48.5 cm/h, muy cercana al valor obtenido en la presente investigación, también es importante mencionar la investigación realizada por Dueñas en la cual obtuvo la mayor infiltración en suelos que corresponden al bosque de montaña con un valor de 46.55 cm/h, por otro lado Delgado, Gaspari y Senisterra obtuvieron en su investigación una infiltración de 27 cm/h en suelos con Cobertura forestal de *Pinus radiata* se observa en este último una ligera diferencia con los resultados de infiltración obtenidos para *Pinus radiata* en la presente investigación que fue de 17.63 cm/h.

por lo tanto, se observa que los suelos con cobertura forestal nativa presentan una mayor tasa de infiltración, en el caso de suelos forestales intervenidos los valores son menores en comparación a los primeros.

Es importante mencionar que las poblaciones de estudio son dos especies forestales diferentes, siendo la primera una especie exótica y la segunda una especie nativa con una infiltración de 17.63 y 44.12 cm/h respectivamente, existiendo una diferencia marcado entre ambos suelos forestales, en el caso de la investigación de Gutiérrez, Hermosa y Bazán se estudió la infiltración en tres sistemas de uso de suelo Bosque intervenido, Pastizal parcialmente compactado por ganadería y Cultivo de papa en andenes agrícolas con una infiltración de 36.60 cm/h , 34.47 cm/h y 31.75 cm/h respectivamente donde las diferencias son mínimas.

Por el contrario, en el estudio realizado por Garate, et al. los resultados obtenidos de la capacidad de infiltración promedio en los bosques primarios intervenidos fue de 116.2 ± 44.8 cm/hora y en pastizal fue de 7.3 ± 6.0 cm/hora, las diferencias son significativamente diferentes entre ambas coberturas vegetales.

Se hace mención que en la presente investigación y en las otras investigaciones mencionadas, las propiedades de los suelos influyen significativamente en el proceso de infiltración, en el presente estudio los parámetros del suelo en las que se observan diferencias marcado son materia orgánica, densidad aparente y humedad estas están estrechamente ligadas a la vegetación y actividad microbiana. De acuerdo a la investigación de Suárez R., Arcos, Moreano, Ecalada, & Alvarez (2013) se estudió la capacidad de infiltración del agua en el suelo mostrando una tasa de infiltración extremadamente alta en las zonas arbustivas y en el bosque de *Polylepis*, pero decrecieron marcadamente en los pajonales, los bosques de pino y los senderos de paso de ganado. Se afirma entonces que las características de la vegetación tienen efectos importantes en la capacidad de infiltración del suelo (Wang et al., 2018). De acuerdo con estudios previos, atribuimos este patrón al alto contenido de materia orgánica y a la excelente estructura que caracteriza a los Andosoles.

Más del 90% de los autores referidos concluyen que existen prácticas comunes que actualmente están afectando los ecosistemas, como la forestación con especies exóticas, la deforestación, quema indiscriminada y el sobrepastoreo.

5.3 Prueba de hipótesis

5.3.1 Prueba de hipótesis para objetivo general

5.3.1.1 Hipótesis estadística.

Ho: $\mu_{pino} = \mu_{queuña}$ (capacidad de infiltración suelo con *Polylepis spp* es igual a la capacidad de infiltración suelo con *Pinus radiata*)

H₁: $\mu_{pino} \neq \mu_{queuña}$ (capacidad de infiltración suelo con *Polylepis spp* es diferente a la capacidad de infiltración suelo con *Pinus radiata*)

5.3.1.2 Nivel de Significancia.

Nivel de significancia: 0.05

5.3.1.3 Estadístico.

Tabla 25

Capacidad de infiltración de suelos con Polylepis Spp y Pinus radiata y promedio.

Tiempo	Suelo con <i>Polylepis spp</i>	Suelo con <i>Pinus radiata</i>
0		
1	183.6764363	92.98349785
2	101.6662596	41.86122076
3	57.39908849	19.19172202
4	33.50470707	9.139232135
5	20.60708002	4.681588234
6	13.64524324	2.704904906
7	9.887406919	1.828370785
8	7.859014952	1.439683303
9	6.764136511	1.267324972
10	6.17314679	1.190894945
Prom.	44.11825199	17.62884399

Nota. Elaboración propia

5.3.1.4 Hipótesis General.

Hipótesis investigación: La capacidad de infiltración entre los suelos con *Polylepis spp* y *Pinus radiata* son significativamente diferentes.

H₀: $\mu_{pino} = \mu_{queuña}$ (capacidad de infiltración suelo con *Polylepis spp* es igual a la capacidad de infiltración suelo con *Pinus radiata*)

H₁: $\mu_{pino} \neq \mu_{queuña}$ (capacidad de infiltración suelo con *Polylepis spp* es diferente a la capacidad de infiltración suelo con *Pinus radiata*)

Tabla 26*Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes*

	Estadístico	P
Prueba de U de Mann-Whitney	25.0	0.006

Nota. Elaboración propia

De la tabla se aprecia que el valor “p” es 0.006 menor a 0.05 nivel de significancia entonces se rechaza la hipótesis nula (H₀); por lo tanto, podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que La capacidad de infiltración entre los suelos con *Polylepis spp* y *Pinus radiata* son significativamente diferentes

VI. Conclusiones

- 1) Los suelos con *Polylepis spp* presentaron una capacidad de infiltración promedio de 44.12 cm/hora y los suelos con *Pinus radiata* un promedio de 17.63 cm/hora, se afirma la hipótesis general con un nivel de confianza del 95% que la capacidad de infiltración entre los suelos con *Polylepis spp* y *Pinus radiata* son significativamente diferentes. Existe una diferencia del 42.9 % entre la capacidad de infiltración de un suelo con *Polylepis spp* y un suelo con *Pinus radiata*.
- 2) Se ha registrado que la infiltración es mayor al principio y a medida que pasa el tiempo los poros del suelo se van llenando y la capacidad de absorber agua disminuye, por lo tanto, hasta el minuto 10 la velocidad de infiltración, mostro la siguiente variación: en suelos con *Polylepis spp* (129 a 54.75 cm/h) y en suelos con *Pinus radiata* (51.75 a 11.25 cm/h). Por lo tanto, la velocidad de infiltración es marcadamente diferente entre un suelo con *Pinus radiata* (20.48 cm/h) y un suelo con *Polylepis spp* (74.63 cm/h), la diferencia de promedios nos indica que el suelo con *Polylepis spp* es tres veces mayor en comparación al suelo con *Pinus radiata*, y de acuerdo al a prueba estadística T student es significativamente diferente.
- 3) La lamina acumulada hasta el minuto 10 es marcadamente diferente entre suelos con *Pinus radiata*(3.41 cm) y suelos con *Polylepis spp* (12.44 cm) la infiltración en el caso de los suelos con *Pinus radiata* se prolongó por más tiempo aproximadamente entre 1 hora, mientras que en el caso de la infiltración realizada en los suelos de *Polylepis spp* con una duración de 10 min, la diferencia de promedios nos indica que la cantidad de agua que puede absorber el suelo con *Polylepis spp* es tres veces mayor al suelo con *Pinus radiata*, de acuerdo a la prueba estadística T de Student es significativamente diferente.
- 4) En respuesta a las diferencias observadas en los valores obtenidos de las propiedades

físico químicas de los suelos, se observan las diferencias en materia orgánica, los suelos con *Polylepis spp* es de 56,59 % y los suelos con *Pinus radiata* de 11,24% sin embargo ambos valores se califican como suelos con muy alta cantidad de materia orgánica en un rango mayor al 5%. El valor muy alto que presentan los suelos de *Polylepis spp* se debe a la acumulación del material orgánico; la materia orgánica se acumula tanto por la cantidad de aporte (presencia de cobertura vegetal) vegetal, aportes orgánicos de los excrementos de los animales que pasan de forma regular y por la lenta velocidad de descomposición, debido a las bajas temperaturas. En suelos agrícolas, la materia orgánica suele representar el 1 – 3% de los constituyentes del suelo, mientras que, en suelos forestales, este porcentaje puede elevarse mucho. Ambos suelos son muy ricos en materia orgánica (mayor al 5 %), estos altos valores, brindan, agregación y estabilidad estructural al suelo. Estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo.

Con respecto a la densidad aparente los suelos con *Polylepis spp* presentan de 0,60 g/cm³ y los suelos con *Pinus radiata* de 0,95 g/cm³, Una alta densidad del suelo es un indicador de la compactación del suelo. Esto reduce la cantidad de espacio poroso en el suelo, lo que limita la circulación de agua y aire, por el contrario, una baja densidad sugiere que el suelo es más suelto, con más espacio para el aire y el agua lo que significaría una mejor infiltración del agua. La humedad inicial del suelo para *Polylepis spp* es de 46.55 % y para suelos con *Pinus radiata* fue del 12,54 %, como se observa existe una marcada diferencia entre ambos valores.

De acuerdo al análisis de las propiedades químicas de los suelos las áreas evaluadas presentan un pH que varía de 5.11 a 5.12, clasificados como suelos fuertemente ácidos, no existe una diferencia marcada entre ambos valores.

VII. Recomendaciones

- En los suelos con cobertura forestal de *Polylepis spp*, debido a la inclinación del terreno y su difícil acceso, el uso de cilindros infiltrómetros de doble anillo no resulta práctico. Por lo tanto, es aconsejable determinar un tamaño que pueda ser manejable en campo.
- Para futuros estudios, se sugiere llevar a cabo calicatas con el propósito de evaluar la distribución de las raíces a lo largo del perfil del suelo, lo que permitiría una caracterización más completa del terreno y facilitaría un análisis más preciso del proceso de infiltración. En cuanto a los suelos con *Polylepis spp*. se observó una capa orgánica profunda, la cual no fue posible determinar su profundidad con exactitud, por lo que se recomienda en investigaciones futuras realizar calicatas para determinar con exactitud el nivel de profundidad del perfil del suelo en áreas de *Polylepis spp*.
- Para futuras investigaciones, se recomienda incluir una zona de control (suelo sin cobertura arbórea o sin plantaciones forestales) para obtener una visión más amplia de la capacidad de infiltración en la unidad hidrográfica de Rontoccocha, permitiendo así una comparación más exhaustiva y detallada.
- Para un análisis más exhaustivo, es esencial llevar a cabo evaluaciones preliminares antes de establecer plantaciones de *Polylepis spp* y *Pinus radiata*. Esto debe incluir un estudio minucioso del suelo y de las características específicas del área. El objetivo es crear un registro detallado inicial que permita monitorear y comparar los cambios en cada tipo de bosque a lo largo del tiempo, considerando la calidad del suelo, la acumulación de materia orgánica y el comportamiento de la infiltración.

VIII. Referencias

- Aparicio Mijares, F. J. (2001). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Editorial Limusa, S.A. Balderas 95.
- Bosques andinos. (2020). *Proteger y restaurar los bosques andinos como una solución al cambio climático*. Bosques Andinos y Cambio Climático.
<http://www.bosquesandinos.org/proteger-y-restaurar-los-bosques-andinos-como-una-solucion-al-cambio-climatico/>
- Carter, M. R. (2022). Soil Quality for Sustainable Land Management: Organic Matter and Aggregation. *Agronomy Journal* 94, 38-47.
- Delgado María Isabel, Gaspari Fernanda, & Senisterra Gabriela. (2017). *Respuesta a la infiltración en distintos complejos suelo-vegetación en sierras de Ventania, Argentina*.
- Dueñas de la Cruz Ana Cecilia. (2019). *Evaluación de la Infiltración en Plantaciones de Bambu o caña de Guayaquil (Guadua Angustifolia) en el Distrito de la Florida, San Miguel-Cajamarca*.
- ECOAN (Asociación Ecosistemas Andinos). 2007. Evaluación de la biodiversidad de los bosques de Polylepis en la zona sur oeste del parque nacional Otishi (en línea). Consultado 25 dic. 2014. Disponible en http://www.ecoanperu.org/pdf/divers_otishi.pdf
- FAO. (2002). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2000*. <https://www.fao.org/3/y1997s/y1997s00.htm#Contents>
- FAO. (2021). *Evaluación de los recursos forestales mundiales 2020*. <http://documents.worldbank.org/curated/en/512501471594373158/Informe-principal>

- Frank, D., & Finckh, M. (1997). *Impactos de las plantaciones de pino oregón sobre la vegetación y el suelo en la zona centro-sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural.*
- Gaibor Freire Jhady Mishelle. (2019). *Influencia del Uso del Suelo en la Infiltración del agua de la Microcuenca Alta del Río Sábalo, Valle Hermoso.*
- Gómez Guillermo Carlos, Munive Cerrón Rubén, Mallma Capcha Tito, & Orihuela Villavicencio Carlos. (2014). Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas. *Apuntes de Ciencia & Sociedad, 2.*
- Gonzalez Alfaro Gersom Juver. (2015). *Caracterización de la infiltración en bosques plantados con Polylepis spp., de 11 y 29 años, parque nacional Huascarán, quebrada Quilcayhuanca, Huaraz, Ancash.*
- José Luis Huamán Huamán. (2016). "Evaluación de la Capacidad de Infiltración por Precipitaciones, utilizando Infiltrómetro de Doble Anillo en la Zona de Recarga Hídrica de la Unidad Hidrográfica de Rontoccocha-Abancay, 2016.
- Kessler, M. 2006. Bosques de Polylepis. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, BO (en línea). Consultado 31 oct. 2014. Disponible en http://www.researchgate.net/...Bosques_de_Polylepis
- Lao R; Zevallos P; De la Cruz, H. 1990. Informe preliminar de la Ecología, Dendrología y distribución geográfica de las especies del género Polylepis en el PE. Espacio y desarrollo; (PUCP) No. 2; p.47-62.
- la Torre Cuadros M.A, Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, Programa Bosques Andinos de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación - COSUDE, HELVETAS Swiss Intercooperation, & CONDESAN. (2016). *Estado del Arte Científico sobre el Manejo de Bosques Andinos en el Perú.* 10.

- López Zapana Ronald Luis. (2018). *Evaluación Del Coeficiente De Permeabilidad Efectivo En Depósitos Cuaternarios E Implicancias En Los Diseños De Presas Alto Andinas, Casos Cusco Y Apurímac*.
- Lozano Salador, Olazo Jaime, Pérez María I., Castañeda Ernesto, Díaz Gustavo O., & Santiago Gisela M. (2020). *Infiltración y escurrimiento de agua en suelos de una cuenca en el sur de México*. SCIELO.
- Maribel Madueño Melendez. (2019). *Plan de Contingencia en Incendios Forestales Provincia de Abancay 2019* (pp. 63–64). Municipalidad Provincial de Abancay.
- Mendoza, W. (2012). *El Género Polylepis en el Perú*. Editorial Academia Española.
- MencíasIbadango, D. K. (2015). *Determinación de la infiltración en el suelo, estudio de la calidad del agua para regadío y manejo ambiental del sistema de riego El Pisque-Pichincha*.
- Reyes Pires, & Ricardo Junior. (2014). *Influencia de cuatro sistemas del uso de la tierra (teca, cítricos y café bajo sombra manejado y en abandono), en la sortividad en el IRD Selva fundo La Génova, Chanchamayo, Junín*.
- Ruiz Romera, E., & Martínez Santos, M. (2015). *Hidrología Aplicada*.
- SUNASS. (2014). *Estudio Tarifario: Determinación de la fórmula tarifaria, estructura tarifaria Y metas de gestión aplicable a la empresa municipal de servicio de agua potable y alcantarillado de Abancay Emusap Abancay S.A.C*.
- Tapia, R., Carmona, J., Heredia, B., & Martinelli, M. (2017). *Importancia del bosque nativo en la dinámica del agua: influencia de las especies Prosopis flexuosa, Bulnesia retama y suelo desnudo sobre la infiltración en la zona sur de la cuenca de Bermejo San Juan*.
- Von Much, M. W., & Osorio, M. (1987). *Probleme um die Pinus radiata-Monokulturen in Südchile*. Forstarchiv, v 58: 249-253.
- Yallico, E. (1992). *Distribución de Polylepis en el sur de Puno*. Puno.

Yáñez Gutiérrez Fernando, Hermoza Espezúa Rosa María, & Bazán Tapia Luis Rubén.
(2017). Caracterización de la infiltración de agua en tres sistemas de uso del suelo de
la Comunidad Santiago de Carampoma, Huarochirí, Lima. 78.
<https://doi.org/10.21704/ac.v78i2.1056>

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes