

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS NATURALES



Tesis

Cuantificar la oferta hídrica mediante la metodología CUBHIC en ecosistemas a partir de condiciones hidrológicas del Sector Ornado, Llañucancho – Abancay – 2024

Asesor:

Mg. Salas Peña Vanesa

Autor:

Riveros Hilares Winnie Maite

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°: 025

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL



En la ciudad de Abancay, a los 08 días del mes de agosto del 2025, siendo las 10:00 a.m. horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 0159-2025-UTEA-FI-EPIARN de fecha 04 de agosto del 2025 de la Escuela Profesional de Ing. Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mg. Ramos Ascue Juan Diego
Dictaminante :	Mg. Pimentel Maldonado Waldir
Replicante :	Mg. Milagros Carolina Vargas Amiquero

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Quantificar la oferta hídrica mediante la metodología CUBHIC en ecosistemas a partir de condiciones hidrológicas del sector Ornado, Llañucancha, Abancay - 2024.

Desarrollado por el (la) (los) Bachiller (es):

Br.: Riveros Hilares, Winnie Malte
(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: Unanimidad⁹

(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Riveros Hilares, Winnie Malte	Aprobado Notable

Siendo las 12:40 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: **MG. Ramos Ascue, Juan Diego**
(Dr. Mg.) (Apellidos y Nombres)

(Firma)

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

(Firma)

Replicante: **Mg. Milagros Carolina Vargas Amiquero**
(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.

Reporte de similitud

Cuantificar la oferta hídrica mediante la metodología CUBHIC en ecosistemas a partir de condiciones hidrológicas del Sector Ormado, Llañucancha - Abancay - 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	8%	3%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
2	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
3	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
5	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1%
6	hemeroteca.unad.edu.co Fuente de Internet	<1%
7	www.forest-trends.org Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Pontificia Universidad Católica del Perú Trabajo del estudiante	<1%
9	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1%
11	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1%
12	agris.fao.org Fuente de Internet	<1%
13	Submitted to Universidad Santo Tomas Trabajo del estudiante	<1%
	repositorio.utea.edu.pe	

Metadatos

Datos del Autor		
Apellidos y nombres	:	Riveros Hilaes Winnie Maite
Tipo de Documento de Identidad	:	Documento Nacional de Identidad
Número de Documento de Identidad	:	73027591
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0005-1841-2067
Datos del Asesor		
Apellidos y nombres	:	Mg. Salas Peña Vanesa
Tipo de Documento de Identidad	:	Documento Nacional de Identidad
Número de Documento de Identidad	:	70144718
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0003-3734-6278
Datos de la Investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela Profesional	:	Ambiental y Recursos Naturales
Línea de investigación	:	Calidad ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	:	Año 2024
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciada
Porcentaje de similitud	:	9%
URL de OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

La presente tesis está dedicada a Dios, a Paulino Riveros, desde donde estés siempre me has brindado la fortaleza que necesito.

A mis padres, Jhony y Braulio, por confiar en mí y apoyarme constantemente en el trayecto, a mis hermanos por ser fuente de motivación e inspiración y a mis abuelos por su gran cariño y aprecio.

A todos los que han sido parte de mi vida y han creído en mí, especialmente en los momentos difíciles. Esta tesis es también un reflejo de su apoyo y amor.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincera gratitud a todas las personas y entidades que de alguna manera me apoyaron e hicieron posible la realización de la presente tesis.

Primeramente, doy gracias a Dios por brindarme salud, sabiduría y paciencia durante todo este proceso, sin ello no hubiera sido posible el presente trabajo.

Al Dr. Carlos Moreano, por su valiosa orientación, apoyo académico y por compartir su conocimiento y experiencia.

Al presidente y los pobladores del C.P de Llañucancha por permitirme realizar la recopilación de datos en campo; así mismo agradezco a las instituciones, como el Gobierno Regional de Apurímac, Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y EPS Emusap Abancay S.A. quienes me brindaron la información necesaria para desarrollar esta investigación.

A mi familia, especialmente a mis padres Jhony y Braulio, hermanos y a mis abuelos, quienes constantemente me brindaron su apoyo emocional, incondicional y ayuda práctica que requerí en el proceso además me mostraron apoyo y motivación necesaria para no rendirme en el trayecto.

Finalmente, quiero agradecer a Oscar, por su comprensión, cariño y aliento en los momentos difíciles. Gracias por estar a mi lado, dándome fuerzas para seguir adelante y por hacer de este camino una experiencia más llevadera y significativa.

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo cuantificar la oferta hídrica mediante la metodología CUBHIC en ecosistemas a partir de condiciones hidrológicas del Sector Ornado, Llañucancho.

La presente investigación es de diseño no experimental, tipo básico, enfoque cuantitativo y nivel descriptivo. La técnica empleada se basó al uso de la metodología de cuantificación de beneficios hidrológicos de intervenciones en cuencas (CUBHIC), se tomó en cuenta datos sobre las condiciones hidrológicas como: precipitación diaria, temperatura máxima y mínima, misma que fue solicitada al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), para ser procesada en la calculadora CUBHIC, para obtener datos adicionales para la cuantificación de la oferta hídrica. La población es el sector Ornado, tomando como muestra tres ecosistemas: pajonal, bofedal y bosque nativo.

Los resultados obtenidos mostraron una reducción significativa en la oferta hídrica de todos los ecosistemas entre los años 2022 y 2023. En el ecosistema de pajonal, el volumen hídrico disminuyó de 6,756,331.7 m³ a 6,431,678.5 m³ en un área de 1.50 ha. En el ecosistema bofedal, el volumen bajó de 5,889,875.4 m³ a 5,625,556.5 m³ en 1.11 ha, mientras que el bosque nativo presentó una reducción de 6,770,790.4 m³ a 6,422,878 m³ en 0.86 ha.

Llegando a la conclusión que la tendencia negativa en la oferta hídrica está asociada a variaciones climáticas y otros factores ambientales. Este estudio proporciona una visión detallada de los cambios en la disponibilidad hídrica en los ecosistemas evaluados, lo que es crucial para la gestión de recursos hídricos en la región.

Palabras clave: Cuantificar, oferta hídrica, metodología CUBHIC, ecosistemas.

Abstract

The objective of this research is to quantify the water supply using the CUBHIC methodology in ecosystems based on hydrological conditions of the Ornado Sector, Llañucancha.

This research has a non-experimental design, basic type, quantitative approach and descriptive level. The technique used was based on the use of the methodology for quantifying hydrological benefits of interventions in basins (CUBHIC), taking into account data on hydrological conditions such as: daily precipitation, maximum and minimum temperature, which was requested from the National Service of Meteorology and Hydrology of Peru (SENAMHI), to be processed in the CUBHIC calculator, to obtain additional data for the quantification of water supply. The population is the Ornado sector, taking as a sample three ecosystems: grassland, wetlands and native forest.

The results obtained showed a significant reduction in the water supply of all ecosystems between the years 2022 and 2023. In the grassland ecosystem, the water volume decreased from 6,756,331.7 m³ to 6,431,678.5 m³ in an area of 1.50 ha. In the bofedal ecosystem, the volume decreased from 5,889,875.4 m³ to 5,625,556.5 m³ in 1.11 ha, while the native forest presented a reduction from 6,770,790.4 m³ to 6,422,878 m³ in 0.86 ha.

Reaching the conclusion that the negative trend in water supply could be associated with climatic variations and other environmental factors. This study provides a detailed view of changes in water availability in the evaluated ecosystems, which is crucial for water resources management in the region.

Keywords: Quantify, water supply, CUBHIC methodology, ecosystems.

Índice

Portada.....	i
Acta de sustentación.....	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice.....	ix
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras	xii
Índice de anexos.....	xiii
Acrónimos.....	xiv
I. Introducción	14
II. Planteamiento del Problema	16
2.1. Descripción y formulación del problema.	16
2.2. Objetivos	19
2.2.1. Objetivo General.....	19
2.2.2. Objetivos específicos.....	19
2.3. Justificación e Importancia.....	20
2.4. Variables	21
III. Marco Teórico	22
3.1. Antecedentes.....	22
3.2. Bases teóricas	29
3.3. Definición de términos	33
IV. Metodología	39
4.1. Tipo y nivel de investigación	39
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	40
4.3. Población y muestra	42
4.4. Instrumentos.....	42
4.5. Procedimientos.....	43
4.6. Análisis de datos	53
4.7. Consideraciones éticas.....	107
V. Resultados y discusión	108
VI. Conclusiones.....	122
VII. Recomendaciones	124
VIII. Referencias.....	125
IX. Anexos.....	135

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Operacionalización de variables</i>	21
Tabla 2	<i>Técnicas e instrumentos</i>	43
Tabla 3	<i>Datos meteorológicos de la EE.MM granja San Antonio - año 2022</i>	48
Tabla 4	<i>Ubicación de los puntos de intervención en los ecosistemas</i>	53
Tabla 5	<i>Ecosistema de pajonal – punto 1</i>	55
Tabla 6	<i>Ecosistema de pajonal – punto 2</i>	58
Tabla 7	<i>Ecosistema de pajonal – punto 3</i>	60
Tabla 8	<i>Ecosistema de pajonal – punto 4</i>	62
Tabla 9	<i>Ecosistema de pajonal – punto 5</i>	64
Tabla 10	<i>Ecosistema de bofedal – punto 1</i>	66
Tabla 11	<i>Ecosistema de bofedal – punto 2</i>	68
Tabla 12	<i>Ecosistema de bofedal – punto 3</i>	70
Tabla 13	<i>Ecosistema de bofedal – punto 4</i>	72
Tabla 14	<i>Ecosistema de bofedal – punto 5</i>	74
Tabla 15	<i>Ecosistema de bosque nativo – punto 1</i>	76
Tabla 16	<i>Ecosistema de bosque nativo – punto 2</i>	78
Tabla 17	<i>Ecosistema de bosque nativo – punto 3</i>	80
Tabla 18	<i>Ecosistema de bosque nativo – punto 4</i>	82
Tabla 19	<i>Ecosistema de bosque nativo – punto 5</i>	84
Tabla 20	<i>Rangos de velocidad de infiltración básica de los tipos de suelos</i>	88
Tabla 21	<i>Grupo hidrológico de suelos</i>	89
Tabla 22	<i>Aplicación de logaritmos - Ecosistema de pajonal – punto 1</i>	90
Tabla 23	<i>Aplicación de logaritmos - Ecosistema de pajonal – punto 2</i>	91
Tabla 24	<i>Aplicación de logaritmos – Ecosistema de pajonal – punto 3</i>	92
Tabla 25	<i>Aplicación de logaritmos – Ecosistema de pajonal – punto 4</i>	93
Tabla 26	<i>Aplicación de logaritmos – Ecosistema de pajonal – punto 5</i>	94

Tabla 27	<i>Aplicación de logaritmos - Ecosistema de bofedal – punto 1</i>	95
Tabla 28	<i>Aplicación de logaritmos - Ecosistema de bofedal – punto 2</i>	96
Tabla 29	<i>Aplicación de logaritmos - Ecosistema de bofedal – punto 3</i>	97
Tabla 30	<i>Aplicación de logaritmos - Ecosistema de bofedal – punto 4</i>	98
Tabla 31	<i>Aplicación de logaritmos – Ecosistema de bofedal – punto 5</i>	99
Tabla 32	<i>Aplicación de logaritmos - Ecosistema de bosque nativo – punto 1</i>	100
Tabla 33	<i>Aplicación de logaritmos - Ecosistema de bosque nativo – punto 2</i>	101
Tabla 34	<i>Aplicación de logaritmos - Ecosistema de bosque nativo – punto 3</i>	102
Tabla 35	<i>Aplicación de logaritmos – Ecosistema de bosque nativo – punto 4</i>	103
Tabla 36	<i>Aplicación de logaritmos – Ecosistema de bosque nativo – punto 5</i>	104
Tabla 37	<i>Resultados de la aplicación de logaritmos - Ecosistema de pajonal</i>	108
Tabla 38	<i>Determinación del grupo hidrológico de los suelos – Ecosistema de pajonal</i>	108
Tabla 39	<i>Resultados de la aplicación de logaritmos – Ecosistema de bofedal</i>	109
Tabla 40	<i>Determinación del grupo hidrológico de los suelos – Ecosistema de bofedal</i>	109
Tabla 41	<i>Resultados de la aplicación de logaritmos - Ecosistema de bosque nativo</i>	110
Tabla 42	<i>Determinación del grupo hidrológico de los suelos – Ecosistema de bosque nativo</i>	110
Tabla 43	<i>Evapotranspiración real (ETR) día, mes y año</i>	112
Tabla 44	<i>Área de los ecosistemas</i>	114
Tabla 45	<i>Componentes hidrológicos en ecosistema de pajonal</i>	114
Tabla 46	<i>Componentes hidrológicos en ecosistema de bofedal</i>	116
Tabla 47	<i>Componentes hidrológicos en ecosistema de bosque nativo</i>	117

Índice de figuras

Figura 1	Mapa de ubicación de zona de estudio ubicado en el sector Ornado	41
Figura 2	Esquema resumen de los procedimientos.....	52
Figura 3	Infiltración del punto 1 - ecosistema de pajonal.....	56
Figura 4	Infiltración del punto 2 - ecosistema de pajonal.....	59
Figura 5	Infiltración del punto 3 - ecosistema de pajonal.....	61
Figura 6	Infiltración del punto 4 - ecosistema de pajonal.....	63
Figura 7	Infiltración del punto 5 - ecosistema de pajonal.....	65
Figura 8	Infiltración del punto 1 - ecosistema de bofedal.....	67
Figura 9	Infiltración del punto 2 - ecosistema de bofedal.....	69
Figura 10	Infiltración del punto 3 – ecosistema de bofedal.....	71
Figura 11	Infiltración del punto 4 - ecosistema de bofedal.....	73
Figura 12	Infiltración del punto 5 - ecosistema de bofedal.....	75
Figura 13	Infiltración del punto 1 - ecosistema de bosque nativo	77
Figura 14	Infiltración del punto 2 - ecosistema de bosque nativo	79
Figura 15	Infiltración del punto 3 - ecosistema de bosque nativo	81
Figura 16	Infiltración del punto 4 - ecosistema de bosque nativo	83
Figura 17	Infiltración del punto 5 - ecosistema de bosque nativo	85
Figura 18	Evapotranspiración real (ETR) en los períodos 2022 -2023	111
Figura 19	Ubicación de ecosistemas intervenidos.....	113
Figura 20	Oferta hídrica en los períodos 2022 – 2023 – Ecosistema de pajonal	115
Figura 21	Oferta hídrica en los períodos 2022 – 2023 – Ecosistema de bofedal.....	116
Figura 22	Oferta hídrica en los períodos 2022 – 2023 – Ecosistema de bosque nativo.....	117

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de Consistencia	136
Anexo 2 Ficha de campo para datos de prueba de infiltración	137
Anexo 3 Panel fotográfico	138

Acrónimos

- ANA** : Autoridad Nacional del Agua
- CUBHIC** : Cuantificación de Beneficios Hidrológicos de Intervenciones en Cuencas
- EPIARN** : Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
- ETR** : Evapotranspiración Real
- FAO** : Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
- INDECI** : Instituto Nacional de Defensa Civil
- INIA** : Instituto Nacional de Innovación Agraria
- MINAM** : Ministerio del Ambiente
- SENAMHI** : Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
- SINIA** : Sistema Nacional de Información Ambiental

I. Introducción

En esta investigación, se cuenta con dos variables clave que son: oferta hídrica y condiciones hidrológicas. La oferta hídrica es el volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre como lo describe ANA (2012), mientras que las condiciones hidrológicas se refieren al estado y comportamiento del agua en un área específica, incluyendo su distribución, circulación y propiedades en la superficie terrestre y en el subsuelo, además incluyen factores como precipitación, evapotranspiración real y temperatura máxima y mínima que influyen directamente en esta disponibilidad.

La oferta hídrica de una región está determinada por sus condiciones hidrológicas, las cuales incluyen factores como la precipitación, la escorrentía, la infiltración y el almacenamiento de agua en cuerpos superficiales y subterráneos. Estos procesos regulan la disponibilidad del recurso y su variabilidad temporal y espacial.

La disponibilidad de agua en Abancay se ve afectada por el cambio climático, la variabilidad en las precipitaciones y la degradación de los ecosistemas de cabecera de cuenca. Estos factores comprometen la regulación hídrica y generan incertidumbre sobre la oferta del recurso. La metodología CUBHIC es una herramienta para analizar cómo estas condiciones afectan cuantitativamente la oferta hídrica en el sector mencionado.

La presente investigación cuenta con la descripción de la realidad problemática, el problema general y problemas específicos determinados, la justificación e importancia de la investigación. Se ha tomado en cuenta también antecedentes relacionados con la investigación, bases teóricas y la definición de términos a considerar en el contenido del presente documento.

La metodología contiene información referente al tipo y nivel de la investigación, así mismo se describe el ámbito temporal y espacial, del mismo modo se ha descrito la población y muestra considerada, los instrumentos y procedimientos que se contemplaron para la realización del análisis de datos.

En los resultados se muestran los datos finales del procedimiento en que se tomaron en cuenta datos primarios y secundarios y finalmente la discusión de resultados, conclusiones, recomendaciones consideradas, las referencias tomadas en cuenta en la investigación y finalmente los anexos que demuestran el desarrollo de la investigación.

II. Planteamiento del Problema

2.1. Descripción y formulación del problema.

ONU (2021), Indica que las principales fuentes de agua para uso humano como lagos, ríos, la humedad del suelo y las cuencas de aguas subterráneas a poca profundidad se distribuyen de forma irregular y, en general, están lejos de las zonas urbanas. Alrededor del 36% de la población mundial, ó 2,400 millones de personas, viven en regiones con escasez de agua y el 52% experimentará una severa escasez de agua hacia el año 2050.

En ese sentido, Vargas (2009), menciona que Perú sería una de las diez naciones más susceptibles a la variabilidad climática y estos podrían considerarse superiores a tal punto de afectar negativamente como: la pérdida de disponibilidad de recursos hídricos para consumo humano y generación energética.

El sector Ornado, el cual pertenece al Centro poblado de Llañucancha, lugar que forma parte de una de las cinco fuentes subterráneas que abastece de agua para consumo humano y demás actividades a la ciudad de Abancay, esta fuente subterránea es conocida como manantial Marcamarca, cuya captación de agua se ubica a 5 km al noreste de la ciudad, en el sector denominado Llañucancha (Condori, 2016).

El sector Ornado alberga ecosistemas de pastizales, bofedales y bosques nativos los cuales son esenciales para la regulación hidrológica y la provisión de agua hacia las zonas bajas. Estos ecosistemas actúan como captadores y reguladores naturales del agua, almacenando grandes cantidades en sus suelos y vegetación, para luego liberarla gradualmente, asegurando así un suministro constante de agua, especialmente en periodos de estiaje. Sin embargo, estos ecosistemas han sido gravemente impactados por múltiples factores adversos, entre los que destacan el cambio climático, los incendios forestales y el pastoreo no regulado, lo que genera la disminución de la disponibilidad hídrica.

El cambio climático ha traído consigo un aumento de temperaturas y la alteración de los patrones de precipitación, afectando la capacidad de los ecosistemas de cabecera de cuenca para retener y liberar agua de manera adecuada.

Además, los incendios forestales, provocados tanto de manera intencional como accidental, representan una amenaza creciente. Estos incendios destruyen la vegetación que cubre el suelo y desempeña un papel clave en la captación de agua. La pérdida de cobertura vegetal expone el suelo a la erosión, reduce la infiltración del agua y aumenta el escurrimiento superficial, lo que no solo disminuye la capacidad de recarga de los acuíferos, sino que también contribuye a la pérdida de suelos fértiles y aumenta el riesgo de deslizamientos.

Otro factor agravante es el pastoreo no regulado, que degrada los suelos y destruye la vegetación en áreas críticas para la captación de agua, como los bofedales. La sobreexplotación de estas zonas para actividades ganaderas reduce la capacidad de estos ecosistemas para retener y filtrar el agua, lo que tiene efectos adversos tanto en la calidad como en la cantidad de agua disponible para las comunidades locales.

La población de Abancay, que crece de manera acelerada, registrando 69,028 habitantes en la ciudad de Abancay, considerada en ese entonces como el distrito más poblado, según INEI (2018), debido a ello se ha aumentado la presión sobre los recursos hídricos disponibles. A medida que la demanda de agua para consumo humano y agrícola crece, la oferta hídrica disminuye en cantidad y calidad, especialmente en los meses de estiaje, cuando la disponibilidad es más crítica.

El problema central que aborda este estudio es la disminución de la disponibilidad del recurso hídrico en la ciudad de Abancay, exacerbada por factores climáticos, incendios forestales, prácticas no sostenibles de manejo de la tierra y el crecimiento poblacional. Esta situación está afectando la capacidad de las cuencas para regular el agua de manera adecuada, poniendo en riesgo tanto el abastecimiento de agua para las actividades humanas como la estabilidad de los ecosistemas que dependen de estos recursos. La ausencia de estrategias efectivas para la conservación y gestión sostenible de los recursos

hídricos en estas áreas críticas ha llevado a un deterioro progresivo de la oferta hídrica, afectando a las comunidades y sectores económicos que dependen de ella, particularmente en la temporada de estiaje.

Apurímac es la region alto andina que se ve más afectada por el proceso de desertificación en el Perú. El hecho de ser además una de las regiones con mayores niveles de pobreza, incrementa su vulnerabilidad frente a la variabilidad climática, la sequía y la desertificación, y difulta el desarrollo de acciones destinadas a revertir la situación. (Vasquez & Quispe, 2023).

Problemas

Problema General

- ¿Cómo cuantificar la oferta hidrica mediante la metodología CUBHIC en ecosistemas a partir de condiciones hidrologicas del sector Ornado, LlañucanCHA – Abancay – 2024?

Porblemas Especificos

- ¿Cómo determnr el grupo hidrologico de los suelos en ecosistemas del sector Ornado, LlañucanCHA – Abancay – 2024?
- ¿Cómo estimar la evapotrabspiración real en los ecosistemas en relación a las condiciones hidrológicas del Sector Ornado, LlañucanCHA – Abancay – 2024?
- ¿Cúal es la distrbución de los ecosistemas en el Sector Ornado, LlañucanCHA – Abancay – 2024?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo General

Cuantificar la oferta hídrica mediante la metodología CUBHIC en ecosistemas a partir de condiciones hidrológicas del Sector Ornado, LlañucanCHA – Abancay – 2024.

2.2.2. Objetivos específicos

- Determinar el grupo hidrológico de los suelos en ecosistemas del Sector Ornado, LlañucanCHA – Abancay - 2024.
- Estimar la evapotranspiración real en ecosistemas en relación a las condiciones hidrológicas de Sector Ornado, LlañucanCHA – Abancay – 2024.
- Identificar la distribución de ecosistemas en el Sector Ornado, LlañucanCHA – Abancay – 2024.

2.3. Justificación e Importancia

A. Justificación

Socioambientalmente el acceso al agua es un derecho fundamental y su disponibilidad afecta directamente la calidad de vida de las comunidades. En Abancay, la variabilidad en la oferta hídrica impacta el abastecimiento de agua potable y el desarrollo de actividades económicas. Esta investigación busca generar información que permita mitigar estos efectos mediante una gestión eficiente del recurso.

Ambientalmente, los ecosistemas altoandinos cumplen un papel fundamental en la regulación del agua, actuando como reservorios naturales que almacenan y liberan el recurso de manera gradual. Sin embargo, factores como el cambio climático y los incendios forestales han alterado estos procesos, afectando la oferta hídrica. Este estudio contribuirá con información sobre la disponibilidad del agua y propondrá recomendaciones para su conservación, promoviendo prácticas sostenibles en la gestión de las cuencas hidrográficas.

La investigación cuenta con una justificación teórica porque a pesar de existir estudios referentes sobre el tema, no se han encontrado investigaciones realizadas en el lugar propuesto, es de conocimiento de que este sector forma parte de una de las fuentes subterráneas que abastece de agua a la ciudad, sin embargo, la información es escasa o nula, por lo que la presente investigación estará llenando un vacío en el conocimiento teórico, brindando datos que podrían ser de utilidad para investigaciones futuras.

En el aspecto práctico, por ser una investigación descriptiva, estará ayudando a tomar en cuenta planificación y gestión del recurso hídrico en Abancay. A través de la cuantificación de la oferta hídrica, se generará información útil para la toma de decisiones en sectores como abastecimiento de agua, riego agrícola y conservación de ecosistemas. Los resultados permitirán proponer estrategias de manejo sostenible.

Económicamente el estudio puede contribuir a la identificación de estrategias de inversión en infraestructura hídrica y en medidas de conservación de los ecosistemas de

cabecera de cuenca, lo que a largo plazo generará beneficios económicos al garantizar la sostenibilidad del recurso y prevenir impactos negativos en el abastecimiento urbano.

B. Importancia

Esta investigación es clave para la gestión sostenible del agua en Abancay, donde el cambio climático y la degradación de ecosistemas afectan su disponibilidad. Se obtendrá información técnica sobre la oferta hídrica, facilitando la toma de decisiones en planificación y conservación. Sus aportes serán fundamentales en el ámbito científico (comprensión de procesos hidrológicos), ambiental (protección de ecosistemas reguladores), social (acceso al agua) y económico (uso eficiente del recurso en sectores clave).

2.4. Variables

- **Variable uno:** Condiciones hidrológicas
- **Variable dos:** Oferta hídrica

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
VARIABLE 1 Condiciones hidrológicas	McCammon (1998) menciona que las condiciones hidrológicas son las interrelaciones entre los factores meteorológicos, de aguas superficiales y subterráneas, y físicos y biológicos que influyen en el flujo, la calidad y/o el momento del agua.	Esta variable se medirá mediante Ficha de campo para datos de una prueba de infiltración, realizada por Delgadillo O., (2016)	Precipitación	mm
			Evapotranspiración real	mm
			Ecosistemas	%
			Grupo hidrológico de suelos	mm/m3
VARIABLE 2 Oferta Hídrica	ANA (2012) define la Oferta Hídrica al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre.	Esta variable se medirá aplicando la metodología CUBHIC de Forest Trends (2022)	Caudal base	mm/m3
			Interflujo	
			Percolación	
			Reservorio subsuperficial	

Nota: Elaboración propia

III. Marco Teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. A nivel internacional

Saldaña et al. (2022) en su trabajo de investigación "Oferta hídrica superficial del humedal El Gallinazo, ubicado en Aguachica – Colombia" cuyo objetivo es estimar la oferta hídrica superficial neta disponible mediante el método lluvia-escorrentía, en el humedal El Gallinazo, Aguachica (Cesar – Colombia) como aporte a la gestión integral del recurso. Utilizaron el sistema Corine Land Cover adaptado para Colombia, el grupo hidrológico mediante la textura del suelo para determinar a través de tablas el número de curvas. La investigación incluyó el cálculo de la precipitación media anual empleando el método de interpolación de Kriging con ayuda del software ArcGIS y datos meteorológicos extraídos de estaciones del IDEAM. Además, se utilizó el método lluvia-escorrentía en función al número de curvas (SCS-CN) y la resolución 865 de 2004. Tuvo como población a la Microcuenca el Gallinazo y la muestra se centró en el humedal el Gallinazo. El resultado de la oferta hídrica anual disponible fue de 42573,6 m³, llegando a la conclusión de que el comportamiento de la disponibilidad del agua depende de las actividades antrópicas dentro y fuera del humedal, así como del régimen de precipitación.

Vega (2022) realizó su trabajo de investigación que lleva por título "Estudio de los beneficios hidrológicos en función de las prácticas de reforestación y forestación de áreas degradadas en la zona de recarga de la subcuenca del río Teaone en Esmeraldas – Ecuador", tiene como objetivo cuantificar diferentes escenarios de superficies con diversas condiciones de vegetación y suelo. Para ello, se aplicó una metodología basada en la recopilación de datos climatológicos, específicamente precipitación y temperatura, los cuales son fundamentales para el uso de la calculadora de cuantificación de beneficios hidrológicos (CUBHIC). Los resultados muestran que, en el primer escenario, se redujo la escorrentía en 8.7 millones de litros por año, mientras que en el segundo escenario la reducción fue de 11 millones de litros por año. En conclusión, a la permeabilidad o

percolación, el primer escenario registró un aumento de 8.5 millones de litros por año, y en el segundo, el incremento fue de 10.9 millones de litros por año.

Franco (2022) en su investigación "Análisis del efecto de infraestructura verde para la protección del recurso hídrico en las microcuencas del río Segundo y río Ciruelas, Heredia, Costa Rica", tienen como objetivo analizar el efecto de infraestructura verde para protección del recurso hídrico, para ello implemento la Metodología CUBHIC en el cual tuvo como población las microcuencas del río Segundo y río Ciruelas y toma como muestra tres sistemas: bosques, plantación y reforestación. Los resultados indican que los tres sistemas son de textura franco-arenosa clasificados como suelos tipo B, indicando que el potencial de generar escorrentía es bajo.

Chávez (2019) llevó a cabo una investigación titulada "Determinación de la Oferta del Recurso Hídrico en la parte alta de la Cuenca del río Chinchiná", cuyo objetivo es establecer la oferta hídrica en esta zona. Para lograrlo, se aplicó una metodología de análisis cualitativo, que incluyó la recolección, filtrado, clasificación y análisis de información utilizando el software ArcGIS. La población que se tomó en cuenta fue la cuenca del río Chinchiná y la muestra constó de predios de 220 ha en el parque nacional Los Nevados. Según la metodología empleada, se determinó que la oferta hídrica en la parte alta de la cuenca del río Chinchiná durante el año 2018 está influenciada por la ubicación, distribución y características de los cuerpos de agua, así como por la variabilidad climática. En ese periodo, la escorrentía superficial no resultó ser significativa, ya que las precipitaciones fueron bajas durante la mayor parte del año, lo que refuerza la conclusión de que la oferta hídrica fue escasa.

Díaz y Alarcón (2018) ejecutaron su trabajo de investigación titulada "Estudio Hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada Niscota para un acueducto Interveredal en Nunchía, Casanare". El objetivo de este estudio es evaluar las condiciones hidrológicas de la fuente de abastecimiento del acueducto interveredal en el municipio de Nunchía. La metodología utilizada se basa en

una investigación de tipo descriptivo y cuantitativo, empleando herramientas de sistemas de información geográfica (SIG) para identificar los diferentes parámetros morfológicos de la cuenca, así como el software HEC-RAS para determinar los caudales mínimos y máximos esperados en el punto de captación. Los resultados de las mediciones realizadas en la quebrada Niscota indican que el escurrimiento registrado al final de la temporada más seca se encuentra dentro de los valores indirectamente establecidos para dicha quebrada. Además, se observa que, en conclusión, en las épocas más secas, la cantidad de agua que fluye en la corriente principal de la cuenca es suficiente para abastecer el proyecto del acueducto interveredal sin generar presión adicional sobre la cuenca, incluso con un caudal mínimo.

Mamani (2016) presenta su investigación “Determinación de la oferta hídrica por el medio de aplicación del modelo SWAT en condiciones de poca información hídrica en la cuenca Azanaque (Prov. Sebastián Pagador – Oruro)” el cual tiene como objetivo modelar la producción hídrica de la cuenca del Río Azanaque mediante el modelo SWAT, la metodología empleada para la obtención de datos fue a través del análisis de información de muestreos de campo. La base de datos de cobertura se obtuvo a través de la identificación de usos de la tierra por fotointerpretación de imágenes satelitales recientes. La base de datos de clima se obtuvo a través del análisis de registros climatológicos de la estación meteorológica de Cosmina. La población y muestra considerada en la investigación es la cuenca Azanaque. Los resultados determinaron que la producción hídrica de la cuenca del Río Azanaque presenta producción hídrica es de 6.428 y 4.209 Mm³.

3.1.2. A nivel nacional

Huaman (2024) desarrollo el trabajo de investigación “Determinación de la oferta hídrica del río Ayaviri mediante la generación de descargas medias mensuales aplicando el modelo hidrológico GR2M, 1964-2018” teniendo como objetivo principal determinar la oferta hídrica del río Ayaviri a través de la generación de caudales medios mensuales

aplicando el modelo hidrológico GR2M, su metodología se basó en la recaudación de datos meteorológicos, se realizó el análisis de consistencia de la información hidrometeorológica utilizando el software Hydraccess y Trend. La población considerada son los caudales medios mensuales y la muestra se seleccionó siguiendo un método no probabilístico intencional y corresponde al caudal medio registrado en la estación hidrométrica puente Ayaviri. Los resultados determinaron que los caudales medios mensuales generados para el periodo 1964 al 2018, para un año promedio varían de 2.12 a 70.48 m³/s, con un caudal medio anual de 22.75 m³/s. Se llega a la conclusión la presente investigación demuestra que es posible determinar la oferta hídrica mediante la generación de descargas medias mensuales utilizando el modelo hidrológico GR2M.

Huasacca (2023) en su investigación “Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka con fines de represamiento, distrito Quinua – Huamanga – Ayacucho, 2022” el cual tiene como objetivo determinar la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka, la metodología está basada en la recopilación los datos, también se realizó la delimitación de la microcuenca con el software ArcGIS 10.4, todo ello fue la base para la aplicación del modelo determinístico - Estocástico de Lutz Scholz. Y la aplicación de una plantilla de Excel con el fin de facilitar el proceso establecido en el modelo Lutz Scholz. Cuenta con población y muestra a la microcuenca Usquwillka. El resultado demuestra que el volumen acumulado en el punto de aforo en los meses de lluvia (enero, febrero, marzo y abril) es de 1859925 m³ de agua disponible. En conclusión, en el proceso de la extensión, se dejó fluir el 25 % de caudal de cada mes, el 75 % restante es el caudal mensual aprovechable llamado como oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka.

Rosales (2023) llevó a cabo su investigación titulada “Zonificación del número de curva para caracterizar el potencial de esorrentía en la subcuenca del río Quillcay Ancash -Huaraz-2020”, el cual tiene como objetivo principal realizar la zonificación del número de curva para caracterizar el potencial de esorrentía en la Subcuenca del río Quillcay. La metodología usada en la investigación se encuentra respaldada por el empleo de Sistemas

de Información Geográfica. La población y muestra determinada es la Subcuenca del Río Quillcay. Los resultados se muestran que el número curva (NC) de 72 ponderado donde se puede ver que espacios abiertos con poca o sin vegetación tienen un 45.5% del área de la cuenca con un alto potencial de escorrentía debido al grupo hidrológico del suelo (GHS) que es el grupo D con un número curva (NC) de 87; también se halló que espacios abiertos con poca o sin vegetación tienen un 20.3% del área de la cuenca con un bajo potencial de escurrimiento debido a que el grupo hidrológico del suelo (GHS) que es el grupo A con un número curva (NC) de 67. Por lo que se tiene un número curva (NC) de 72 ponderado de la subcuenca además que la cuenca tiene un alto potencial de escorrentía debido a la escasa vegetación hallada. En conclusión, el potencial de escorrentía es alto mientras que el nivel de infiltración es bajo.

Quintana (2022) en su artículo científico titulado “Amunas en la microcuenca Sansare como mecanismo de adaptación frente al cambio climático” tiene como objetivo analizar los cambios en el servicio ecosistémico hídrico al emplear amunas bajo dos escenarios de conservación de canales amuneros y compararlos con una línea base previa a la intervención. La metodología que se aplicará es la metodología de cuantificación de Beneficios Hidrológicos de Intervenciones en Cuencas (CUBHIC 2.0) que emplea ecuaciones de balance hídrico y pérdida de suelo. La población considerada es la microcuenca Senare, tomando como muestra las amunas de Senare. Finalmente, el artículo concluye que las amunas mal conservadas no aumentaron la escorrentía basal y por lo tanto no afectaron significativamente el ciclo hidrológico en la microcuenca, sin embargo, cuando se conserva con superficie con revestimiento de concreto, el caudal base tiene un cambio positivo. $995,1 \times 1000 \text{ m}^3$. Ambos escenarios evaluados mostraron concentraciones reducidas de sedimentos de $9,8 \text{ g/m}^3$ y 38 g/m^3 respectivamente. La investigación nos ayuda a identificar y probar en qué situaciones y bajo qué condiciones la amuna ofrece el mayor beneficio hidrológico y qué variables son importantes análisis en el futuro.

Cuadros & Mercado (2021) desarrollaron un trabajo de investigación titulada "Práctica Ancestral de cosecha de agua, para el aprovechamiento y almacenamiento", cuyo objetivo es implementar soluciones basadas en infraestructura "verde", como las "qochas", que son reservorios naturales para el almacenamiento de agua. Para lograr este objetivo, se aplicó una metodología que consiste en realizar estudios hidrológicos y de balance hídrico, utilizando la herramienta CUBHIC, lo que permite una evaluación rápida de los beneficios que aporta la intervención en los recursos hídricos naturales. Se evaluó también el porcentaje de agua en los sistemas de qochas de Warihumaña y Chullumpirini. La población considerada es la cuenca Azángaro y la muestra se centró en las qochas Warihumaña y Chullumpirini. Los resultados indican que el volumen de infiltración en la primera qocha aumenta en 328,515 m³/año, mientras que en la segunda qocha el incremento es de 132,003 m³/año. Se concluye que el instrumento CUBHIC representa una alternativa efectiva al método hidrológico tradicional.

3.1.3. A nivel regional y local

Núñez & Pinares (2024) realizaron el estudio denominado "Influencia de la infiltración en la capacidad de recarga hídrica utilizando la metodología CUBHIC en bofedales de la microcuenca Rontoccocha Abancay – 2023" el cual tiene como objetivo general la determinación de la influencia de la infiltración en la capacidad de recarga hídrica en bofedales el método de investigación es de tipo deductivo - inductivo, observacional, aplicativo, no experimental y correlacional-causal. Mediante la Metodología CUBHIC, se determinó que la capacidad de recarga hídrica, se determinó que la escorrentía generada es de 623,16 mm/ha/año, lo que equivale a 311 583 m³ /año en un área de 50 ha de ecosistema de bofedal. La percolación se estimó en 554,28 mm/año, generando 277 143 m³ /año en la misma área de bofedal.

Moreano (2021) desarrolló una investigación titulada "Valoración económica de los flujos hidrológicos y la biodiversidad por el uso del agua en la cuenca del río Mariño" cuya finalidad era determinar el valor económico de los flujos hidrológicos. La metodología

consistió en la evaluación de la disponibilidad de agua en la cuenca Mariño se realiza según la metodología de cuantificación de beneficios hidrológicos de intervenciones en cuencas (CUBHIC), esta metodología nos permite cuantificar la oferta de agua y otros beneficios hidrológicos, teniendo en cuenta parámetros como la hidrología del suelo y las características de la vegetación que afectan la evapotranspiración y la escorrentía. El resultado final de la evaluación económica del servicio hidrológico determinó que el valor del agua en la Cuenca Mariño es de S/. 0,51 m³, lo mismo, en conclusión, esto permitirá la formulación de políticas públicas para preservar la cabecera de la cuenca Mariño.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Oferta Hídrica

ANA (2012) define la Oferta Hídrica al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre.

Mientras que otro autor afirma lo siguiente:

La oferta hídrica se refiere a la cantidad de agua que, tras precipitarse sobre una cuenca y cumplir con los procesos de evapotranspiración e infiltración en el sistema suelo-cobertura vegetal, fluye a través de los cauces principales de ríos y otras corrientes superficiales. Este flujo también abastece lagos, lagunas y reservorios, se une a otras corrientes y, finalmente, desemboca directa o indirectamente en el mar. Los hidrólogos suelen denominar este volumen de agua como escorrentía superficial, cuya cuantificación constituye un componente clave en las redes de monitoreo hidrológico implementadas en diversos países.

La oferta hídrica de una cuenca, corresponde también al volumen disponible de agua para satisfacer la demanda generada por las actividades sociales y económicas del hombre (Corponariño, 2011)

Así mismo es necesario indicar que debe existir un balance hídrico entre la oferta y demanda es decir que esta destina a cumplir con necesidades o requerimientos dado por la población, por ello mediante la ANA (2013) reconoce las siguientes clases de uso de agua:

- *Uso primario*: Se refiere al aprovechamiento directo y eficiente del agua de canales naturales y cauces públicos para cubrir necesidades humanas esenciales, como el consumo directo, la preparación de alimentos, la higiene personal, así como para ceremonias, rituales culturales y religiosos.

- *Uso poblacional*: Consiste en el acceso al agua proveniente de una fuente o red pública que ha sido previamente tratada para satisfacer las necesidades humanas básicas.
- *Uso productivo*: Implica la utilización del agua durante o antes del proceso de fabricación en actividades productivas.

3.2.2. Metodología CUBHIC

Ochoa, et al. (2022) indica que la metodología CUBHIC (Cuantificación de Beneficios Hidrológicos de Intervenciones en Cuencas) es una innovación del proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica, que ofrece una metodología práctica para producir estimaciones cuantitativas de los beneficios hidrológicos de proyectos de infraestructura natural. Si bien existen métodos de modelación hidrológica más complejos para simular los procesos hidrológicos y el transporte de sedimentos, por lo general estos requieren muchas más mediciones de campo, una calibración intensiva del modelo y una extensa experiencia del equipo modelador.

CUBHIC se implementa a través de seis calculadoras de beneficios, compatibles con Microsoft Excel, que evalúan los impactos de las intervenciones tanto en el sitio del proyecto como a nivel de cuenca hidrográfica. Esto proporciona un enfoque realista para medir el impacto sobre servicios ecosistémicos clave. La metodología es aplicable a seis tipos principales de infraestructura natural:

- Protección y restauración de bosques.
- Conservación y recuperación de pastizales altoandinos.
- Implementación de zanjas de infiltración.
- Construcción y rehabilitación de amunas (canales ancestrales para infiltración).
- Creación de q'ochas (microreservorios permeables).
- Conservación y restauración de humedales altoandinos.
- Adicionalmente, el enfoque SUPERCUBHIC 2.0 Integral combina diferentes intervenciones para una evaluación más amplia y detallada.

3.2.3. Condiciones hidrológicas

McCammon (1998) menciona que las condiciones hidrológicas son las interrelaciones entre los factores meteorológicos, de aguas superficiales y subterráneas, y físicos y biológicos que influyen en el flujo, la calidad y/o el momento del agua. La magnitud, la dirección y la tasa de cambio son la expresión de la condición hidrológica.

La condición hidrológica dependerá básicamente de los siguientes factores:

➤ **Precipitación:**

Como expresa Pérez G., (s.f.) La precipitación es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra.

SENAMHI (2013), cita a Musy, quién considera la siguiente definición:

“Se denomina precipitación, a toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la única entrada principal al sistema hidrológico continental”.

➤ **Temperatura:**

Núñez (2020) describe los elementos del clima, en el cual define a la temperatura como “La medida de energía calorífica del aire en un momento y lugar determinado. Se suele medir en grados Celsius (°C) y también en grados Fahrenheit (°F)”.

Mientras que GeoEnciclopedia (s.f.) mantiene la siguiente afirmación

“Es el nivel térmico del aire. Es la medida del aire con relación a su calidez o gelidez. Para medir la temperatura de una región, se utiliza un equipo llamada termómetro, el cual arroja información sobre la temperatura del aire

al sol y la temperatura del aire a la sombra, el cual suele arrojar cifras menores.

➤ **Humedad:**

“La humedad es una propiedad que describe el contenido de vapor de agua presente en un gas, el cual se puede expresar en términos de varias magnitudes. Algunas de ellas se pueden medir directamente y otras se pueden calcular a partir de magnitudes medidas”. (Martines, 2007).

También se puede definir de la siguiente manera:

“La humedad está presente en la mayor parte de la atmósfera cercana a la superficie del planeta. No es algo que se pueda ver, pero sí es posible sentirla e incluso olerla indirectamente, por los hongos que viven gracias a ella” (Tejada, 2018).

3.2.4. Grupos Hidrológicos del suelo

“El grupo hidrológico de suelo se basa desde el punto de vista de su comportamiento respecto a la escorrentía, característica que se determina en función de la textura del suelo, la profundidad y su capacidad de infiltración” (Mogil & Navarro, 2012).

Podría considerarse como una clasificación utilizada en hidrología y manejo de recursos hídricos que agrupa a los suelos según su capacidad para infiltrar y absorber agua, lo que influye en el escurrimiento superficial y la recarga de acuíferos. Los suelos se dividen en cuatro grupos hidrológicos principales, que van de la A a la D, de acuerdo con la velocidad con la que permiten que el agua se infiltre:

- **Grupo A:** Son suelos con alta permeabilidad y bajo potencial de escurrimiento, incluso cuando están saturados, lo que les permite una elevada infiltración.

Suelen ser suelos profundos de textura gruesa, como los arenosos o arenolimosos.

- **Grupo B:** Estos suelos tienen una capacidad de infiltración moderada cuando están saturados. Generalmente son suelos bien drenados, de profundidad media a alta, con texturas que varían de moderadamente finas a gruesas, como franco, franco-arenosos o arenosos.
- **Grupo C:** Se caracterizan por una baja capacidad de infiltración cuando están saturados, con texturas que van de moderadamente finas a finas. Estos suelos incluyen aquellos con características impermeables, como los franco-arcillosos o arcillosos.
- **Grupo D:** Son suelos arcillosos con muy alta tendencia al escurrimiento y una capacidad de infiltración extremadamente baja cuando están saturados. En este grupo también se incluyen suelos que presentan una capa superficial de arcilla muy impermeable o suelos jóvenes con poca profundidad.

3.3. Definición de términos

1. Cobertura vegetal

El Sistema Nacional de Información Ambiental SINIA (2019) se define a la Cobertura Vegetal como la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos.

2. Suelo

INIA (2015) define el suelo como una “capa superficial de la tierra y constituye el medio en el cual crecen las plantas. Es capaz de aportar los nutrientes fundamentales para el crecimiento de los vegetales y almacenar agua de lluvias

cediéndola a las plantas a medida que la necesitan”.

También se precisa como “cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua”. (FAO, s.f.)

3. Escorrentía

Como afirma Valdivieso (2020) es un proceso físico que consiste en el escurrimiento del agua de lluvia por la red de drenaje hasta alcanzar la red fluvial.

La escorrentía es uno de los procesos básicos que se incluye en el ciclo del agua.

Sin embargo, Ruiz y Martínez lo definen de la siguiente manera:

Toda el agua transportada fuera de una cuenca hidrográfica por los cursos superficiales (ríos y arroyos). Parte de esta agua procede de la escorrentía superficial, mientras que otra parte puede haberse originado a partir de la infiltración y el transporte a través del suelo (flujo subsuperficial) hasta su desembocadura en el río. (Ruiz & Martínez, 2015).

La escorrentía es considerada importante para “la planificación de recursos hídricos y en diseño de obras. En manejo de cuencas es muy importante puesto que ella es un reflejo del comportamiento y estado de una cuenca. (Rojas, 2009)

4. Percolación:

“La percolación se define como el flujo de un líquido a través de un medio poroso saturado, por ejemplo de agua en el suelo, bajo la acción de la gravedad. Este movimiento es generalmente lento y da origen al nivel freático que corresponde a la superficie que separa la zona saturada de la zona de aireación” de acuerdo con (Martínez de Azagra y Navarro, 1996 citado por Chacón, 2003).

“La percolación (paso lento de fluidos a través de un material poroso) se produce a favor de la gravedad, como la escorrentía superficial, y se puede producir de dos formas:

- En zonas vadosas (no saturadas de agua), como las rocas calizas karstificadas, la circulación del agua siempre se produce pendiente abajo.
- En los acuíferos, el agua intersticial que ocupa los poros de una roca permeable puede llegar a ascender por fenómenos relacionados con la presión y por la capilaridad.” (Ballarín, s.f.)

5. Infiltración:

Es el proceso por el cual el agua circula a lo largo de un perfil de suelo (desde la superficie de la tierra hacia abajo) en este caso, desplazándose desde la superficie a través de sus diferentes horizontes. Inicia en la capa orgánica (O) y superficial (A), donde humedece el suelo y abastece de agua a la vegetación; puede atravesar la zona de eluviación (E) y alcanzar el horizonte de acumulación (B), donde parte del agua se almacena temporalmente. Finalmente, desciende hacia el material parental (C) y, en algunos casos, hasta la roca madre (R), recargando acuíferos y contribuyendo al flujo base de los ríos en épocas de sequía, lo que repone la humedad del suelo, recarga los acuíferos y mantiene el flujo del río durante tiempos de sequía. Este concepto debe distinguirse del concepto de permeación, es decir, el movimiento del agua en el suelo. (Ruiz & Martínez, s.f.). Cuenta con tres fases:

- Intercambio: Ocurre en la parte superior del suelo, donde el agua puede regresar a la atmósfera por evaporación debido al movimiento capilar o la transpiración de las plantas.
- Transmisión: Esto sucede cuando la acción de la gravedad prevalece sobre la acción de la capilaridad y obliga al agua a moverse verticalmente hasta encontrar una capa impermeable.
- Circulación: Esto es cuando el agua se acumula en el subsuelo debido a su capa impermeable y comienza a circular debido al impacto por la gravedad, respetando la ley del flujo subterráneo.

6. Interflujo:

Conocido también como flujo subsuperficial descrito así por Breña (2006) es el porcentaje del agua infiltrada podrá desplazarse en forma lateral a través del material dispuesto abajo de la superficie del terreno.

7. Caudal base:

Es proviene de los aportes del acuífero o, lo que es lo mismo, de la escorrentía subterránea durante los periodos de estiaje o aguas bajas.

El flujo base está relacionado con el agua subterránea almacenamiento y la suposición general es que el flujo de salida del acuífero en un curso sin recarga tiene una relación lineal con su almacenamiento.

8. Reservorio Subsuperficial

Es una formación geológica o un espacio debajo de la superficie terrestre que almacena agua. A diferencia de los reservorios superficiales, como lagos o embalses, estos reservorios almacenan agua bajo tierra, generalmente en acuíferos o en estratos permeables, como arena, grava o roca fracturada. El agua en estos reservorios sub-superficiales puede provenir de la infiltración de precipitación, ríos, o cuerpos de agua superficiales, y puede ser extraída mediante pozos o drenes subterráneos. (Werner, 1996).

Juegan un papel crucial al servir como una fuente natural de almacenamiento de agua, regulando el caudal hacia los ríos y preservando la humedad en el suelo, lo cual es esencial en las épocas de sequía.

9. Pajonales:

MINAM (2019) define como “Ecosistema altoandino con vegetación herbácea, que puede ocupar terrenos planos u ondulados o colinas de pendiente suave a moderada; el suelo tiene textura areno-limosa con bajo contenido de materia orgánica; cobertura de suelo inferior al 35 %, altura máxima general mente no supera 1,5 metros”.

Este tipo de cobertura vegetal está conformado mayormente por herbazales ubicado en la porción superior de la cordillera de los andes, aproximadamente entre 3800 y 4800 m. s. n. m. Se desarrolla sobre terrenos que van desde casi planos como en las altiplanicies hasta empinados o escarpado, en las depresiones y fondo de valles glaciares. SERFOR (2020).

10. Bofedales:

“Ecosistema andino hidromórfico con vegetación herbácea de tipo hidrófila, que se presenta en los Andes sobre suelos planos, en depresiones o ligeramente inclinados, permanentemente inundados o saturados de agua corriente; los suelos orgánicos pueden ser profundos (turba). Su vegetación es densa y compacta siempre verde, de porte almohadillado o en cojín; la fisonomía de la vegetación corresponde a herbazales de 0.1 a 0.5 metros”. (MINAM, 2019)

En el Perú es considerado como un ecosistema descuidado o desconocido, sin embargo, ocupa superficie aproximada de 0.42% (548,174.41 ha) del territorio distribuido en los departamentos de Cajamarca, Piura, La Libertad, Ancash, Lima, Junín, Pasco, Huancavelica, Ayacucho, Apurímac, Arequipa, Cusco, Puno, Moquegua y Tacna. (MINAM, 2019 citado por Grey, 2020).

11. Bosques Nativos

MINAGRI (2014) Define como bosque formado por especies autóctonas, provenientes de generación natural, regeneración natural, o plantación bajo dosel con las mismas especies existentes en el área de distribución original, que pueden tener presencia accidental de especies exóticas distribuidas al azar.

12. ETR (Evapotranspiración Real)

Allen, Pereira, Raes y Smith (1998) señalan que la evapotranspiración real representa la cantidad de agua que realmente se evapora y transpira en condiciones climáticas actuales y disponibles de humedad del suelo, en contraste con la evapotranspiración potencial, que sería la máxima bajo condiciones ideales

de humedad. Por otro lado, la evapotranspiración real está directamente relacionada con las condiciones locales del suelo y la vegetación, incluyendo la humedad del suelo, el tipo de cultivo y el clima. (Doorenbos & Pruitt, 1977)

13. Número de curva (CN)

Es un parámetro hidrológico que permite caracterizar el potencial de escorrentía en una cuenca hidrográfica y se determina a partir de algunas características físicas del territorio como el tipo, la densidad y el tratamiento de las coberturas, así como por el grupo hidrológico de suelo. (Díaz & Mercado, 2017).

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

Diseño

La investigación es de diseño no experimental, el cual se realiza sin manipular deliberadamente la variable, es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural para después ser analizado. (Hernandez-Sampieri, 1994).

Enfoque

Enfoque cuantitativo, según Hernández-Sampieri (2014) este enfoque utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

Tipo

Es de tipo básico, cuya investigación se enfoca en ampliar el conocimiento científico y teórico sobre un área determinada sin tener en cuenta su aplicación práctica inmediata como indica Cruz (2020) citado por Vizcaino et al. (2023), además se realiza con el propósito de expandir el acervo de conocimientos en una determinada disciplina y no se centra en resolver problemas específicos. (Ballestín y Fàbregues, 2019 citados por Vizcaino et al., 2023).

Nivel

Investigación de nivel descriptivo, este nivel o alcance de investigación tiene como objetivo describir algunas características fundamentales de conjuntos homogéneos de fenómenos, utiliza criterios sistemáticos que permiten establecer la estructura o el comportamiento de los fenómenos en estudio, proporcionando información sistemática y comparable con la de otras fuentes, (Martínez, 2019 citado por Guevara et al., 2020).

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Ámbito temporal

La toma de muestras se desarrolló en el año 2024, tal como se indica.

4.2.2. Ámbito espacial

El presente proyecto de tesis tiene lugar de investigación en el sector Ornado, en el C.P Llañucancho el cual pertenece a la U.H. Marcahuasi, el cual cuenta con área de 20.01 km², ubicándose la cota máxima en 4150 msnm y la cota mínima 2600 msnm, tal como lo indica Contreras (2017) en el estudio “Delimitación de la faja marginal de las quebradas afluentes al río Mariño, en el ámbito del distrito de Abancay” realizado por la ANA. La U.H. forma a su vez, parte de la Microcuenca Mariño.

La altitud del área de intervención en el sector Ornado fluctúa entre los 3953 a 4014 m.s.n.m en su punto más alto, el sector cuenta con las siguientes coordenadas, ubicadas en el centro del área delimitada:

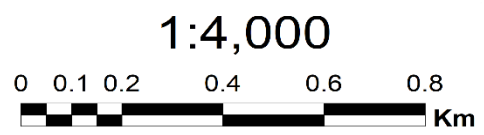
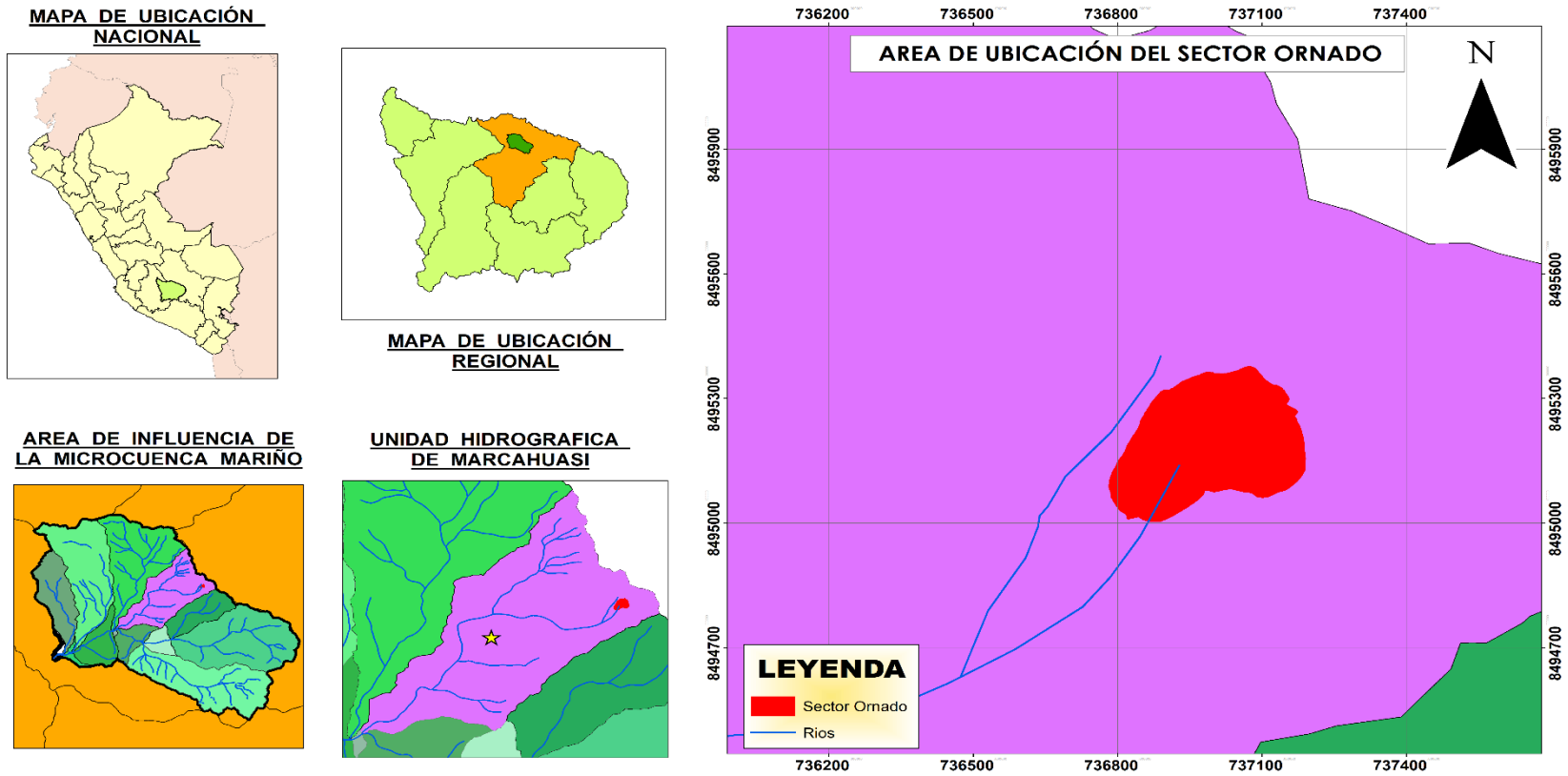
Ubicación geográfica UTM:

- Este: 736910
- Norte: 8495180

En la Figura 1, se puede apreciar el mapa de ubicación geográfica del área de intervención.

Figura 1

Mapa de ubicación de zona de estudio ubicado en el sector Ornado



NOMBRE DEL PROYECTO:
 CUANTIFICAR LA OFERTA HÍDRICA MEDIANTE LA METODOLOGÍA CUBHIC EN ECOSISTEMAS A PARTIR DE CONDICIONES HIDROLÓGICAS DEL SECTOR ORNADO, LLAÑUCANCHA – ABANCAY - 2024

ELABORADO POR:
 WINNIE MAITE RIVEROS HILARES

UBICACIÓN

DISTRITO:	ABANCAY
PROVINCIA:	ABANCAY
REGIÓN:	APURÍMAC

PLANO:
 AREA DE UBICACIÓN DEL SECTOR ORNADO

SISTEMA DE COORDENADAS	ESCALA
PROYECCIÓN: UTM	1/50
ZONA: 18 Sur	FECHA:
COORDENADAS: UTM-84	2025

Nota: En el mapa presente se tiene ubicado el sector Ornado en el C.P. LlañucanCHA, área principal de intervención, se ubica en la U.H. Marcahuasi perteneciente a la microcuenca Mariño. Elaboración propia

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

El lugar de intervención es el sector Ornado, el cual se ha delimitado y cuenta con un área de 10.5 ha.

4.3.2. Muestra

Como muestra se ha tomado en cuenta 5 puntos de cada ecosistema, para ello los ecosistemas fueron delimitados y presentan sus respectivas áreas:

- Ecosistema de pajonal – 1.50 ha – 5 puntos
- Ecosistema de bofedal – 1.11 ha – 5 puntos
- Ecosistema de bosque nativo – 0.86 ha – 5 puntos

Para cada área, se han considerado 5 puntos para realizar las respectivas pruebas de infiltración, en total son 15 puntos, cuyas coordenadas se encuentran en la Tabla 4.

4.3.3. Muestreo

La investigación cuenta el muestreo tiene un enfoque no probabilístico por conveniencia. Como manifiesta Hernández, (2020) la muestra se elige de acuerdo con la conveniencia de investigador, le permite elegir de manera arbitraria. En la investigación se han considerado 5 puntos por cada ecosistema identificado.

4.4. Instrumentos

Se ha empleado lo siguiente:

- Ficha de campo para datos de una prueba de infiltración: esta plantilla sirvió para la recopilación de las lecturas de campo. A su vez fue evidenciada con fotografías tomadas en el lugar y momento de recolección de datos. (ANEXO 1).
- Metodología CUBHIC: este instrumento sirvió para poder procesar datos tomados en campo y datos secundarios. Se puede acceder libremente en el enlace ubicado en la Tabla 2.

Tabla 2*Técnicas e instrumentos*

Variables	Fuente	Técnica	Instrumentos
Variable 1: Condiciones hidrológicas	Delgadillo O., (2016)	Observación directa	Ficha de campo para datos de una prueba de infiltración
Variable 2: Oferta hídrica	Forest Trends (2022) https://www.forest-trends.org/publications/cubhic-2-0/	Observación directa	Metodología CUBHIC

Nota: Técnica e instrumentos para cada variable.

Para realizar la prueba de infiltración, se utilizaron los siguientes instrumentos:

- 2 juegos de doble anilla (interno y externo)
- GPS (sistema de posicionamiento global).
- Cronometro.
- Combo de goma
- Nivel de albañil
- Flexómetro
- 2 reglas de 30 cm
- Bolsas plásticas
- Recipientes de 20 litros de volumen.
- Cámara fotográfica.
- Planilla de campo

4.5. Procedimientos

Se ha realizado el procedimiento de la investigación de la siguiente manera:

- **Primer paso**

Para dar inicio con la ejecución del proyecto de tesis que lleva por título “Cuantificar la oferta hídrica mediante la metodología CUBHIC en ecosistemas a partir de condiciones hidrológicas del Sector Ornado, Llañucancha – Abancay - 2024”.

- **Segundo paso**

Se solicitó permiso a la comunidad mediante una solicitud emitida por la EPIARN, de tal manera de realizar el proceso de manera formal para con la población. La solicitud de permiso fue concedida por la escuela en el cual se me presenta como tesista interesada en acudir al lugar para ejecutar mi proyecto. El presidente de la

comunidad junto con algunos integrantes de su junta directiva, cedieron el permiso correspondiente para poder realizar las visitas a fin de recaudar los datos requeridos para la investigación.

- **Tercer paso**

La recopilación de los datos, se iniciaron en el mes de junio del 2024, dado que el suelo se encontraba con un tiempo prudente de haber escampado después de la temporada de lluvias, es necesario indicar que la toma de datos se realiza en tiempo de estiaje o sequía para que los datos no sean erróneos.

Para adquirir los datos que se necesitan, se ha empleado el método de la doble anilla, para ello se utilizó el texto de apoyo de (Delgadillo O., 2016) como guía. A continuación, se detalla más el procedimiento.

- a. **Procedimiento en campo**

A continuación, se explica paso a paso que procedimientos se tomaron en cuenta para la recopilación de datos en campo o *in situ*.

- **Método de doble anilla**

El método de la doble anilla se emplea para evaluar la permeabilidad del suelo, simulando el proceso de infiltración del agua. Este procedimiento consiste en instalar dos anillos, uno dentro del otro, siendo el anillo externo de mayor tamaño. Generalmente, el anillo externo tiene un diámetro de 60 cm, mientras que el interno mide 30 cm. Ambos anillos se llenan con agua, y se monitorea el descenso del nivel en el anillo interno. Este diseño minimiza el flujo lateral del agua, ya que la infiltración en el anillo externo favorece un movimiento predominantemente vertical en el interno, lo que permite obtener resultados más precisos.

- **Notas preliminares**

Es fundamental registrar previamente algunas características del lugar donde se realizará la prueba. Entre ellas, la ubicación exacta del lugar que será intervenido, las condiciones de la superficie del suelo (la vegetación

presente, la existencia de grietas o el nivel de humedad), y si se han llevado a cabo prácticas agrícolas recientes, entre otros aspectos importantes.

➤ **Precauciones para toma de muestras**

Para garantizar los resultados se recomienda contar con todos los instrumentos antes mencionados, seleccionar cuidadosamente el punto de donde se pretende obtener datos, verificando las condiciones y características del suelo, por otro lado, se debe considerar la distancia del lugar de aprovisionamiento de agua para considerar algunas medidas a fin de reducir el tiempo que implica conseguir el agua necesaria; considerando lo descrito nos facilita la fiabilidad y eficiencia de los resultados.

➤ **Provisión de agua**

Es fundamental contar con agua disponible ya sea de cuerpos de agua cercano al punto determinado, este punto es crucial para llevar a cabo la prueba, por lo que es necesario contar con la cantidad adecuada de agua para asegurar su correcta finalización. Alternativamente, se debe identificar con antelación una fuente cercana de abastecimiento.

➤ **Otras recomendaciones**

Es recomendable realizar una limpieza al área donde se instalará el infiltrómetro, evitando dañar las condiciones originales del suelo, es necesario retirar el material vegetal grueso y otro tipo de residuos que se encuentren en la zona.

Se han descrito algunas sugerencias a tomar en cuenta antes de realizar los siguientes procedimientos:

➤ **Identificación del área**

Se han identificado 3 ecosistemas: pajonal, bofedal y bosque nativo, de los cuales se obtendrán datos. Se han considerado 15 puntos de muestreo en total:

- Pajonal: 5 puntos
- Bofedal: 5 puntos
- Bosque nativo: 5 puntos

Los 15 puntos se han elegido aleatoriamente en el área de trabajo.

➤ **Instalación del dispositivo de aforo**

Se ha considerado la instalación de dos reglas graduadas de 30 cm para los dos juegos de cilindros. Deben instalarse antes de colocar las anillas para después utilizar el plástico en la anilla interior. En este caso, la medición será directa, ya que el nivel del agua se registrará directamente sobre la regla graduada.

➤ **Instalación de las anillas**

Este procedimiento debe realizarse con mucha cautela ya que de no instalarse correctamente se tiene el riesgo de presentar alguna fuga de agua, lo que obligaría a tener que repetir la instalación.

Las reglas de 30 cm serán instaladas en la pared del anillo interno, teniendo en cuenta que el nivel horizontal cero es ideal, aunque no indispensable. ello para poder realizar las mediciones correspondientes.

Las anillas se clavan en un terreno plano, este debe ser previamente adecuado en cuanto a limpieza y nivelación del terreno, para poder instalar las anillas, se utilizarán una comba de goma para realizar golpes. Los anillos deben instalarse de manera concéntrica. Es importante asegurarse de que se introduzcan al menos 10 cm de profundidad, ya que esto es clave para el éxito de la prueba.

➤ **Vertido de agua**

Se vierte agua en ambos compartimentos creados por la disposición de las anillas. El espacio entre ambas anillas se denomina "zona de amortiguación", mientras que el área central se llama "anilla interna" o "zona

de medición". Primero, se coloca el plástico en la anilla interna, asegurándose de que no permita filtraciones, y luego se agrega 30 cm de agua en su interior.

A continuación, se vierte agua en la zona de amortiguación, asegurándose de que tenga la misma altura que en la anilla interna. Es importante evitar que el agua caiga directamente sobre el suelo, ya que esto podría erosionar la superficie y afectar la precisión de los datos. Luego, se retira el plástico y se espera unos segundos para que el agua se estabilice antes de comenzar las lecturas del nivel inicial, leyendo directamente en la regla ubicada en el interior de la anilla.

De acuerdo a la guía las lecturas iniciales deben hacerse con mayor frecuencia, tomando las primeras cinco lecturas cada minuto, ya que al principio el agua tiende a infiltrarse más rápidamente, y este ritmo disminuye gradualmente.

➤ **Lecturas**

La lectura es sencilla: se registra la altura del agua mientras desciende, la regla adherida a la pared de la anilla interna, en intervalos de tiempo previamente establecidos. Generalmente, los datos se recolectan durante un periodo de aproximadamente cinco horas. Estos datos deben ser anotados en la plantilla de la misma guía.

b. Recaudación de datos secundarios

➤ **Data meteorológica**

Se solicitó información al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) mediante una solicitud emitida por la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental. Se peticionó la data Hidrometeorológica de la Estación: Granja San Antonio del año 2022. Los datos solicitados fueron los siguientes:

- Precipitación diaria
- Temperatura máxima
- Temperatura mínima

Los datos proporcionados fueron representados en la Tabla 3.

Tabla 3

Datos meteorológicos de la EE.MM granja San Antonio - año 2022

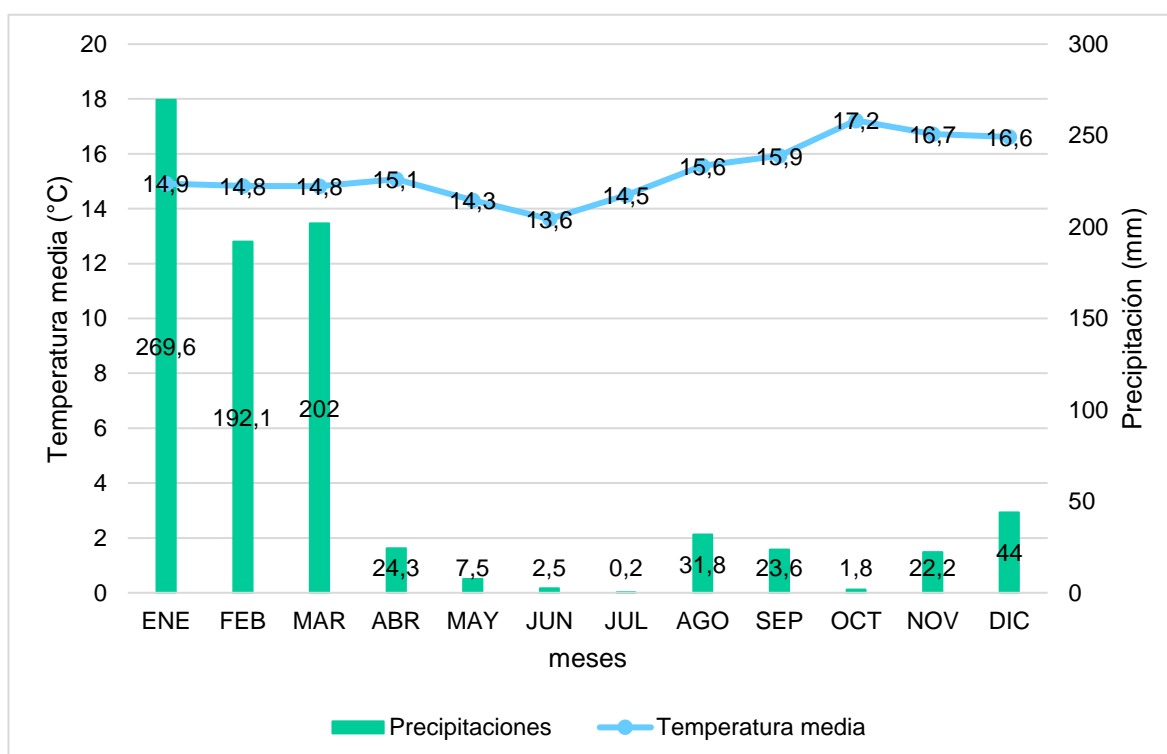
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Temperatura media	14.9	14.8	14.8	15.1	14.3	13.6	14.5	15.6	15.9	17.2	16.7	16.6
Precipitaciones	269.6	192.1	202	24.3	7.5	2.5	0.2	31.8	23.6	1.8	22.2	44

Nota: Data proporcionada por Senamhi. Elaboración propia

A su vez se realizó un climograma, representando la data solicitada.

Figura 1

Climograma de la EE.MM Granja San Antonio - 2022



Nota: Elaboración propia

El climograma presenta un alto nivel de precipitaciones en el mes de enero del 2022, con 269.6 mm y en el mes de julio solo presento 0.2 mm de precipitación. En tanto la temperatura durante el año 2022 se mantuvo entre 13.6 °C en el mes de junio y la temperatura más alta fue en octubre con 17.2 °C.

➤ **Información sobre Cobertura Vegetal**

La información requerida fue solicitada al Gobierno regional de Apurímac, Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente, proyecto “Ordenamiento Territorial”, al cual se pidió información documentaria y cartografía utilizada en el proyecto.

• **Cuarto paso:**

Al finalizar con la recolección de datos en campo y adquisición de data base, el siguiente paso fue realizar trabajo de gabinete, en el cual se procesaron los datos mediante cálculos y procedimientos establecidos en el texto de apoyo Delgadillo O., (2016) ello para determinar mediante cálculos matemáticos la infiltración mediante el método de la doble anilla.

a. Procesamiento de datos de campo

Consiste en lo siguiente:

- **Paso 1:** Determinar el tiempo acumulado, y lamina infiltrada en cada intervalo de tiempo y la cantidad acumulada de infiltración.
- **Paso 2.** Determinar los coeficientes necesarios para establecer la ecuación de la infiltración acumulada, utilizando el método de mínimos cuadrados o la hoja de cálculo de Microsoft Excel.
- **Paso 3.** Formular la ecuación para calcular la velocidad de infiltración instantánea.
- **Paso 4.** Calcular el tiempo necesario para alcanzar la velocidad de infiltración básica y dicha velocidad.

Se recomienda seguir el texto de apoyo, dado que se encuentra el procedimiento completo, el paso a paso y las fórmulas que se deben aplicar para obtener el resultado requerido.

Este procedimiento también nos permitirá la identificación del tipo de suelo que presentan los ecosistemas, ello mediante las formulas y cálculos respectivos brindados en el texto de apoyo.

b. Procesamiento de datos en CUBHIC

Las calculadoras de la metodología CUBHIC, se encuentran en la página de FOREST TRENDS, se comparte el link en la web. <https://www.forest-trends.org/publications/cubhic-2-0/>.

En esta página podemos observar que se encuentra un manual de texto, video instructivo y la calculadora en el cual se ingresaran la base de datos.

Dada el objetivo de la investigación, se han descargado únicamente tres calculadoras, las cuales son:

- Documento Metodológico: Bosques – CUBHIC (bosque nativo)
- Documento Metodológico: Pastizales – CUBHIC (pajonales)
- Documento Metodológico: Humedales – CUBHIC (bofedales)

Cada calculadora contiene hojas de cálculo, de las cuales solo en: **entradas, observaciones y escenarios**, se ingresan los datos recaudados.

- Entradas:

Se permite ingresar datos respecto a la situación de la cobertura vegetal de la zona, características del sitio y del suelo

- Observaciones:

Se requieren de los datos de: temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, los datos de evapotranspiración se auto calcularán debido a que estas calculadoras cuentan con formula predeterminadas, no hay necesidad de ingresar datos en este campo.

- **Escenarios:**

En esta hoja de cálculo, solo se van a considerar el área de los ecosistemas.

Teniendo referencia de ello se procede a la hoja **cálculos**, en el cual tendremos un cuadro que contará con varias columnas sin embargo solo se considerarán los siguientes datos:

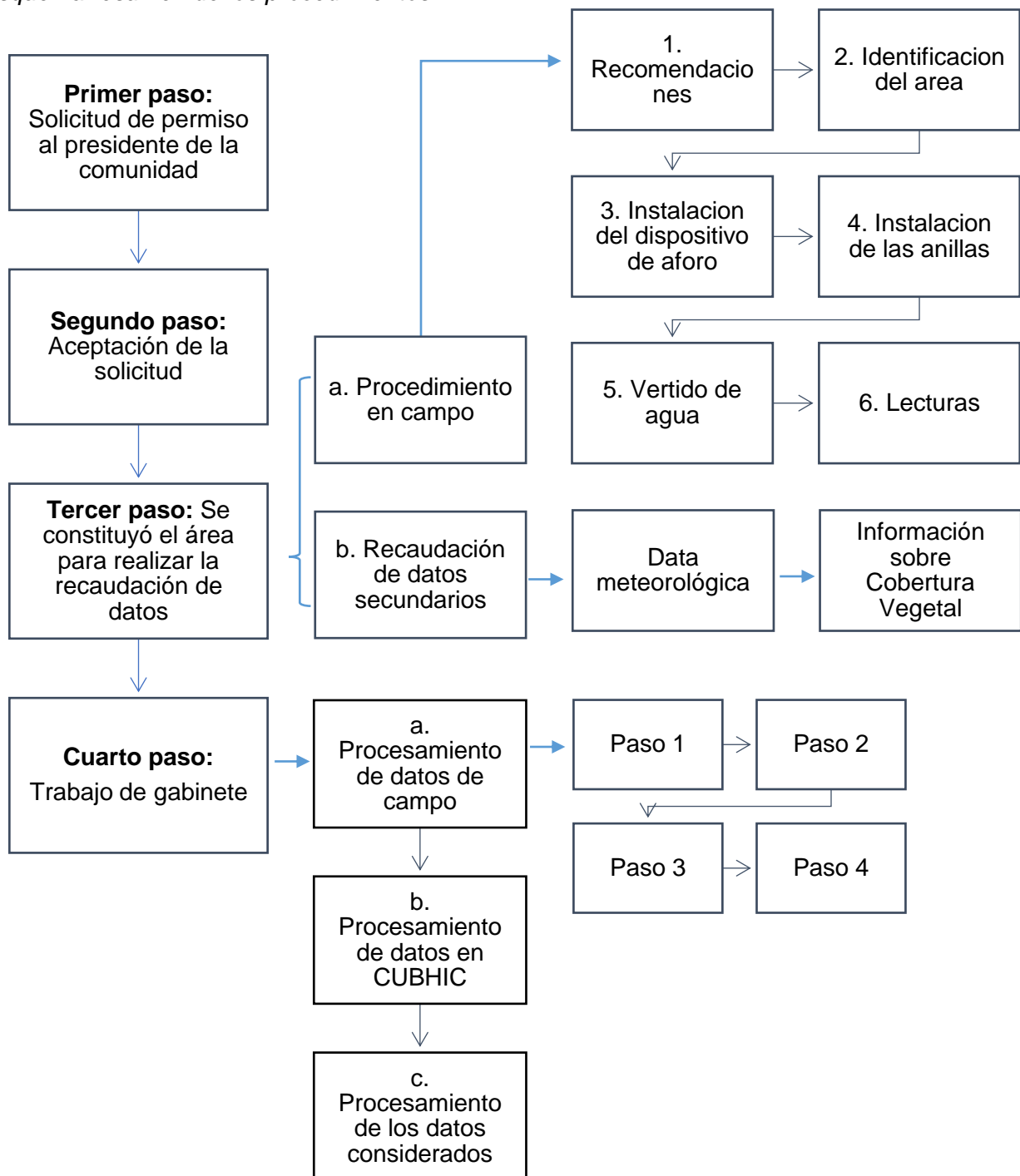
- Percolación (p)
- Interflujo (q_i)
- Reservorio subsuperficial (R_b)
- Caudal base (q_b)

c. Procesamiento de los datos considerados

Teniendo en cuenta que solo se van a necesitar cuatro datos, se procede a extraerlos para luego ser cuantificados para de acuerdo a ello obtener la respuesta de nuestro objetivo general.

Figura 2

Esquema resumen de los procedimientos



Nota: Esquema resumen del procedimiento aplicado en la presente investigación

4.6. Análisis de datos

Para el desarrollo del presente ítem, se describe el procedimiento realizado para obtener los resultados de acuerdo a los objetivos establecidos.

- Ubicación de los puntos de muestreo

Como se mencionó anteriormente se están considerando 15 puntos elegidos aleatoriamente en el terreno de interés, cuyas coordenadas se presentan a continuación:

Tabla 4

Ubicación de los puntos de intervención en los ecosistemas

Ecosistemas	N° de muestra	Coordenadas utm		Altitud (msnm)
		Este	Norte	
Pajonales	P1	737007	8495214	3982
	P2	736821	8495082	3958
	P3	736852	8495245	3971
	P4	736918	8495063	3968
	P5	736954	8495227	3974
Bofedales	P1	736895	8495087	3962
	P2	736917	8495178	3969
	P3	736923	8495258	3979
	P4	736872	8495171	3966
	P5	736931	8495144	3968
Bosque nativo (Queuña)	P1	736997	8495247	3981
	P2	737038	8495260	3991
	P3	736901	8495296	3983
	P4	736989	8495302	3993
	P5	736945	8495287	3987

Nota: Se muestran los quince puntos intervenidos con sus respectivas coordenadas

Se muestra en la tabla 4, ubicación de los puntos estimados para obtener los datos de infiltración. La ubicación exacta de los puntos se encuentra en el sector Ornado en el C.P. Llañucancho, ubicado dentro de la U.H. Marcahuasi.

En la misma tabla se encuentra las coordenadas UTM de los puntos y la altitud en la que se sitúan los 15 puntos.

Se han agrupado en 3: pajonales, bofedales y bosque nativo, a continuación, se describe el procedimiento para determinar el grupo hidrológico al que pertenece cada punto tomado.

4.6.1. Grupo hidrológico de suelos

Se menciona en la cartilla de divulgación de El servicio de programación y optimización del uso del agua de riego (2009) la infiltración varía según la textura de suelo debido a que esta será más rápida en suelos arenosos y más lenta en suelos arcillosos.

Para determinar el tipo de grupo hidrológico de suelo, para la recolección de datos se ha empleado lo siguiente:

Método de la doble anilla:

El método de la doble anilla, utilizado en esta investigación para poder determinar el grupo hidrológico de los suelos.

En los 15 puntos establecidos se ha seguido el procedimiento descrito en el apartado anterior.

A continuación, se presentan las tablas en donde se puede visualizar los datos tomados en campo, seguidamente se ha realizado el respectivo análisis de cada punto para describir el proceso de infiltración, hay que resaltar que el tiempo de toma de las muestras son de 325 min, 6 horas aproximadamente para cada punto sin embargo la toma de muestra se realiza en intervalos de tiempo que son indicados en el texto de apoyo.

➤ **Ecosistema de Pajonal**

- Punto 1

Se encuentra en una pendiente ligera, presencia de cobertura vegetal de pajonal alta.

Tabla 5

Ecosistema de pajonal – punto 1

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	28.5		1.5	1.5	1.5
1	2	27.5		1.0	2.5	1.0
1	3	26.8		0.7	3.2	0.7
1	4	26.1		0.7	3.9	0.7
1	5	25.1		1.0	4.9	1.0
5	10	22.6		2.5	7.4	0.5
5	15	20.6		2.0	9.4	0.4
10	25	16.8		3.8	13.2	0.4
10	35	14.3	30	2.5	15.7	0.3
15	50	25.7		4.3	20.0	0.3
15	65	21.5		4.2	24.2	0.3
30	95	15.2	30	6.3	30.5	0.2
30	125	23.7		6.3	36.8	0.2
60	185	14.9		8.8	45.6	0.1
80	265	7.7		7.2	52.8	0.1
60	325	3.5		4.2	57.0	0.1

Nota: Ficha de campo con datos del punto 1 del ecosistema pajonal. Elaboración propia

En el punto 1 del ecosistema pajonal, cuenta con información respecto al tiempo, lectura de escala, lámina e infiltración.

El nivel de agua inicial en el punto 1 es de 30 cm, el nivel va reduciendo un centímetro cada minuto aproximadamente, llegando al minuto 325 con 3.5 cm de nivel de

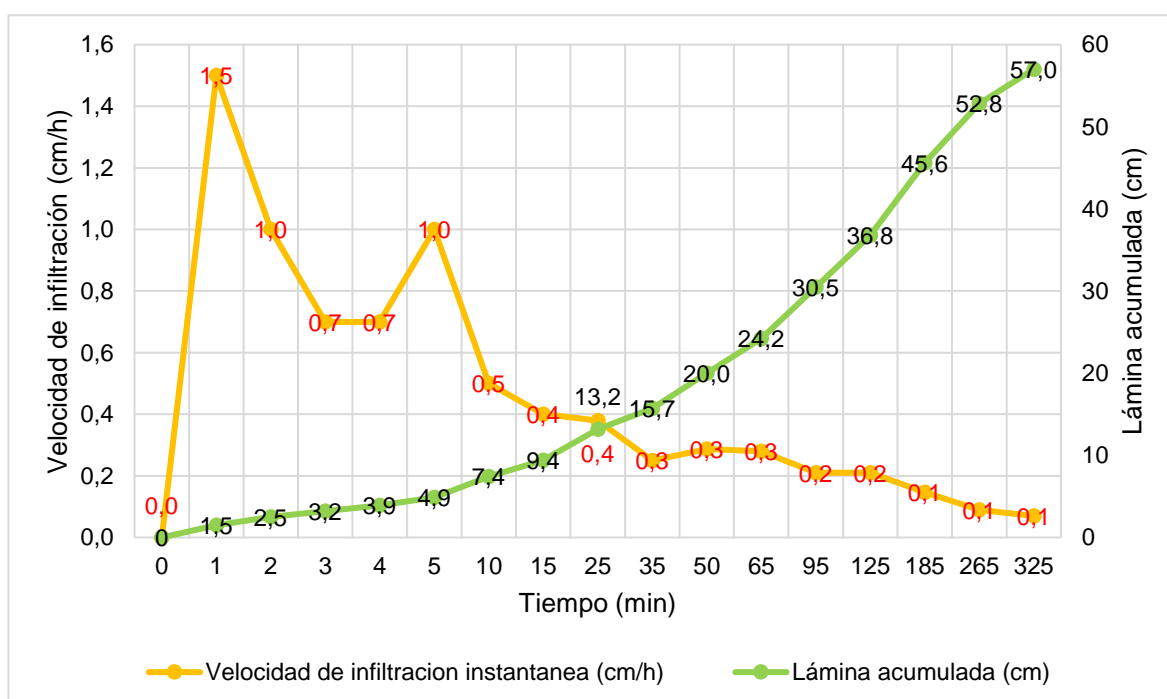
agua final. Sin embargo, se realizó recuperación de nivel de agua en dos oportunidades, ello para poder cumplir con el tiempo establecido en el texto de apoyo.

Cuenta con lámina acumulada inicial de 1.5. cm y el resultado final consta de 57 cm de lámina acumulada.

Seguidamente se analiza el gráfico, en el cual se detallarán la relación entre la velocidad de infiltración (cm/h) y la lámina acumulada (cm).

Figura 3

Infiltración del punto 1 - ecosistema de pajonal



Nota: Elaboración propia

En la Figura 3 se observa que la velocidad máxima de infiltración registrada es de 1,5 cm/min, alcanzada en los primeros instantes de la prueba, mientras que la velocidad mínima desciende hasta 0,1 mm/min al cumplirse los 325 minutos de monitoreo. La lámina acumulada de agua infiltrada presenta su valor máximo en el minuto 325, con 57 cm de almacenamiento total en el perfil del suelo.

Este comportamiento evidencia que, al inicio, el suelo presenta una elevada capacidad para absorber agua debido a la existencia de poros libres y la ausencia de saturación. Sin embargo, conforme avanza el tiempo, los poros se llenan progresivamente

y la tasa de infiltración disminuye, acercándose a una velocidad estable o casi constante. Esto responde al fenómeno conocido como infiltración decreciente, característico de muchos suelos no saturados, donde la infiltración inicial rápida es seguida por un descenso gradual hasta alcanzar una velocidad de infiltración básica.

La reducción progresiva de la velocidad indica que la capacidad de infiltración del suelo depende tanto de sus propiedades físicas (textura, estructura, porosidad, compactación) como del grado de humedad previo y de la saturación alcanzada durante el ensayo.

- Punto 2

Se ubica en una zona con buena cobertura vegetal, presente también en una pendiente.

Tabla 6

Ecosistema de pajonal – punto 2

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	26.5		3.5	3.5	3.5
1	2	24.0		2.5	6.0	2.5
1	3	21.2		2.8	8.8	2.8
1	4	19.0		2.2	11.0	2.2
1	5	16.7		2.3	13.3	2.3
5	10	7.5	30	9.2	22.5	1.8
5	15	22.7		7.3	29.8	1.5
10	25	6.5	30	16.2	46.0	1.6
10	35	13.8	30	16.2	62.2	1.6
15	50	22.5		7.5	69.7	0.5
15	65	6.3	30	16.2	85.9	1.1
30	95	25.5		4.5	90.4	0.2
30	125	4.0	30	21.5	111.9	0.7
60	185	15.0	30	15.0	126.9	0.3
80	265	14.5	30	15.5	142.4	0.2
60	325	20.6		9.4	151.8	0.2

Nota: Ficha de campo con datos del punto 2 del ecosistema pajonal

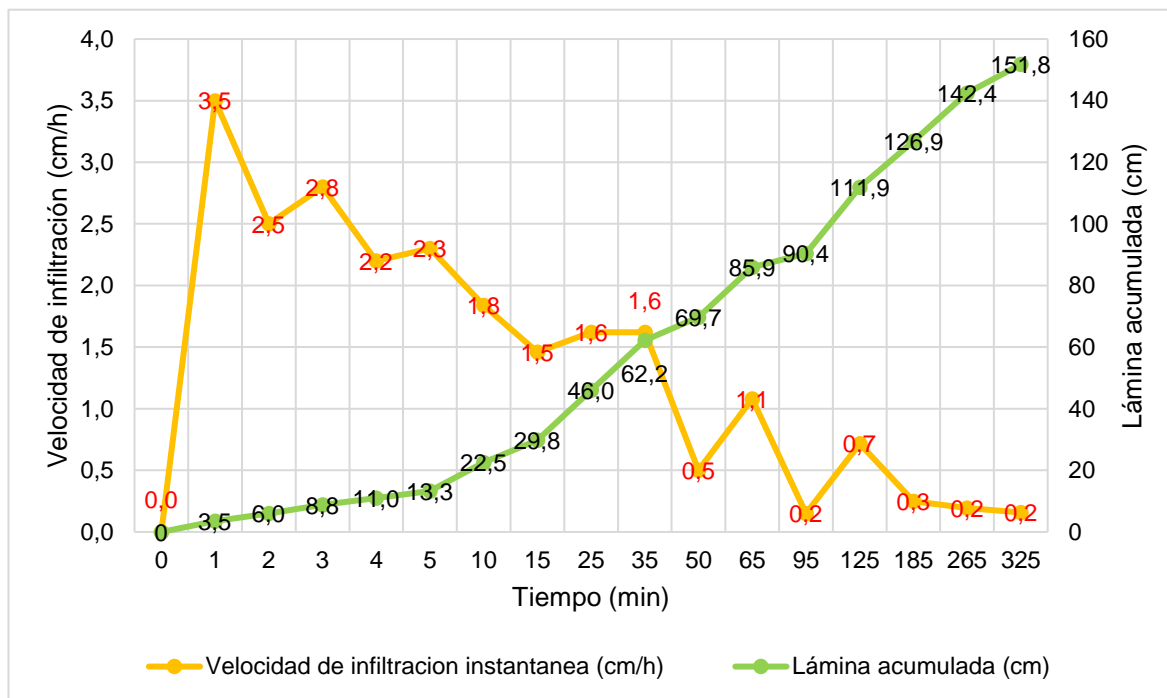
En el punto 2, igualmente se inicia con el nivel de agua de 30 cm, va reduciendo de 2 a 3 centímetros cada minuto aproximadamente, llegando al minuto 325 con 20.6 cm de nivel de agua final. Debido a la rápida infiltración de agua, se ha requerido realizar la recuperación de agua.

La lamina acumulada inicia con 3.5 cm y finaliza en 325 minutos con 151.8 de almacenamiento.

Seguidamente se analiza el gráfico, en el cual se detallarán la diferencia entre la velocidad de infiltración (cm/h) y la lámina acumulada (cm).

Figura 4

Infiltración del punto 2 - ecosistema de pajonal



Nota: Elaboración propia

En la Figura 4 se muestra que la velocidad máxima de infiltración es de 3,5 cm/min, alcanzada durante el primer minuto de la prueba. Por otro lado, la velocidad mínima desciende hasta 0,2 mm/min luego de transcurridos 325 minutos desde el inicio del ensayo. En ese mismo tiempo, la lámina acumulada de agua infiltrada llega a un valor máximo de 151,8 cm, reflejando el total de agua que ha sido absorbida por el suelo.

Este comportamiento indica que la velocidad con la que el agua penetra en el suelo disminuye conforme pasa el tiempo, debido a que los poros del suelo se van saturando y reducen su capacidad de absorción. Por lo tanto, la infiltración es rápida al inicio, pero se ralentiza a medida que el suelo se acerca a su capacidad máxima de almacenamiento. Esta dinámica es común en suelos con propiedades físicas específicas que limitan la absorción prolongada.

- Punto 3

Ubicada en una zona plana, presenta buena cobertura vegetal.

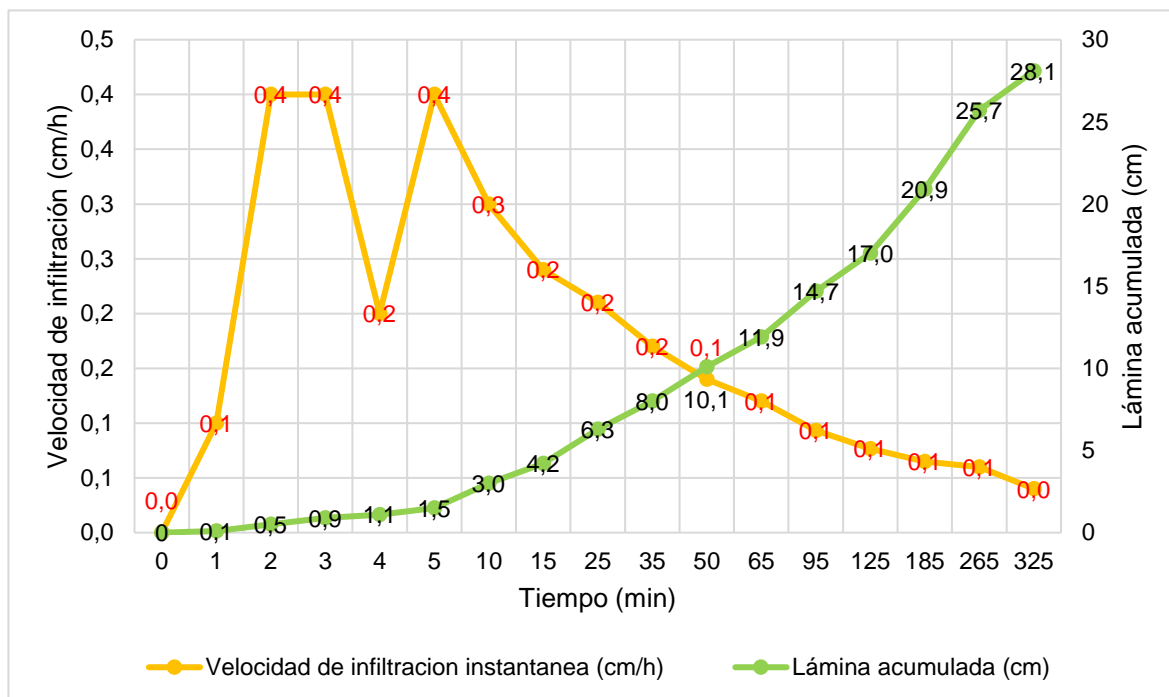
Tabla 7

Ecosistema de pajonal – punto 3

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	29.9		0.1	0.1	0.1
1	2	29.5		0.4	0.5	0.4
1	3	29.1		0.4	0.9	0.4
1	4	28.9		0.2	1.1	0.2
1	5	28.5		0.4	1.5	0.4
5	10	27.0		1.5	3.0	0.3
5	15	25.8		1.2	4.2	0.2
10	25	23.7		2.1	6.3	0.2
10	35	22.0		1.7	8.0	0.2
15	50	19.9		2.1	10.1	0.1
15	65	18.1		1.8	11.9	0.1
30	95	15.3		2.8	14.7	0.1
30	125	13.0		2.3	17.0	0.1
60	185	9.1		3.9	20.9	0.1
80	265	4.3		4.8	25.7	0.1
60	325	1.9		2.4	28.1	0.0

Nota: Ficha de campo con datos del punto 3 del ecosistema pajonal. Elaboración propia

En el punto 3, el nivel inicial de agua es de 30 cm, que va disminuyendo gradualmente a una tasa de aproximadamente 0,3 a 0,4 mm/min, hasta llegar a un nivel final de 1,9 cm al minuto 325. En este caso, no se ha realizado recuperación de agua durante el periodo de medición. La lámina acumulada de infiltración comienza en 0,1 cm y alcanza un total de 28,1 cm al finalizar, reflejando la cantidad de agua absorbida por el suelo a lo largo del tiempo. Esto indica una disminución progresiva del nivel de agua, acorde con la capacidad de infiltración del terreno.

Figura 5*Infiltración del punto 3 - ecosistema de pajonal*

Nota: Elaboración propia

En la Figura 5 se observa que la velocidad de infiltración alcanza su valor máximo de 0,4 mm/min en el primer minuto, manteniéndose constante hasta el minuto 2 y presentando un nuevo pico igual en el minuto 5. Sin embargo, a medida que avanza el tiempo, la tasa de infiltración disminuye progresivamente, hasta llegar a un valor mínimo de 0 mm/min al cumplirse los 325 minutos de medición.

Este comportamiento refleja claramente que la rapidez con la que el agua penetra en el suelo disminuye significativamente con el paso del tiempo. La caída hasta cero indica que el suelo ha alcanzado un punto de saturación o bloqueo, en el que prácticamente no es capaz de absorber más agua. Esto evidencia la reducción en la capacidad de infiltración y almacenamiento del suelo conforme se llena su perfil, un fenómeno habitual en procesos hidrológicos de suelos con baja permeabilidad o alta retención de humedad.

- Punto 4

Se encuentra en una zona con presencia de pajonales y pequeños musgos.

Tabla 8

Ecosistema de pajonal – punto 4

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	27.9		2.1	2.1	2.1
1	2	25.5		2.4	4.5	2.4
1	3	23.3		2.2	6.7	2.2
1	4	21.8		1.5	8.2	1.5
1	5	20.7		1.1	9.3	1.1
5	10	17.6		3.1	12.4	0.6
5	15	14.8		2.8	15.2	0.6
10	25	9.9	30	4.9	20.1	0.5
10	35	28.1		1.9	22.0	0.2
15	50	23.8		4.3	26.3	0.3
15	65	18.5		5.3	31.6	0.4
30	95	11.8		6.7	38.3	0.2
30	125	6.6	30	5.2	43.5	0.2
60	185	17.8		12.2	55.7	0.2
80	265	3.7	30	14.1	69.8	0.2
60	325	14.7		15.3	85.1	0.3

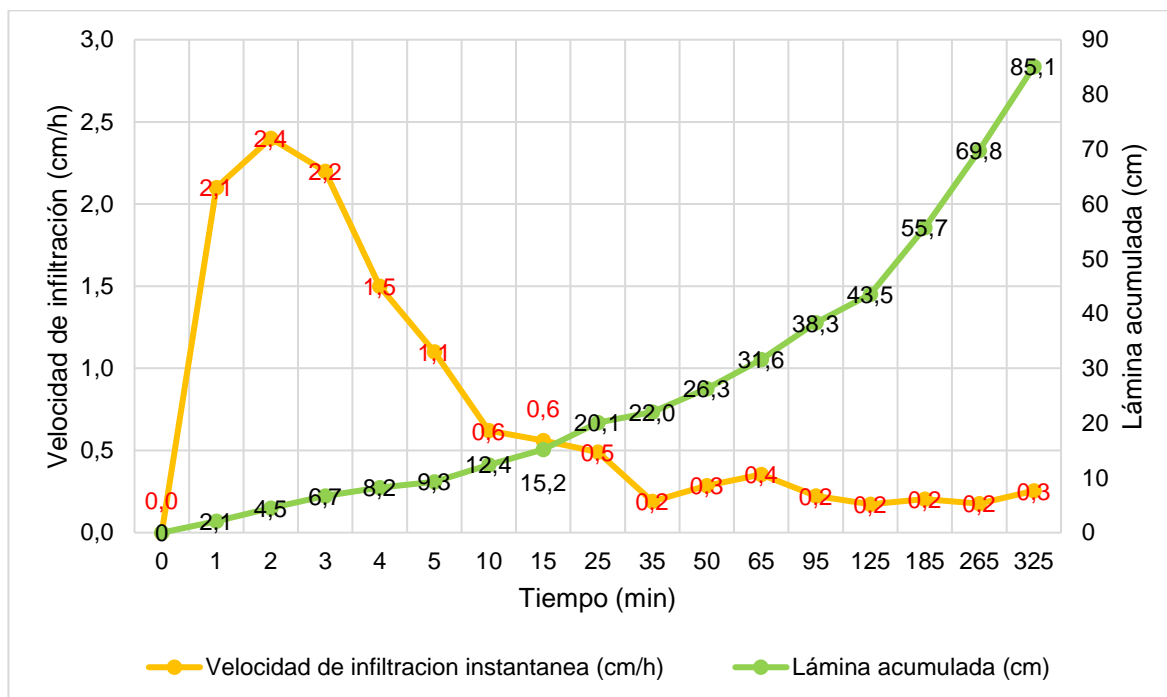
Nota: Ficha de campo con datos del punto 4 del ecosistema pajonal. Elaboración propia

En el punto 4, el nivel inicial de agua es de 30 cm, que se reduce a una tasa aproximada de 2 a 3 cm por minuto, llegando a un nivel final de 14,7 cm al minuto 325. Debido a la alta velocidad de infiltración registrada, se llevó a cabo la recuperación del nivel de agua para mantener la medición. Este comportamiento refleja una disminución significativa del nivel de agua, evidenciando una rápida absorción por el suelo durante el

periodo de estudio. Inicialmente la lámina acumulada tiene 2.1 cm y finaliza con 85.1 cm de acumulación.

Figura 6

Infiltración del punto 4 - ecosistema de pajonal



Nota: Elaboración propia

En la Figura 6 se observa que la velocidad de infiltración alcanza su valor máximo en el minuto 2, con una tasa de 2,4 cm/min, lo que indica un inicio rápido en la absorción del agua por el suelo. Por otro lado, los valores mínimos de infiltración, de 0,2 mm/min, se registran de forma intermitente en los minutos 35, 95, 125, 185 y 265, reflejando fluctuaciones en la capacidad del suelo para seguir absorbiendo agua a lo largo del tiempo. La lámina acumulada de agua infiltrada alcanza su punto más alto al minuto 325, con un total de 85,1 cm, lo que representa la cantidad máxima de agua almacenada en el perfil durante el período de medición.

Estos datos confirman que la velocidad de infiltración disminuye progresivamente conforme pasan las horas, evidenciando que la capacidad del suelo para absorber agua se reduce a medida que sus poros se saturan y el perfil se llena.

- Punto 5

La presencia de cobertura vegetal, además presenta pocos arbustos pequeños.

Tabla 9

Ecosistema de pajonal – punto 5

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	28.1		1.9	1.9	1.9
1	2	27.3		0.8	2.7	0.8
1	3	25.8		1.5	4.2	1.5
1	4	24.3		1.5	5.7	1.5
1	5	23.1		1.2	6.9	1.2
5	10	20.8		2.3	9.2	0.5
5	15	18.1		2.7	11.9	0.5
10	25	14.6		3.5	15.4	0.4
10	35	12.7		1.9	17.3	0.2
15	50	7.4	30	5.3	22.6	0.4
15	65	23.8		6.2	28.8	0.4
30	95	14.9		8.9	37.7	0.3
30	125	8.0	30	6.9	44.6	0.2
60	185	16.5		13.5	58.1	0.2
80	265	4.8	30	11.7	69.8	0.1
60	325	20.3		9.7	79.5	0.2

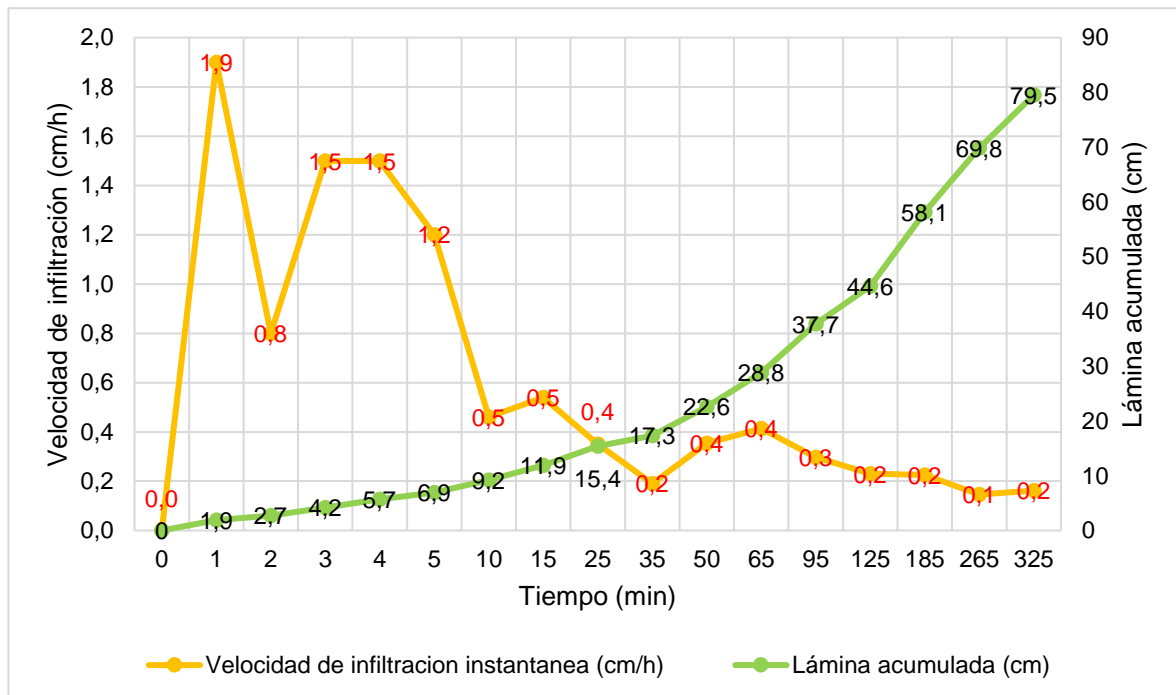
Nota: Ficha de campo con datos del punto 5 del ecosistema pajonal. Elaboración propia

En el punto 5, el nivel de agua disminuye a una tasa aproximada de 1 a 2 cm por minuto, alcanzando un nivel final de 20,3 cm al minuto 325. Debido a la velocidad con la que ocurre la infiltración, fue necesario realizar la recuperación del nivel de agua para garantizar la continuidad y precisión de la medición. Este comportamiento indica una

absorción constante y moderada del agua por parte del suelo durante el periodo de estudio. El nivel inicial de la lámina acumulada es de 1.9 cm y el nivel final es de 79.5 cm.

Figura 7

Infiltración del punto 5 - ecosistema de pajonal



Nota: Elaboración propia

En la Figura 7 se observa que la velocidad máxima de infiltración es de 1,9 cm/min, registrada en el primer minuto del ensayo. Por otro lado, el valor mínimo de infiltración desciende hasta 0,1 mm/min al cumplirse los 325 minutos de medición. Durante este período, la lámina acumulada de agua infiltrada alcanza un total de 79,5 cm, reflejando la cantidad de agua absorbida por el suelo.

Este comportamiento indica que la velocidad de infiltración disminuye progresivamente con el tiempo, lo que sugiere que la capacidad del suelo para absorber agua se reduce conforme avanza el proceso de saturación y llenado del perfil.

➤ **Ecosistema de Bofedal**

Considerando que se trata de un ecosistema en su mayoría húmedo, la mayoría de los puntos no llegan a infiltrar más de 1 cm.

- Punto 1

Ubicada en la cabecera de bofedal para así poder obtener resultados óptimos, en el que hay presencia sutil de pajonal.

Tabla 10

Ecosistema de bofedal – punto 1

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	29.2		0.8	0.8	0.8
1	2	28.5		0.7	1.5	0.7
1	3	28.0		0.5	2.0	0.5
1	4	27.5		0.5	2.5	0.5
1	5	27.2		0.3	2.8	0.3
5	10	25.2		2.0	4.8	0.4
5	15	23.6		1.6	6.4	0.3
10	25	21.1		2.5	8.9	0.3
10	35	18.8		2.3	11.2	0.2
15	50	16.0		2.8	14.0	0.2
15	65	13.5		2.5	16.5	0.2
30	95	9.6	30	3.9	20.4	0.1
30	125	25.1		4.9	25.3	0.2
60	185	18.7		6.4	31.7	0.1
80	265	13.6		5.1	36.8	0.1
60	325	9.4		4.2	41.0	0.1

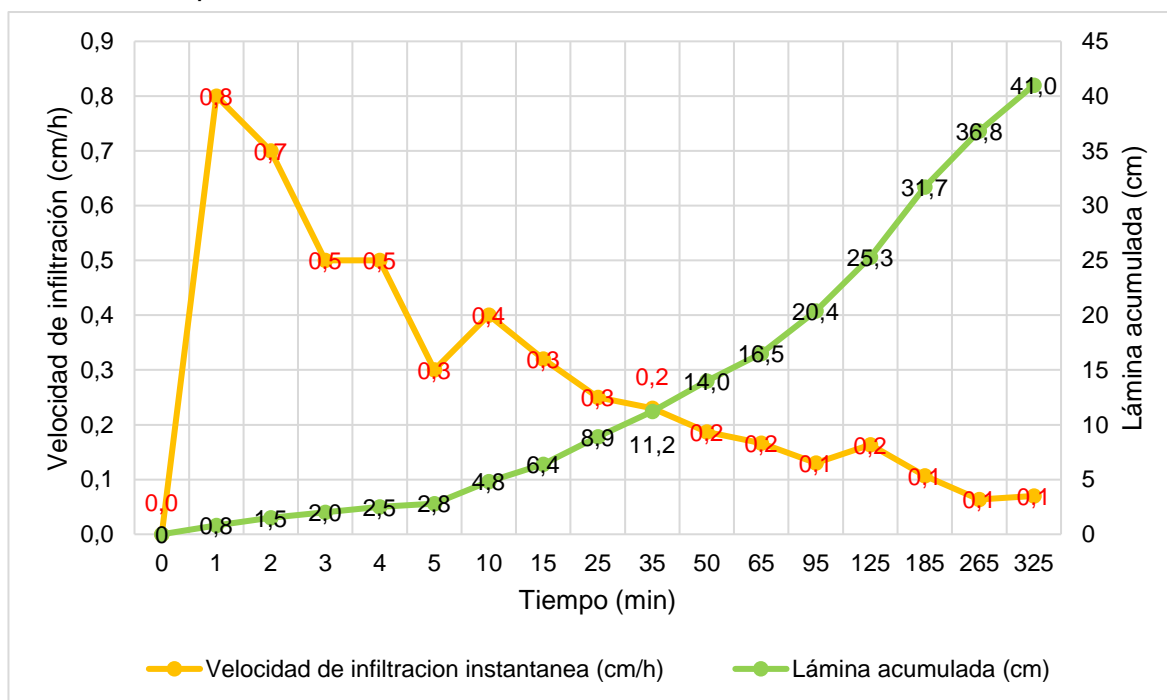
Nota: Ficha de campo con datos del punto 1 del ecosistema bofedal. Elaboración propia

En el punto 1, el nivel inicial de agua es de 30 cm, que disminuye aproximadamente 1 cm por minuto, alcanzando un nivel final de 9,4 cm al minuto 325. Según lo indicado en

la tabla, se realizó la recuperación del nivel de agua durante el proceso para asegurar la continuidad de la medición. Este descenso constante refleja una infiltración sostenida, mostrando la capacidad del suelo para absorber el agua en el tiempo registrado.

Figura 8

Infiltración del punto 1 - ecosistema de bofedal



Nota: Elaboración propia

En la Figura 8 se observa que la velocidad máxima de infiltración es de 0,8 mm/h, alcanzada durante el primer minuto de medición, mientras que el valor mínimo llega a 0 cm/h, indicando ausencia de infiltración en ciertos momentos. A lo largo del tiempo, la lámina acumulada de agua infiltrada alcanza un total de 41 cm, reflejando el almacenamiento máximo en el perfil del suelo.

Este patrón muestra que la velocidad de infiltración disminuye progresivamente conforme transcurre el tiempo, lo que indica que la capacidad del suelo para absorber agua se reduce a medida que se va saturando y se llena su capacidad de almacenamiento.

- Punto 2

Ubicado en cabecera de bofedal, cerca al bosque de queuña, ligera presencia de pajonales.

Tabla 11

Ecosistema de bofedal – punto 2

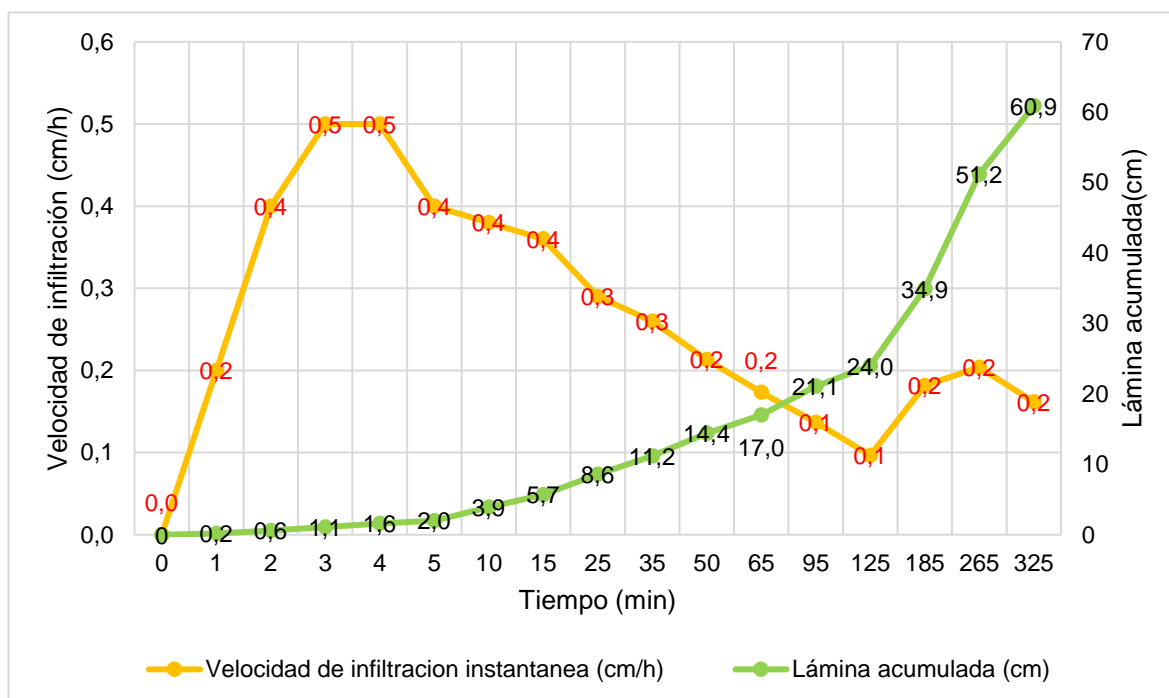
Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	29.8		0.2	0.2	0.2
1	2	29.4		0.4	0.6	0.4
1	3	28.9		0.5	1.1	0.5
1	4	28.4		0.5	1.6	0.5
1	5	28.0		0.4	2.0	0.4
5	10	26.1		1.9	3.9	0.4
5	15	24.3		1.8	5.7	0.4
10	25	21.4		2.9	8.6	0.3
10	35	18.8		2.6	11.2	0.3
15	50	15.6		3.2	14.4	0.2
15	65	13.0		2.6	17.0	0.2
30	95	8.9		4.1	21.1	0.1
30	125	6.0	30	2.9	24.0	0.1
60	185	19.1		10.9	34.9	0.2
80	265	2.8	30	16.3	51.2	0.2
60	325	20.3		9.7	60.9	0.2

Nota: Ficha de campo con datos del punto 2 del ecosistema bofedal. Elaboración propia

En el punto 2, el nivel va reduciendo de 0.2 a 0.5 milímetros cada minuto inicialmente sin embargo luego la infiltración muestra rapidez, llegando al minuto 325 con 20.3 cm de nivel de agua final. Es por ello que se realizó recuperación de nivel de agua en dos veces.

Figura 9

Infiltración del punto 2 - ecosistema de bofedal



Nota: Elaboración propia

En la Figura 9 se muestra que la velocidad máxima de infiltración se alcanza en los minutos 3 y 4, con un valor de 0,5 mm/min, mientras que el punto mínimo registrado es de 0,1 mm/min en el minuto 125. Por otro lado, la lámina acumulada de agua infiltrada se incrementa de forma constante a lo largo del tiempo, alcanzando un máximo de 60,9 cm en el minuto 325. Esto indica que, aunque la infiltración presenta fluctuaciones en su velocidad, el suelo continúa almacenando agua de manera sostenida durante todo el periodo de medición. La disminución temporal en la tasa de infiltración puede deberse a cambios en la saturación del suelo o variaciones en su estructura superficial. Sin embargo, la acumulación constante demuestra que el suelo mantiene una capacidad significativa para absorber y retener agua.

- Punto 3

Presenta una tenue pendiente, presenta alta cobertura de bofedales ubicado en cabecera de bofedal.

Tabla 12

Ecosistema de bofedal – punto 3

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	29.4		0.6	0.6	0.6
1	2	28.5		0.9	1.5	0.9
1	3	27.6		0.9	2.4	0.9
1	4	26.8		0.8	3.2	0.8
1	5	26.1		0.7	3.9	0.7
5	10	22.6		3.5	7.4	0.7
5	15	19.2		3.4	10.8	0.7
10	25	14.0		5.2	16.0	0.5
10	35	9.4	30	4.6	20.6	0.5
15	50	20.8		9.2	29.8	0.6
15	65	13.5	30	7.3	37.1	0.5
30	95	26.7		3.3	40.4	0.1
30	125	13.5		13.2	53.6	0.4
60	185	8.0	30	5.5	59.1	0.1
80	265	10.7	30	19.3	78.4	0.2
60	325	20.8		9.2	87.6	0.2

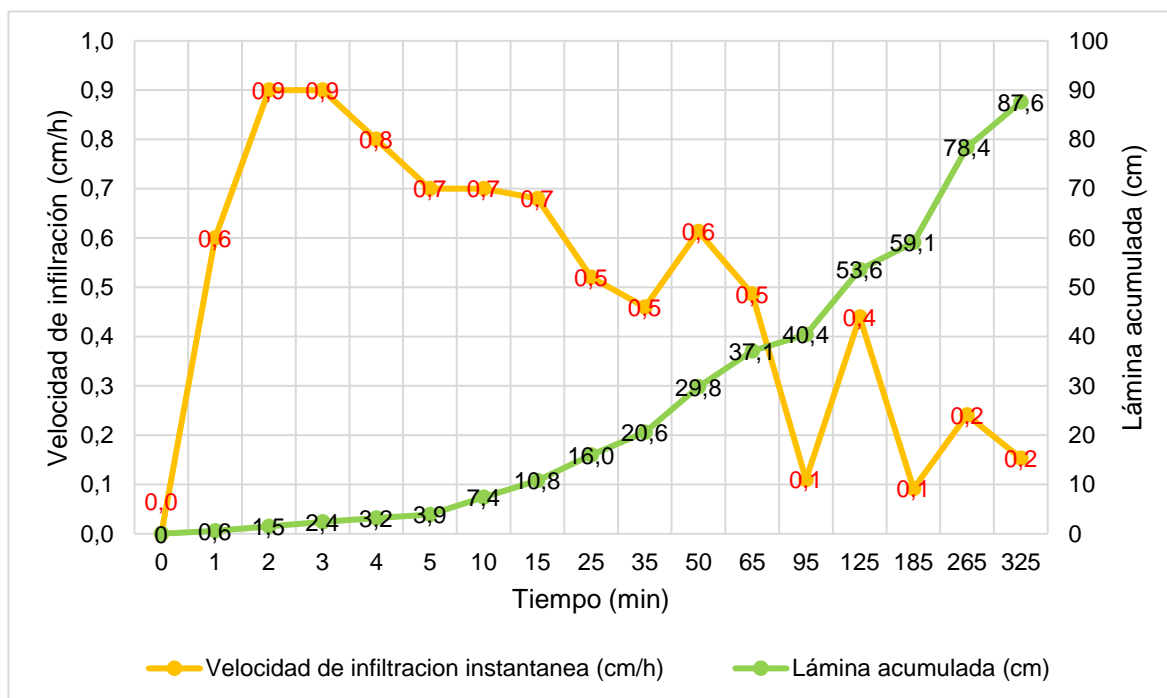
Nota: Ficha de campo con datos del punto 3 del ecosistema bofedal. Elaboración propia

En el punto 3, el nivel de agua disminuye aproximadamente 1 cm por minuto, alcanzando un nivel final de 20,8 cm al concluir la medición. Debido a la velocidad de infiltración, se realizó la recuperación del nivel de agua en cuatro ocasiones para mantener la precisión del proceso.

Este comportamiento refleja una infiltración constante y significativa, evidenciando la capacidad del suelo para absorber agua durante el periodo estudiado.

Figura 10

Infiltración del punto 3 – ecosistema de bofedal



Nota: Elaboración propia

En la Figura 10 se observa que la velocidad máxima de infiltración ocurre en los minutos 2 y 3, con un valor de 0,9 mm/min, mientras que el punto mínimo se registra en el minuto 185, cuando la tasa de infiltración disminuye a 0,1 mm/min. Durante todo el período de medición, la infiltración se mantiene continua, aunque con una leve elevación en el minuto 10.

La lámina acumulada de agua infiltrada alcanza un máximo de 87,6 cm en los 325 minutos registrados. Este patrón indica que, pese a las variaciones en la velocidad de infiltración, el suelo sigue absorbiendo agua de manera sostenida a lo largo del tiempo. La reducción en la tasa de infiltración con el tiempo es característica de la saturación progresiva del suelo, mientras que la acumulación constante refleja su capacidad para retener agua y contribuir a la recarga hídrica.

- Punto 4

Presente en cabecera de cuenca, ubicado en una zona plana y con buena presencia de bofedales.

Tabla 13

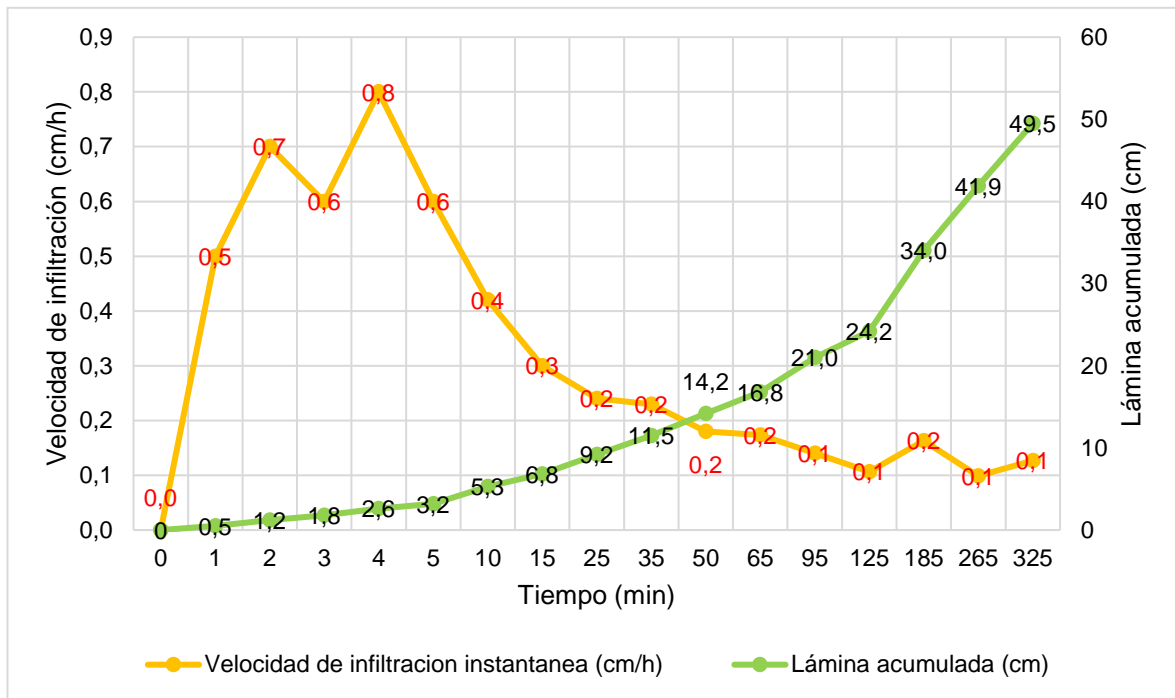
Ecosistema de bofedal – punto 4

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	29.5		0.5	0.5	0.5
1	2	28.8		0.7	1.2	0.7
1	3	28.2		0.6	1.8	0.6
1	4	27.4		0.8	2.6	0.8
1	5	26.8		0.6	3.2	0.6
5	10	24.7		2.1	5.3	0.4
5	15	23.2		1.5	6.8	0.3
10	25	20.8		2.4	9.2	0.2
10	35	18.5		2.3	11.5	0.2
15	50	15.8		2.7	14.2	0.2
15	65	13.2		2.6	16.8	0.2
30	95	9.0		4.2	21.0	0.1
30	125	5.8	30	3.2	24.2	0.1
60	185	20.2		9.8	34.0	0.2
80	265	12.3		7.9	41.9	0.1
60	325	4.7		7.6	49.5	0.1

Nota: Ficha de campo con datos del punto 4 del ecosistema bofedal. Elaboración propia

En el punto 4, el nivel de agua disminuye aproximadamente 0,5 mm por minuto, alcanzando un nivel final de 4,7 cm al minuto 325. Durante el proceso, se realizó una única recuperación de agua para asegurar la continuidad y precisión de la medición.

Este descenso gradual indica una infiltración lenta pero constante, reflejando la capacidad del suelo para absorber agua en el tiempo registrado.

Figura 11*Infiltración del punto 4 - ecosistema de bofedal*

Nota: Elaboración propia

En la Figura 11 se observa que la velocidad de infiltración presenta el máximo punto en el minuto 4 llegando a obtener 0.8 mm de infiltración mientras que el punto mínimo se da en el minuto 265, teniendo 0.1 mm, además se puede observar que la lámina acumulada empieza a almacenar a partir del minuto 2 alcanzando 49.5 cm a los 325 min.

De igual manera se deduce que la velocidad de infiltración a la que el agua penetra en el suelo, se reduce a medida que transcurre el tiempo acumulado en horas. Esto sugiere que la capacidad del suelo para absorber agua disminuye con el paso del tiempo no obstante el suelo va almacenando de manera progresiva.

- Punto 5

Hay poca presencia de pajonal, ubicado en una zona plana.

Tabla 14

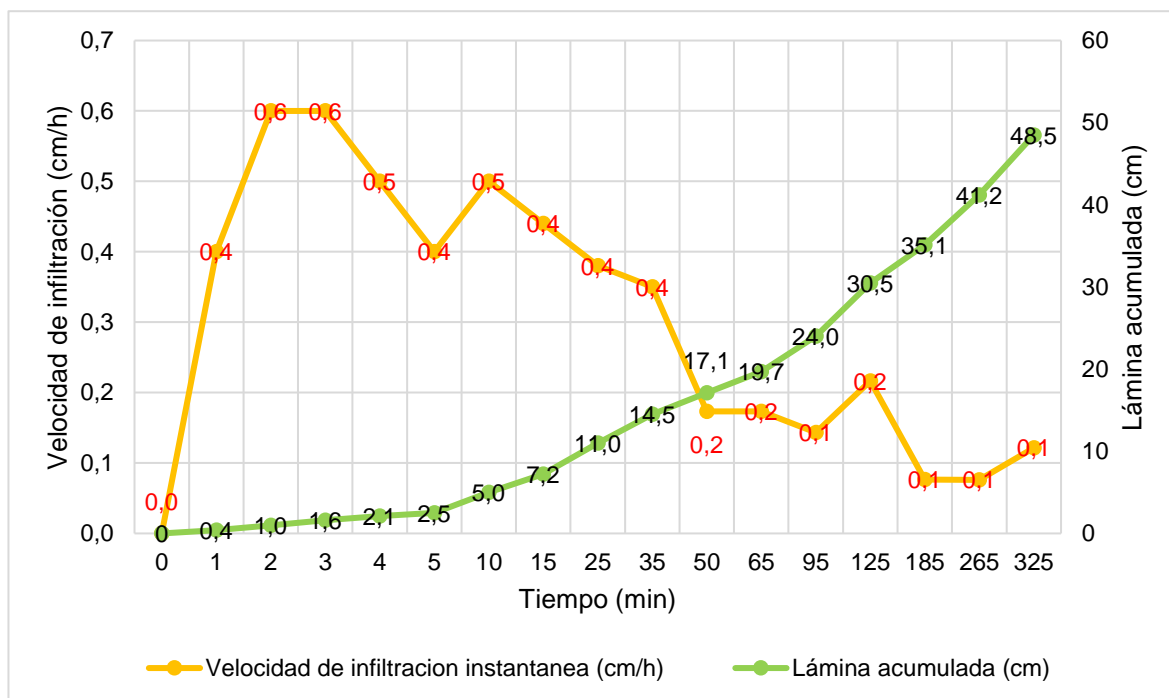
Ecosistema de bofedal – punto 5

Tiempo		Lectura de escala		Lamina	Infiltración	
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	29.6		0.4	0.4	0.4
1	2	29.0		0.6	1.0	0.6
1	3	28.4		0.6	1.6	0.6
1	4	27.9		0.5	2.1	0.5
1	5	27.5		0.4	2.5	0.4
5	10	25.0		2.5	5.0	0.5
5	15	22.8		2.2	7.2	0.4
10	25	19.0		3.8	11.0	0.4
10	35	15.5		3.5	14.5	0.4
15	50	12.9		2.6	17.1	0.2
15	65	10.3		2.6	19.7	0.2
30	95	6.0	30	4.3	24.0	0.1
30	125	23.5		6.5	30.5	0.2
60	185	18.9		4.6	35.1	0.1
80	265	12.8		6.1	41.2	0.1
60	325	5.5		7.3	48.5	0.1

Nota: Ficha de campo con datos del punto 5 del ecosistema bofedal. Elaboración propia

En el punto 5, el nivel de agua disminuye aproximadamente entre 0,4 y 0,5 mm por minuto, alcanzando un nivel final de 5,5 cm al minuto 325. Durante el proceso, se realizó una única recuperación del nivel de agua para mantener la continuidad y exactitud de la medición.

Este comportamiento refleja una infiltración moderada y constante, demostrando la capacidad del suelo para absorber agua durante el periodo de estudio.

Figura 12*Infiltración del punto 5 - ecosistema de bofedal*

Nota: Elaboración propia

En la Figura 12 se observa que la velocidad de infiltración alcanza su punto máximo de 0,6 mm/min entre los minutos 2 y 3, manteniéndose constante durante ese intervalo. Por otro lado, el valor mínimo de infiltración registrado es de 0,1 mm/min, que ocurre en los minutos finales del periodo de medición.

Este comportamiento es consistente con los patrones observados en las figuras anteriores, donde la infiltración comienza con una velocidad alta debido a la capacidad inicial del suelo para absorber agua rápidamente. Sin embargo, a medida que pasa el tiempo, la acumulación progresiva de agua en el perfil reduce la capacidad del suelo para seguir infiltrando, disminuyendo así la velocidad de infiltración. Este fenómeno refleja la saturación gradual del suelo y sus límites físicos para la absorción prolongada.

➤ **Ecosistema de Bosque Nativo**

- Punto 1

Alta presencia de bosque nativo, existe presencia de pajonales, ubicada en la zona alta del sector.

Tabla 15

Ecosistema de bosque nativo – punto 1

Tiempo		Lectura de escala		Lamina	Infiltración	
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	28.0		2.0	2.0	2.0
1	2	25.4		2.6	4.6	2.6
1	3	23.0		2.4	7.0	2.4
1	4	21.0		2.0	9.0	2.0
1	5	19.5		1.5	10.5	1.5
5	10	12.2	30	7.3	17.8	1.5
5	15	21.0		9.0	26.8	1.8
10	25	10.0	30	11.0	37.8	1.1
10	35	20.8		9.2	47.0	0.9
15	50	4.0	30	16.8	63.8	1.1
15	65	14.9	30	15.1	78.9	1.0
30	95	12.9	30	17.1	96.0	0.6
30	125	15.0	30	15.0	111.0	0.5
60	185	19.9	30	10.1	121.1	0.2
80	265	19.3		10.7	131.8	0.1
60	325	14.3		5.0	136.8	0.1

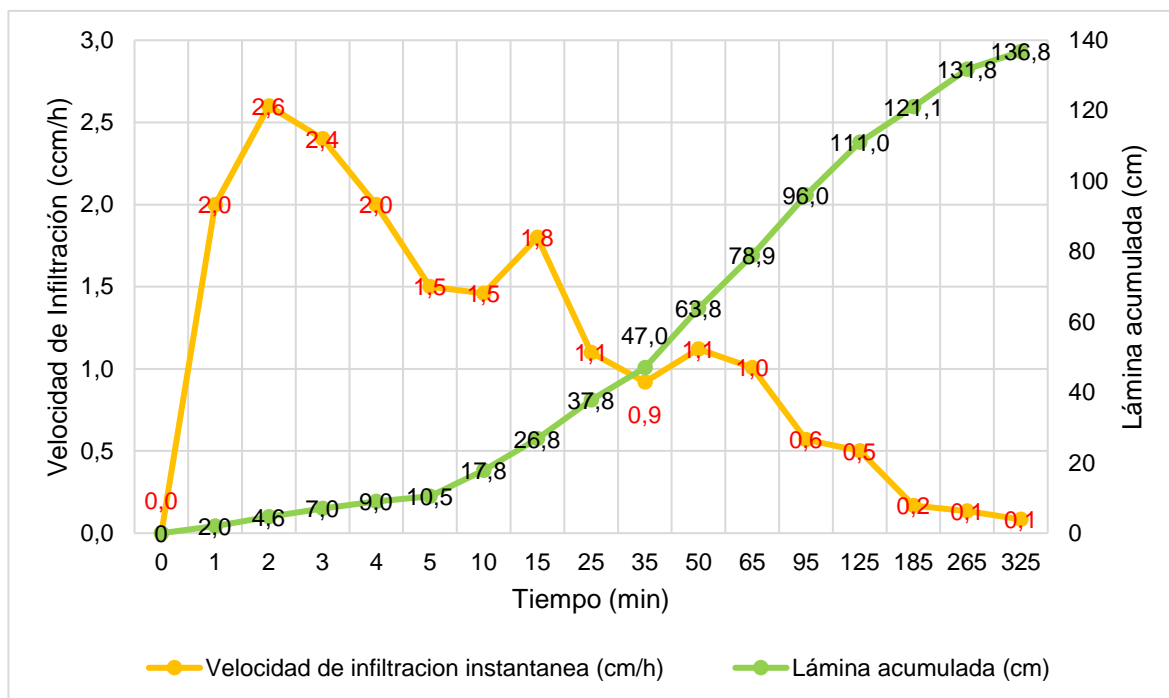
Nota: Ficha de campo con datos del punto 1 del ecosistema bosque nativo. Elaboración propia

En el punto 1, el nivel de agua disminuye aproximadamente entre 2 y 3 cm por minuto, alcanzando un nivel final de 14,3 cm al minuto 325. Debido a la rápida tasa de infiltración registrada, se efectuó la recuperación del nivel de agua en siete ocasiones para garantizar la continuidad y precisión de las mediciones. Este comportamiento evidencia

una infiltración rápida y sostenida, reflejando la alta capacidad del suelo para absorber agua durante el periodo de estudio.

Figura 13

Infiltración del punto 1 - ecosistema de bosque nativo



Nota: Elaboración propia

Observamos que en la Figura 13 el punto máximo de infiltración es de 2.5 cm a los dos minutos de haber iniciado con la toma de muestra, transcurrido el tiempo sugerido se ve que la capacidad de infiltración ha reducido y el punto mínimo de infiltración es de 0.1 mm dado en el minuto 325.

La relación que hay entre la velocidad de infiltración y la lámina acumulada, se da cuando la infiltración se vuelve lenta o casi nula debido a que la acumulación de agua ha incrementado de tal manera que obstaculiza el procedimiento normal de penetración del agua en el suelo, para este caso la acumulación inicia desde el primer minuto y finalizando con 136.8 cm de almacenamiento.

- Punto 2

Buena presencia de bosque nativo, además presencia de pajonales y bastante materia orgánica precedente de las hojas de los árboles.

Tabla 16

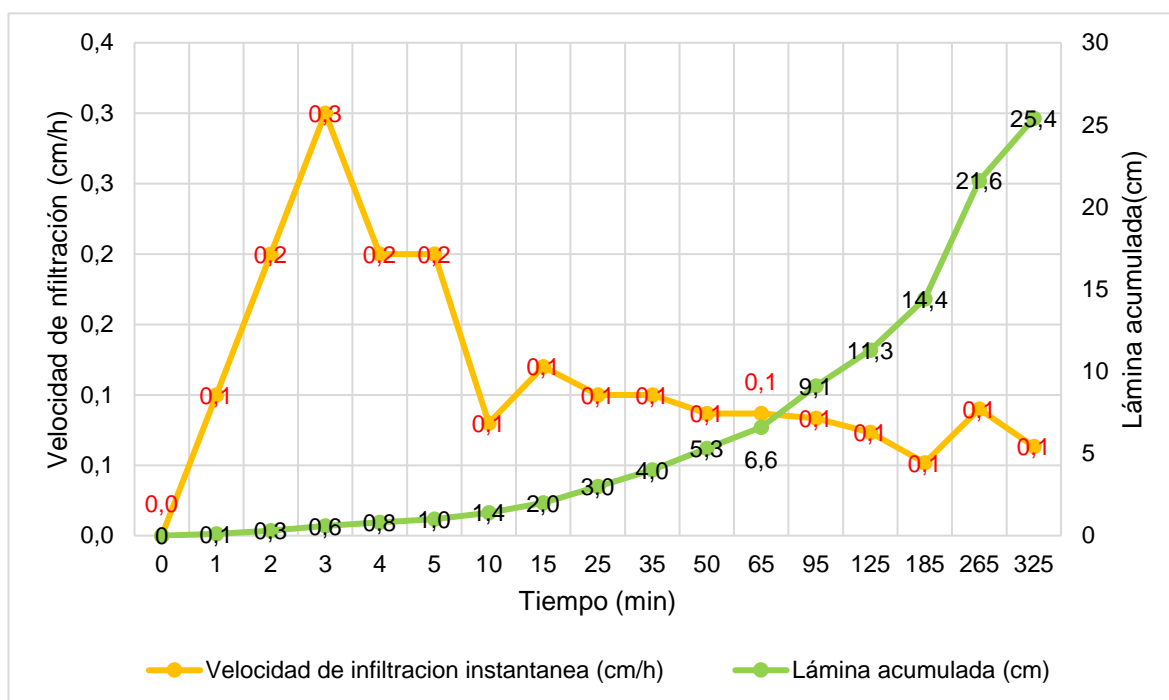
Ecosistema de bosque nativo – punto 2

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	29.9		0.1	0.1	0.1
1	2	29.7		0.2	0.3	0.2
1	3	29.4		0.3	0.6	0.3
1	4	29.2		0.2	0.8	0.2
1	5	29.0		0.2	1.0	0.2
5	10	28.6		0.4	1.4	0.1
5	15	28.0		0.6	2.0	0.1
10	25	27.0		1.0	3.0	0.1
10	35	26.0		1.0	4.0	0.1
15	50	24.7		1.3	5.3	0.1
15	65	23.4		1.3	6.6	0.1
30	95	20.9		2.5	9.1	0.1
30	125	18.7		2.2	11.3	0.1
60	185	15.6		3.1	14.4	0.1
80	265	8.4		7.2	21.6	0.1
60	325	4.6		3.8	25.4	0.1

Nota: Ficha de campo con datos del punto 2 del ecosistema bosque nativo. Elaboración propia

En el punto 2, el nivel de agua disminuye aproximadamente 0,2 mm por minuto, llegando a un nivel final de 4,6 cm al minuto 325. Durante este proceso, no se realizó recuperación del nivel de agua, lo que indica que la infiltración fue lenta y constante sin necesidad de ajustes.

Este comportamiento refleja una capacidad limitada de absorción de agua en el suelo durante el periodo de medición.

Figura 14*Infiltración del punto 2 - ecosistema de bosque nativo*

Nota: Elaboración propia

En la Figura 14 se observa que la velocidad máxima de infiltración se registra en el minuto 3, con un valor de 0,3 mm/min. Conforme transcurre el tiempo, la capacidad del suelo para infiltrar agua disminuye progresivamente, alcanzando un valor mínimo de 0,1 mm/min en el minuto 185.

Por otro lado, la lámina acumulada de agua infiltrada comienza a incrementarse desde el minuto 1 y, al cumplirse los 325 minutos, alcanza un total de 25,4 cm. Este comportamiento indica que, aunque la tasa de infiltración disminuye con el tiempo, el suelo continúa almacenando agua de forma constante, reflejando la capacidad del perfil para retener humedad a lo largo del periodo de estudio.

- Punto 3

Ubicado en una zona con poca presencia de bofedales y buena cobertura de bosque nativo, situado también en la zona alta del sector.

Tabla 17

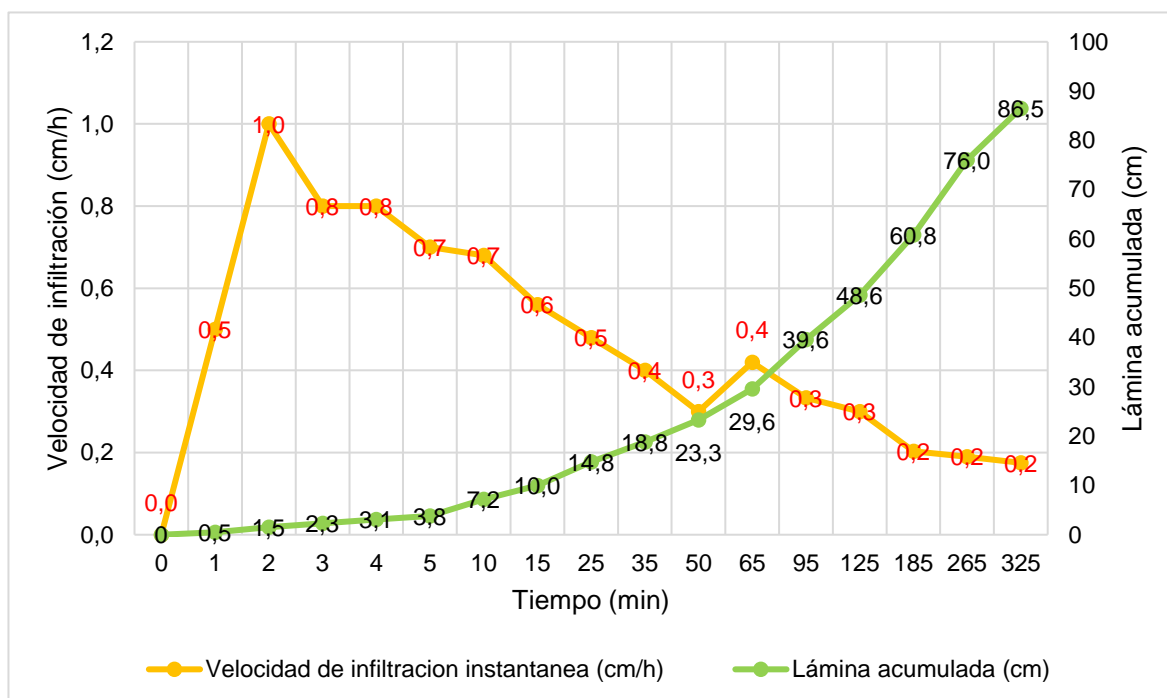
Ecosistema de bosque nativo – punto 3

Tiempo		Lectura de escala		Lamina	Infiltración	
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	29.5		0.5	0.5	0.5
1	2	28.5		1.0	1.5	1.0
1	3	27.7		0.8	2.3	0.8
1	4	26.9		0.8	3.1	0.8
1	5	26.2		0.7	3.8	0.7
5	10	22.8		3.4	7.2	0.7
5	15	20.0		2.8	10.0	0.6
10	25	15.2		4.8	14.8	0.5
10	35	11.2		4.0	18.8	0.4
15	50	6.7	30	4.5	23.3	0.3
15	65	23.7		6.3	29.6	0.4
30	95	13.7	30	10.0	39.6	0.3
30	125	21.0		9.0	48.6	0.3
60	185	8.8	30	12.2	60.8	0.2
80	265	14.8	30	15.2	76.0	0.2
60	325	19.5		10.5	86.5	0.2

Nota: Ficha de campo con datos del punto 3 del ecosistema bosque nativo. Elaboración propia

En el punto 3, el nivel de agua disminuye a una tasa que varía entre 0,5 mm y 1 cm por minuto, alcanzando un nivel final de 19,5 cm al minuto 325. Debido a esta velocidad variable de infiltración, se realizó la recuperación del nivel de agua en cuatro ocasiones para asegurar la continuidad y precisión de la medición.

Este patrón muestra una infiltración moderada a rápida, reflejando una buena capacidad del suelo para absorber agua durante el periodo estudiado.

Figura 15*Infiltración del punto 3 - ecosistema de bosque nativo*

Nota: Elaboración propia

En la Figura 15 se observa que la infiltración máxima de agua es de 1 cm/min, alcanzada en el minuto 2 desde el inicio de la medición. En contraste, la infiltración mínima se registra en el minuto 325, con un valor de solo 0,2 mm/min. Durante todo el periodo de estudio, la lámina acumulada ha ido incrementándose de forma constante, alcanzando un total de 86,5 cm. Este comportamiento evidencia que, aunque la velocidad de infiltración disminuye con el tiempo, el suelo sigue almacenando agua de manera progresiva. Esto refleja la saturación gradual del perfil del suelo y su capacidad para retener humedad durante largos periodos.

- Punto 4

Cuenta con buena cobertura de bosque nativo y presencia ligera de bofedal y pajonal, localizado también en la zona alta del sector.

Tabla 18

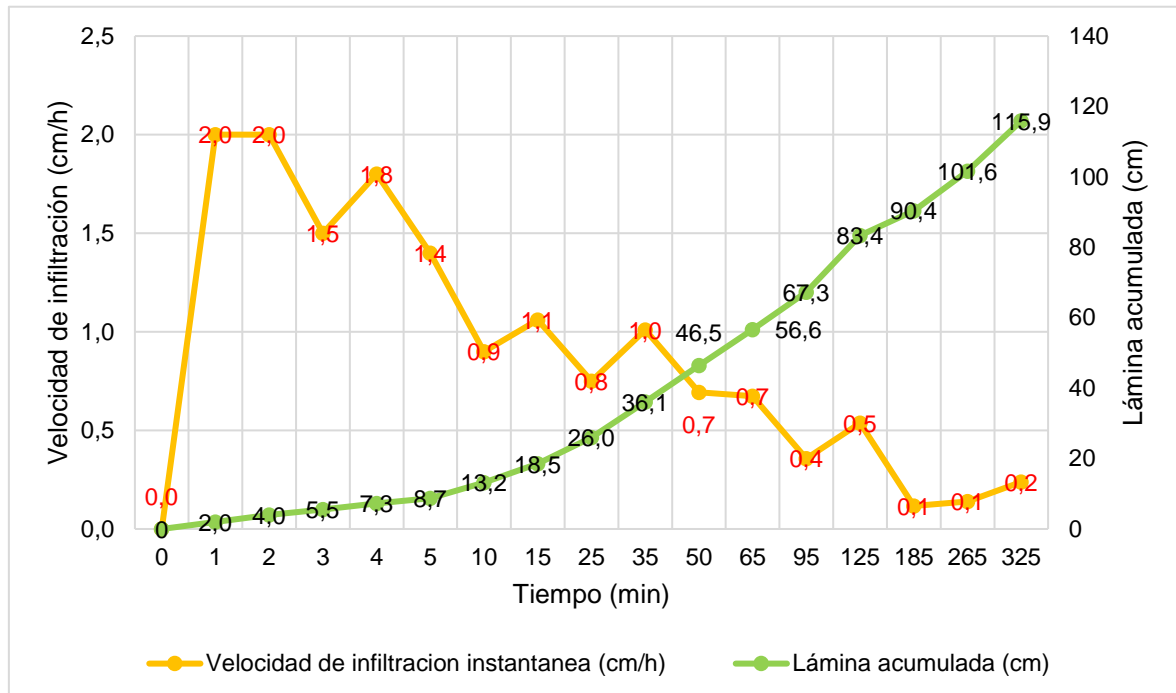
Ecosistema de bosque nativo – punto 4

Tiempo		Lectura de escala		Lamina		Infiltración
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	28.0		2.0	2.0	2.0
1	2	26.0		2.0	4.0	2.0
1	3	24.5		1.5	5.5	1.5
1	4	22.7		1.8	7.3	1.8
1	5	21.3		1.4	8.7	1.4
5	10	16.8		4.5	13.2	0.9
5	15	11.5		5.3	18.5	1.1
10	25	4.0	30	7.5	26.0	0.8
10	35	19.9		10.1	36.1	1.0
15	50	9.5	30	10.4	46.5	0.7
15	65	19.9		10.1	56.6	0.7
30	95	9.2	30	10.7	67.3	0.4
30	125	13.9	30	16.1	83.4	0.5
60	185	23.0		7.0	90.4	0.1
80	265	11.8	30	11.2	101.6	0.1
60	325	15.7		14.3	115.9	0.2

Nota: Ficha de campo con datos del punto 4 del ecosistema bosque nativo. Elaboración propia

En el punto 4, el nivel de agua disminuye aproximadamente 2 cm por minuto, alcanzando un nivel final de 15,7 cm al minuto 325. Durante el proceso, se realizó la recuperación del nivel de agua en cinco ocasiones para mantener la precisión y continuidad de la medición.

Este comportamiento indica una infiltración rápida y constante, reflejando una capacidad elevada del suelo para absorber agua durante el periodo de estudio.

Figura 16*Infiltración del punto 4 - ecosistema de bosque nativo*

Nota: Elaboración propia

En la Figura 16 se observa que la velocidad máxima de infiltración se presenta en los minutos 1 y 2, alcanzando un valor de 2 cm/min. Por otro lado, la velocidad mínima se registra en el minuto 185, con una tasa de infiltración de apenas 0,1 mm/min.

Durante todo el periodo de medición, la lámina acumulada de agua infiltrada va aumentando de forma continua, alcanzando un máximo de 115,9 cm. Este patrón indica que, aunque la velocidad de infiltración disminuye con el tiempo debido a la saturación progresiva del suelo, el perfil sigue almacenando agua de manera significativa.

- Punto 5

Alta presencia de bosque nativo y materia orgánica, ubicado en la zona alta del sector.

Tabla 19

Ecosistema de bosque nativo – punto 5

Tiempo		Lectura de escala		Lamina	Infiltración	
Intervalo de tiempo entre lecturas (min)	Tiempo acumulado (min)	Nivel de agua (cm)	Nivel de recuperación de agua (cm)	Lámina infiltrada para cada intervalo de tiempo (cm)	Lámina acumulada (cm)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)
0	0	30		0	0	0.0
1	1	29.2		0.8	0.8	0.8
1	2	28.6		0.6	1.4	0.6
1	3	28.1		0.5	1.9	0.5
1	4	27.7		0.4	2.3	0.4
1	5	27.3		0.4	2.7	0.4
5	10	25.4		1.9	4.6	0.4
5	15	24.1		1.3	5.9	0.3
10	25	22.3	30	1.8	7.7	0.2
10	35	28.0		2.0	9.7	0.2
15	50	25.8		2.2	11.9	0.1
15	65	24.1	30	1.7	13.6	0.1
30	95	27.4		2.6	16.2	0.1
30	125	24.5		2.9	19.1	0.1
60	185	19.6	30	4.9	24.0	0.1
80	265	23.5		6.5	30.5	0.1
60	325	19.0		4.5	35.0	0.1

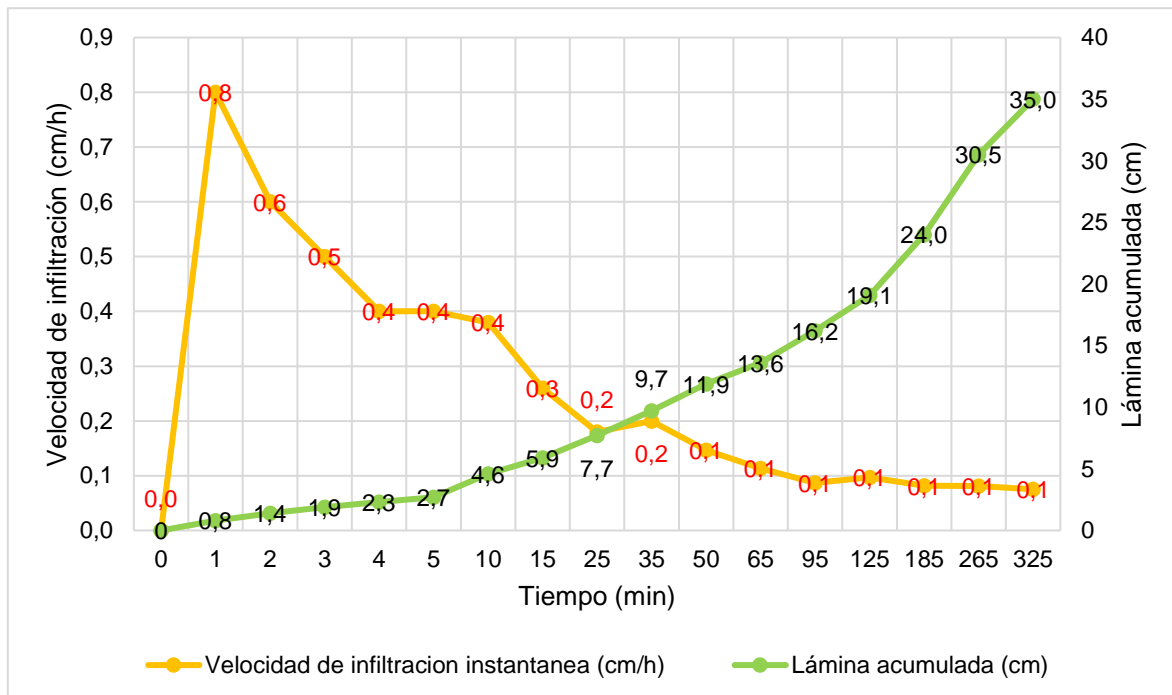
Nota: Ficha de campo con datos del punto 5 del ecosistema bosque. Elaboración propia

En el punto 5, el nivel de agua disminuye aproximadamente 1 cm por minuto, alcanzando un nivel final de 19 cm al minuto 325. Durante el proceso de infiltración, se realizó la recuperación del nivel de agua en tres ocasiones para asegurar la continuidad y exactitud de la medición.

Este comportamiento refleja una infiltración sostenida y moderada, indicando la capacidad del suelo para absorber agua durante el periodo estudiado.

Figura 17

Infiltración del punto 5 - ecosistema de bosque nativo



Nota: Elaboración propia

En la Figura 17 se observa que la infiltración máxima es de 0,8 mm/min, registrada en el primer minuto desde el inicio de la medición. La infiltración mínima desciende a 0,1 mm/min en el minuto 325. Durante todo el periodo, la lámina acumulada alcanza un total de 35 cm.

Este comportamiento indica que, aunque la velocidad de infiltración disminuye con el tiempo, el suelo continúa acumulando agua de manera constante hasta el final del muestreo.

Fórmulas matemáticas:

Se han realizado métodos matemáticos con el fin de definir a qué tipo de suelo pertenecen y seguidamente determinar el grupo hidrológico del suelo, para el cual utilizaremos los datos del procedimiento anterior considerando los datos de:

- Tiempo acumulado
- Lamina acumulada (infiltración)

Para determinar la velocidad de infiltración básica, cuya definición es que la velocidad de infiltración del agua en el suelo presenta una variación mínima con el tiempo, manteniéndose lenta y constante. Esta situación de infiltración ocurre cuando el suelo ha llegado a su capacidad de campo. La velocidad básica de infiltración está estrechamente relacionada con la textura del suelo, por lo que tanto el tiempo necesario para alcanzarla como su valor dependerán de dicha textura.

Para ello se utilizarán las siguientes formulas:

$$B = \frac{\sum \log t \log I - \frac{\sum \log t \log \sum I}{n}}{\sum \log^2 t - \frac{(\log t)^2}{n}}$$

Donde:

B = Constante

I = velocidad de infiltración, expresada en mm/hora, cm/hora, etc.

t = tiempo de oportunidad (tiempo de contacto del agua con el suelo) expresado en min u h.

n = número de tiempo en que se toma las muestras

$$\text{Log } A = \frac{\sum \log I}{n} - B \frac{\sum \log t}{n}$$

Donde:

A = Constante

I = velocidad de infiltración, expresada en mm/hora, cm/hora, etc.

t = tiempo de oportunidad (tiempo de contacto del agua con el suelo) expresado en min u h.

n = número de tiempo en que se toma las muestras

$$r^2 = \frac{\left(\sum \log t \log I - \frac{\sum \log t \sum \log I}{n} \right)^2}{\left(\sum \log^2 t - \frac{(\sum \log t)^2}{n} \right) \left(\sum \log^2 I - \frac{(\sum \log I)^2}{n} \right)}$$

Donde:

r^2 = coeficiente de correlación

I = velocidad de infiltración, expresada en mm/hora, cm/hora, etc.

t = tiempo de oportunidad (tiempo de contacto del agua con el suelo) expresado en min u h.

n = número de tiempo en que se toma las muestras

$$b = B - 1$$

Donde:

b = Exponente adimensional que varía de acuerdo a las características del suelo entre 0 y -1

B = Constante

$$a = A * B$$

Donde:

a = Coeficiente que representa la velocidad de infiltración para el intervalo inicial de tiempo

A = Constante

B = Constante

$$tb = -10b$$

Donde:

tb = Tiempo en horas para alcanzar la infiltración básica

b = Exponente adimensional que varía de acuerdo a las características del suelo entre 0 y -1

$$I = at^b$$

Donde:

I = velocidad de infiltración, expresada en mm/hora, cm/hora, etc.

a = coeficiente que representa la velocidad de infiltración para el intervalo inicial de tiempo

t = tiempo de oportunidad (tiempo de contacto del agua con el suelo) expresado en min u h.

b = Exponente adimensional que varía de acuerdo a las características del suelo entre 0 y -1

En el texto de apoyo de Medición de la Infiltración - Método de la doble anilla de (Delgadillo O.) se muestra una referencia de (Brouwer et al., 1998) sobre la tabla de infiltración básico en tipos de suelos.

Tabla 20

Rangos de velocidad de infiltración básica de los tipos de suelos

Tipo de suelo	cm/h	Calificación
Arenoso	Más de 30	Muy rápida
Franco arenoso	20 - 30	Rápida
Franco	10 a 20	Moderada
Franco arcilloso	5 a 10	Lenta
Arcilloso	1 - 5	Muy lenta

Nota: Adatado de texto de apoyo (Delgadillo O., 2016)

De acuerdo a la referencia que se tomó en cuenta para establecer el tipo de suelo al que pertenecen los puntos de muestra que se consideraron.

Seguidamente, considerando el tipo de suelo, se determina el grupo hidrológico de suelo correspondiente, teniendo en cuenta la siguiente descripción:

Tabla 21*Grupo hidrológico de suelos*

Grupo Hidrológico de Suelo	Concepto	Corresponde a
Grupo A	Suelos con alta capacidad de infiltración. Estos suelos permiten que el agua pase a través de ellos fácilmente.	-
Grupo B	Suelos con moderada capacidad de infiltración. Permiten que el agua infiltre más lentamente que los del Grupo A.	<ul style="list-style-type: none"> • Punto 2 – ecosistema pajonal • Punto 1, 2,3 y 4 – ecosistema bosque nativo
Grupo C	Suelos con baja capacidad de infiltración. Estos suelos tienen una tasa de infiltración más baja y tienden a retener agua.	<ul style="list-style-type: none"> • Punto 1,3,4 y 5 – ecosistema pajonal • Todos los puntos – ecosistema bofedal
Grupo D	Suelos con muy baja capacidad de infiltración. Son suelos que tienden a generar escorrentía rápidamente.	<ul style="list-style-type: none"> • Punto 5 – ecosistema bosque nativo

Nota: Relación del tipo de suelos con los grupos hidrológicos. Referencia USDA Natural Resources Conservation Service. (2004).

A continuación, se describirá cada punto considerado en los ecosistemas;

➤ **Ecosistema de Pajonal**

- Punto 1

Tabla 22

Aplicación de logaritmos - Ecosistema de pajonal – punto 1

Numero de datos	Tiempo acumulado	Lámina acumulada	log t	log l	log ² t	log ² l	log T * log l
1	0	0.0	0	0	0	0	0.00
2	1	1.5	0.00	0.18	0.00	0.03	0.00
3	2	2.5	0.30	0.40	0.09	0.16	0.12
4	3	3.2	0.48	0.51	0.23	0.26	0.24
5	4	3.9	0.60	0.59	0.36	0.35	0.36
6	5	4.9	0.70	0.69	0.49	0.48	0.48
7	10	7.4	1.00	0.87	1.00	0.76	0.87
8	15	9.4	1.18	0.97	1.38	0.95	1.14
9	25	13.2	1.40	1.12	1.95	1.26	1.57
10	35	15.7	1.54	1.20	2.38	1.43	1.85
11	50	20.0	1.70	1.30	2.89	1.69	2.21
12	65	24.2	1.81	1.38	3.29	1.91	2.51
13	95	30.5	1.98	1.48	3.91	2.20	2.94
14	125	36.8	2.10	1.57	4.40	2.45	3.28
15	185	45.6	2.27	1.66	5.14	2.75	3.76
16	265	52.8	2.42	1.72	5.87	2.97	4.17
17	325	57.0	2.51	1.76	6.31	3.08	4.41
TOTAL			21.986	17.392	39.694	22.724	29.910

Nota: procesamiento de datos. Elaboración propia

- Punto 2

Tabla 23*Aplicación de logaritmos - Ecosistema de pajonal – punto 2*

Numero de datos	Tiempo acumulad o	Lámina acumulada	log t	log I	log² t	log² I	log T * log I
1	0	0.0	0	0	0	0	0.00
2	1	3.5	0.00	0.54	0.00	0.30	0.00
3	2	6.0	0.30	0.78	0.09	0.61	0.23
4	3	8.8	0.48	0.94	0.23	0.89	0.45
5	4	11.0	0.60	1.04	0.36	1.08	0.63
6	5	13.3	0.70	1.12	0.49	1.26	0.79
7	10	22.5	1.00	1.35	1.00	1.83	1.35
8	15	29.8	1.18	1.47	1.38	2.17	1.73
9	25	46.0	1.40	1.66	1.95	2.76	2.32
10	35	62.2	1.54	1.79	2.38	3.22	2.77
11	50	69.7	1.70	1.84	2.89	3.40	3.13
12	65	85.9	1.81	1.93	3.29	3.74	3.51
13	95	90.4	1.98	1.96	3.91	3.83	3.87
14	125	111.9	2.10	2.05	4.40	4.20	4.30
15	185	126.9	2.27	2.10	5.14	4.42	4.77
16	265	142.4	2.42	2.15	5.87	4.64	5.22
17	325	151.8	2.51	2.18	6.31	4.76	5.48
	TOTAL		21.98	24.93	39.694	43.107	40.546

Nota: procesamiento de datos. Elaboración propia

- Punto 3

Tabla 24

Aplicación de logaritmos – Ecosistema de pajonal – punto 3

Numero de datos	Tiempo acumulado	Lámina acumulada	log t	log I	log² t	log² I	log T * log I
1	0	0.0	0	0	0	0	0.000
2	1	0.1	0.00	-1.00	0.00	1.00	0.000
3	2	0.5	0.30	-0.30	0.09	0.09	-0.091
4	3	0.9	0.48	-0.05	0.23	0.00	-0.022
5	4	1.1	0.60	0.04	0.36	0.00	0.025
6	5	1.5	0.70	0.18	0.49	0.03	0.123
7	10	3.0	1.00	0.48	1.00	0.23	0.477
8	15	4.2	1.18	0.62	1.38	0.39	0.733
9	25	6.3	1.40	0.80	1.95	0.64	1.117
10	35	8.0	1.54	0.90	2.38	0.82	1.394
11	50	10.1	1.70	1.00	2.89	1.01	1.706
12	65	11.9	1.81	1.08	3.29	1.16	1.950
13	95	14.7	1.98	1.17	3.91	1.36	2.309
14	125	17.0	2.10	1.23	4.40	1.51	2.580
15	185	20.9	2.27	1.32	5.14	1.74	2.993
16	265	25.7	2.42	1.41	5.87	1.99	3.417
17	325	28.1	2.51	1.45	6.31	2.10	3.639
TOTAL			21.986	10.330	39.694	14.068	22.351

Nota: procesamiento de datos. Elaboración propia

- Punto 4

Tabla 25

Aplicación de logaritmos – Ecosistema de pajonal – punto 4

Numero de datos	Tiempo acumulado	Lámina acumulada	log t	log l	log² t	log² l	log T * log l
1	0	0.0	0	0	0	0	0.000
2	1	2.1	0.00	0.32	0.00	0.10	0.000
3	2	4.5	0.30	0.65	0.09	0.43	0.197
4	3	6.7	0.48	0.83	0.23	0.68	0.394
5	4	8.2	0.60	0.91	0.36	0.84	0.550
6	5	9.3	0.70	0.97	0.49	0.94	0.677
7	10	12.4	1.00	1.09	1.00	1.20	1.093
8	15	15.2	1.18	1.18	1.38	1.40	1.390
9	25	20.1	1.40	1.30	1.95	1.70	1.822
10	35	22.0	1.54	1.34	2.38	1.80	2.073
11	50	26.3	1.70	1.42	2.89	2.02	2.412
12	65	31.6	1.81	1.50	3.29	2.25	2.719
13	95	38.3	1.98	1.58	3.91	2.51	3.131
14	125	43.5	2.10	1.64	4.40	2.68	3.436
15	185	55.7	2.27	1.75	5.14	3.05	3.958
16	265	69.8	2.42	1.84	5.87	3.40	4.468
17	325	85.1	2.51	1.93	6.31	3.72	4.848
TOTAL			21.986	20.266	39.694	28.708	33.168

Nota: procesamiento de datos. Elaboración propia

- Punto 5

Tabla 26

Aplicación de logaritmos – Ecosistema de pajonal – punto 5

Numero de datos	Tiempo acumulado	Lámina acumulada	log t	log l	log² t	log² l	log T * log l
1	0	0.0	0	0	0	0	0.000
2	1	1.9	0.00	0.28	0.00	0.08	0.000
3	2	2.7	0.30	0.43	0.09	0.19	0.130
4	3	4.2	0.48	0.62	0.23	0.39	0.297
5	4	5.7	0.60	0.76	0.36	0.57	0.455
6	5	6.9	0.70	0.84	0.49	0.70	0.586
7	10	9.2	1.00	0.96	1.00	0.93	0.964
8	15	11.9	1.18	1.08	1.38	1.16	1.265
9	25	15.4	1.40	1.19	1.95	1.41	1.660
10	35	17.3	1.54	1.24	2.38	1.53	1.912
11	50	22.6	1.70	1.35	2.89	1.83	2.301
12	65	28.8	1.81	1.46	3.29	2.13	2.646
13	95	37.7	1.98	1.58	3.91	2.48	3.118
14	125	44.6	2.10	1.65	4.40	2.72	3.459
15	185	58.1	2.27	1.76	5.14	3.11	4.000
16	265	69.8	2.42	1.84	5.87	3.40	4.468
17	325	79.5	2.51	1.90	6.31	3.61	4.774
TOTAL			21.986	18.941	39.694	26.248	32.033

Nota: Procesamiento de datos. Elaboración propia

Los datos fueron reemplazados en las formulas descritas anteriormente, obteniendo los siguientes resultados, los cuales se encuentra en la Tabla 37, ubicado en el capitulo V de resultados y discusiones.

➤ **Ecosistema de Bofedal**

- Punto 1

Tabla 27

Aplicación de logaritmos - Ecosistema de bofedal – punto 1

Numero de datos	Tiempo acumulado	Lámina acumulada	log t	log I	log² t	log² I	log T * log I
1	0	0.0	0	0	0	0	0.000
2	1	0.8	0.00	-0.10	0.00	0.01	0.000
3	2	1.5	0.30	0.18	0.09	0.03	0.053
4	3	2.0	0.48	0.30	0.23	0.09	0.144
5	4	2.5	0.60	0.40	0.36	0.16	0.240
6	5	2.8	0.70	0.45	0.49	0.20	0.313
7	10	4.8	1.00	0.68	1.00	0.46	0.681
8	15	6.4	1.18	0.81	1.38	0.65	0.948
9	25	8.9	1.40	0.95	1.95	0.90	1.327
10	35	11.2	1.54	1.05	2.38	1.10	1.620
11	50	14.0	1.70	1.15	2.89	1.31	1.947
12	65	16.5	1.81	1.22	3.29	1.48	2.207
13	95	20.4	1.98	1.31	3.91	1.72	2.590
14	125	25.3	2.10	1.40	4.40	1.97	2.942
15	185	31.7	2.27	1.50	5.14	2.25	3.403
16	265	36.8	2.42	1.57	5.87	2.45	3.794
17	325	41.0	2.51	1.61	6.31	2.60	4.051
TOTAL			21.986	14.467	39.694	17.391	26.261

Nota: procesamiento de datos. Elaboración propia

- Punto 2

Tabla 28

Aplicación de logaritmos - Ecosistema de bofedal – punto 2

Numero de datos	Tiempo acumulado	Lámina acumulada	log t	log I	log ² t	log ² I	log T * log I
1	0	0.0	0	0	0	0	0.000
2	1	0.2	0.00	-0.70	0.00	0.49	0.000
3	2	0.6	0.30	-0.22	0.09	0.05	-0.067
4	3	1.1	0.48	0.04	0.23	0.00	0.020
5	4	1.6	0.60	0.20	0.36	0.04	0.123
6	5	2.0	0.70	0.30	0.49	0.09	0.210
7	10	3.9	1.00	0.59	1.00	0.35	0.591
8	15	5.7	1.18	0.76	1.38	0.57	0.889
9	25	8.6	1.40	0.93	1.95	0.87	1.306
10	35	11.2	1.54	1.05	2.38	1.10	1.620
11	50	14.4	1.70	1.16	2.89	1.34	1.968
12	65	17.0	1.81	1.23	3.29	1.51	2.231
13	95	21.1	1.98	1.32	3.91	1.75	2.619
14	125	24.0	2.10	1.38	4.40	1.90	2.894
15	185	34.9	2.27	1.54	5.14	2.38	3.498
16	265	51.2	2.42	1.71	5.87	2.92	4.142
17	325	60.9	2.51	1.78	6.31	3.18	4.483
TOTAL			21.986	13.086	39.694	18.568	26.527

Nota: procesamiento de datos. Elaboración propia

- Punto 3

Tabla 29

Aplicación de logaritmos - Ecosistema de bofedal – punto 3

Numero de datos	Tiempo acumulado	Lámina acumulada	log t	log I	log ² t	log ² I	log T * log I
1	0	0.0	0	0	0	0	0.000
2	1	0.6	0.00	-0.22	0.00	0.05	0.000
3	2	1.5	0.30	0.18	0.09	0.03	0.053
4	3	2.4	0.48	0.38	0.23	0.14	0.181
5	4	3.2	0.60	0.51	0.36	0.26	0.304
6	5	3.9	0.70	0.59	0.49	0.35	0.413
7	10	7.4	1.00	0.87	1.00	0.76	0.869
8	15	10.8	1.18	1.03	1.38	1.07	1.215
9	25	16.0	1.40	1.20	1.95	1.45	1.683
10	35	20.6	1.54	1.31	2.38	1.73	2.029
11	50	29.8	1.70	1.47	2.89	2.17	2.505
12	65	37.1	1.81	1.57	3.29	2.46	2.845
13	95	40.4	1.98	1.61	3.91	2.58	3.177
14	125	53.6	2.10	1.73	4.40	2.99	3.626
15	185	59.1	2.27	1.77	5.14	3.14	4.016
16	265	78.4	2.42	1.89	5.87	3.59	4.590
17	325	87.6	2.51	1.94	6.31	3.77	4.879
TOTAL			21.986	17.839	39.694	26.536	32.387

Nota: procesamiento de datos. Elaboración propia

- Punto 4

Tabla 30

Aplicación de logaritmos - Ecosistema de bofedal – punto 4

Numero de datos	Tiempo acumulado	Lámina acumulada	log t	log l	log² t	log² l	log T * log l
1	0	0.0	0	0	0	0	0.000
2	1	0.5	0.00	-0.30	0.00	0.09	0.000
3	2	1.2	0.30	0.08	0.09	0.01	0.024
4	3	1.8	0.48	0.26	0.23	0.07	0.122
5	4	2.6	0.60	0.41	0.36	0.17	0.250
6	5	3.2	0.70	0.51	0.49	0.26	0.353
7	10	5.3	1.00	0.72	1.00	0.52	0.724
8	15	6.8	1.18	0.83	1.38	0.69	0.979
9	25	9.2	1.40	0.96	1.95	0.93	1.347
10	35	11.5	1.54	1.06	2.38	1.13	1.638
11	50	14.2	1.70	1.15	2.89	1.33	1.958
12	65	16.8	1.81	1.23	3.29	1.50	2.221
13	95	21.0	1.98	1.32	3.91	1.75	2.615
14	125	24.2	2.10	1.38	4.40	1.91	2.902
15	185	34.0	2.27	1.53	5.14	2.35	3.472
16	265	41.9	2.42	1.62	5.87	2.63	3.931
17	325	49.5	2.51	1.69	6.31	2.87	4.257
TOTAL			21.986	14.467	39.694	18.202	26.793

Nota: procesamiento de datos. Elaboración propia

- Punto 5

Tabla 31

Aplicación de logaritmos – Ecosistema de bofedal – punto 5

Numero de datos	Tiempo acumulado	Lámina acumulada	log t	log I	log ² t	log ² I	log T * log I
1	0	0.0	0	0	0	0	0.000
2	1	0.4	0.00	-0.40	0.00	0.16	0.000
3	2	1.0	0.30	0.00	0.09	0.00	0.000
4	3	1.6	0.48	0.20	0.23	0.04	0.097
5	4	2.1	0.60	0.32	0.36	0.10	0.194
6	5	2.5	0.70	0.40	0.49	0.16	0.278
7	10	5.0	1.00	0.70	1.00	0.49	0.699
8	15	7.2	1.18	0.86	1.38	0.74	1.008
9	25	11.0	1.40	1.04	1.95	1.08	1.456
10	35	14.5	1.54	1.16	2.38	1.35	1.793
11	50	17.1	1.70	1.23	2.89	1.52	2.095
12	65	19.7	1.81	1.29	3.29	1.68	2.347
13	95	24.0	1.98	1.38	3.91	1.90	2.730
14	125	30.5	2.10	1.48	4.40	2.20	3.112
15	185	35.1	2.27	1.55	5.14	2.39	3.503
16	265	41.2	2.42	1.61	5.87	2.61	3.913
17	325	48.5	2.51	1.69	6.31	2.84	4.234
TOTAL			21.986	14.523	39.694	19.261	27.461

Nota: procesamiento de datos. Elaboración propia

Los datos fueron reemplazados en las formulas, obteniendo los siguientes resultados, lo cuales se encuentran en la Tabla 39 , en el capítulo V de resultados y discusiones.

➤ **Ecosistema de Bosque nativo**

- Punto 1

Tabla 32

Aplicación de logaritmos - Ecosistema de bosque nativo – punto 1

Numero de datos	Tiempo acumulado	Lámina acumulada	log t	log l	log² t	log² l	log T * log l
1	0	0	0	0	0	0	0.000
2	1	2	0.000	0.301	0.000	0.091	0.000
3	2	4.6	0.301	0.663	0.091	0.439	0.200
4	3	7	0.477	0.845	0.228	0.714	0.403
5	4	9	0.602	0.954	0.362	0.911	0.575
6	5	10.5	0.699	1.021	0.489	1.043	0.714
7	10	17.8	1.000	1.250	1.000	1.564	1.250
8	15	26.8	1.176	1.428	1.383	2.040	1.680
9	25	37.8	1.398	1.577	1.954	2.488	2.205
10	35	47	1.544	1.672	2.384	2.796	2.582
11	50	63.8	1.699	1.805	2.886	3.257	3.066
12	65	78.9	1.813	1.897	3.287	3.599	3.439
13	95	96	1.978	1.982	3.911	3.929	3.920
14	125	111	2.097	2.045	4.397	4.183	4.289
15	185	121.1	2.267	2.083	5.140	4.339	4.723
16	265	131.8	2.423	2.120	5.872	4.494	5.137
17	325	136.8	2.512	2.136	6.310	4.563	5.366
TOTAL			21.986	23.781	39.694	40.450	39.548

Nota: procesamiento de datos. Elaboración propia

- Punto 2

Tabla 33*Aplicación de logaritmos - Ecosistema de bosque nativo – punto 2*

Numero de datos	Tiempo acumulado	Lámina acumulada	log t	log I	log² t	log² I	log T * log I
1	0	0	0	0	0	0	0.000
2	1	0.1	0.00	-1.00	0.00	1.00	0.000
3	2	0.3	0.30	-0.52	0.09	0.27	-0.157
4	3	0.6	0.48	-0.22	0.23	0.05	-0.106
5	4	0.8	0.60	-0.10	0.36	0.01	-0.058
6	5	1	0.70	0.00	0.49	0.00	0.000
7	10	1.4	1.00	0.15	1.00	0.02	0.146
8	15	2	1.18	0.30	1.38	0.09	0.354
9	25	3	1.40	0.48	1.95	0.23	0.667
10	35	4	1.54	0.60	2.38	0.36	0.930
11	50	5.3	1.70	0.72	2.89	0.52	1.231
12	65	6.6	1.81	0.82	3.29	0.67	1.486
13	95	9.1	1.98	0.96	3.91	0.92	1.897
14	125	11.3	2.10	1.05	4.40	1.11	2.208
15	185	14.4	2.27	1.16	5.14	1.34	2.626
16	265	21.6	2.42	1.33	5.87	1.78	3.234
17	325	25.4	2.51	1.40	6.31	1.97	3.529
TOTAL			21.986	7.138	39.694	10.355	17.985

Nota: procesamiento de datos. Elaboración propia

- Punto 3

Tabla 34*Aplicación de logaritmos - Ecosistema de bosque nativo – punto 3*

Numero de datos	Tiempo acumulado	Lámina acumulada	log t	log I	log² t	log² I	log T * log I
1	0	0	0	0	0	0	0.000
2	1	0.5	0.00	-0.30	0.00	0.09	0.000
3	2	1.5	0.30	0.18	0.09	0.03	0.053
4	3	2.3	0.48	0.36	0.23	0.13	0.173
5	4	3.1	0.60	0.49	0.36	0.24	0.296
6	5	3.8	0.70	0.58	0.49	0.34	0.405
7	10	7.2	1.00	0.86	1.00	0.74	0.857
8	15	10	1.18	1.00	1.38	1.00	1.176
9	25	14.8	1.40	1.17	1.95	1.37	1.636
10	35	18.8	1.54	1.27	2.38	1.62	1.967
11	50	23.3	1.70	1.37	2.89	1.87	2.323
12	65	29.6	1.81	1.47	3.29	2.16	2.667
13	95	39.6	1.98	1.60	3.91	2.55	3.160
14	125	48.6	2.10	1.69	4.40	2.84	3.537
15	185	60.8	2.27	1.78	5.14	3.18	4.044
16	265	76	2.42	1.88	5.87	3.54	4.558
17	325	86.5	2.51	1.94	6.31	3.75	4.866
TOTAL			21.986	17.334	39.694	25.462	31.718

Nota: procesamiento de datos. Elaboración propia

- Punto 4

Tabla 35

Aplicación de logaritmos – Ecosistema de bosque nativo – punto 4

Numero de datos	Tiempo acumulado	Lámina acumulada	log t	log I	log² t	log² I	log T * log I
1	0	0	0	0	0	0	0.000
2	1	2	0.00	0.30	0.00	0.09	0.000
3	2	4	0.30	0.60	0.09	0.36	0.181
4	3	5.5	0.48	0.74	0.23	0.55	0.353
5	4	7.3	0.60	0.86	0.36	0.75	0.520
6	5	8.7	0.70	0.94	0.49	0.88	0.657
7	10	13.2	1.00	1.12	1.00	1.26	1.121
8	15	18.5	1.18	1.27	1.38	1.61	1.490
9	25	26	1.40	1.41	1.95	2.00	1.978
10	35	36.1	1.54	1.56	2.38	2.43	2.405
11	50	46.5	1.70	1.67	2.89	2.78	2.833
12	65	56.6	1.81	1.75	3.29	3.07	3.178
13	95	67.3	1.98	1.83	3.91	3.34	3.615
14	125	83.4	2.10	1.92	4.40	3.69	4.029
15	185	90.4	2.27	1.96	5.14	3.83	4.435
16	265	101.6	2.42	2.01	5.87	4.03	4.863
17	325	115.9	2.51	2.06	6.31	4.26	5.185
TOTAL			21.986	22.003	39.694	34.919	36.842

Nota: procesamiento de datos. Elaboración propia

- Punto 5

Tabla 36

Aplicación de logaritmos – Ecosistema de bosque nativo – punto 5

Numero de datos	Tiempo acumulado	Lámina acumulada	log t	log I	log² t	log² I	log T * log I
1	0	0	0	0	0	0	0.000
2	1	0.8	0.00	-0.10	0.00	0.01	0.000
3	2	1.4	0.30	0.15	0.09	0.02	0.044
4	3	1.9	0.48	0.28	0.23	0.08	0.133
5	4	2.3	0.60	0.36	0.36	0.13	0.218
6	5	2.7	0.70	0.43	0.49	0.19	0.302
7	10	4.6	1.00	0.66	1.00	0.44	0.663
8	15	5.9	1.18	0.77	1.38	0.59	0.907
9	25	7.7	1.40	0.89	1.95	0.79	1.239
10	35	9.7	1.54	0.99	2.38	0.97	1.524
11	50	11.9	1.70	1.08	2.89	1.16	1.827
12	65	13.6	1.81	1.13	3.29	1.28	2.055
13	95	16.2	1.98	1.21	3.91	1.46	2.392
14	125	19.1	2.10	1.28	4.40	1.64	2.686
15	185	24	2.27	1.38	5.14	1.90	3.129
16	265	30.5	2.42	1.48	5.87	2.20	3.597
17	325	35	2.51	1.54	6.31	2.38	3.879
TOTAL			21.99	13.53	21.986	13.536	39.694

Nota: procesamiento de datos. Elaboración propia

De los datos reemplazados en las formulas propuestas, se han obtenido los siguientes resultados, ubicados en la Tabla 41 en el capítulo V de resultados y discusiones.

4.6.2. Evapotranspiración real

El procedimiento para estimar la evapotranspiración real, para ello se emplearon la data antes solicitada a la estación meteorológica Granja San Antonio, los datos meteorológicos requeridos para ingresar a la calculadora CUBHIC, fueron:

- Temperatura máxima
- Temperatura mínima
- Precipitaciones

Se tomaron datos meteorológicos del año 2022, de los 365 días del año, los cuales fueron ingresados a la calculadora CUBHIC, esta al estar predeterminado y con formulas establecidas, procedió a duplicar la data, es por ello que tenemos información de los años 2022 y 2023.

Además, en campo se realizó una evaluación visual sobre las condiciones de cobertura vegetal existentes en cada ecosistema evaluado. La metodología utilizada en la calculadora CUBHIC para determinar la vegetación, se tomó en cuenta rangos: pobre, regular y buena.

La estimación de la evapotranspiración real (ETR) ha sido calculada por día, no obstante, es importante indicar que los resultados obtenidos son por día para ello se procedió a sumar los datos diarios de cada año. El Gráfico 18, se encuentra en el capítulo V de resultados y discusiones.

Es importante señalar que los datos de evapotranspiración real (ETR) empleados en este estudio fueron obtenidos mediante la calculadora CUBHIC. Estos valores constituyen un insumo fundamental para comprender la dinámica hidrológica de los ecosistemas evaluados, ya que permiten estimar la magnitud de la pérdida de agua hacia la atmósfera por evaporación directa y transpiración vegetal. Asimismo, la ETR es un indicador clave para evaluar la eficiencia del ecosistema en la retención y regulación del recurso hídrico, aspectos esenciales para el mantenimiento del caudal base y la resiliencia frente a periodos de déficit hídrico.

4.6.3. Distribución de ecosistemas

Para la identificación de ecosistemas se toma referencia de la información solicitada al proyecto Ordenamiento Territorial de la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno regional de Apurímac.

Con el fin de identificación de los ecosistemas fue necesario la cartografía, que fue de utilidad en mencionado proyecto para poder identificar de las áreas con mayor densidad de vegetación en la región de Apurímac, a pesar de que solo será de ayuda en el sector intervenido, Ornado.

En el presente caso se elaboró un mapa de la distribución de los ecosistemas en el determinado lugar.

La identificación se realizó con apoyo del shapefile y memoria descriptiva del estudio de Ecosistemas del proyecto Zonificación Ecológica Económica (2023) del Gobierno Regional de Apurímac.

La distribución de ecosistemas en el sector Ornado fue identificada de la siguiente manera en la Figura 19, el cual se encuentra en el capítulo V de resultados y discusiones.

En la Figura se muestra los ecosistemas intervenidos en el sector Ornado, el mismo que cuenta con un área total de 10.5 ha, en el cual se encuentra el ecosistema de bosque nativo cuya área es de 0.86 ha y el ecosistema de bofedales cuenta con un área de 1.11 ha, cabe mencionar que según el estudio de Ecosistemas del proyecto Zonificación Ecológica Económica (2023) llevado a cabo por el Gobierno Regional de Apurímac del cual nos guiamos, indica que toda el área pertenece a ecosistema de pajonal, sin embargo, la intervención solo se realizó en 1.50 ha del ecosistema pajonal. En la tabla 44 se muestra las áreas de cada ecosistema.

4.6.4. Cuantificar oferta hídrica

Para la determinación de la oferta hídrica en los ecosistemas estudiados, se integró el análisis de variables hidrológicas fundamentales obtenidas mediante la calculadora CUBHIC, herramienta utilizada en la presente investigación, se consideraron las siguientes variables:

- Percolación
- Interflujo
- Caudal base
- Reservorio subsuperficial

Los resultados se encuentran en el capítulo V de resultados y discusiones, donde se muestra los datos de la oferta hídrica por cada variable.

4.7. Consideraciones éticas

Este proyecto de investigación es planteado mediante una profunda búsqueda de información y redactado de manera minuciosa y detallada en los aspectos más importantes a considerar, el cual pasará exhaustivamente por un software anti plagio para su mayor veracidad.

Asimismo, los antecedentes y fuentes que nos ayudaron y sirvieron como guía cuentan con sus respectivas citas bibliográficas, ello para evitar plagios y considerando el trabajo de los autores y editores.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Determinación de grupo hidrológico de suelos

La salida de campo se realizó con la finalidad de poder registrar datos respecto a la capacidad de infiltración que tiene el suelo para lograr determinar el grupo hidrológico al que pertenece cada ecosistema considerado por medio del método de la doble anilla.

- Ecosistema de pajonal

Tabla 37

Resultados de la aplicación de logaritmos - Ecosistema de pajonal

Pajonal	B	Log A	r ²	b	a	tb	I (cm)
P1	0.634	1.644	0.998	-0.366	1.042	219.621	8.688
P2	0.663	4.447	0.980	-0.337	2.946	202.485	29.449
P3	0.860	0.291	0.948	-0.140	0.250	83.9019	8.0791
P4	0.561	3.130	0.982	-0.439	1.756	263.354	9.128
P5	0.633	2.058	0.994	-0.367	1.303	219.972	10.827

Nota: Elaboración propia

La infiltración (I) obtenida en los 5 puntos del ecosistema pajonal, oscila o varía entre 8.6 y 29.4 cm con el que se obtiene la clasificación de acuerdo al grupo hidrológico, los mismos que se detalla en la tabla 37.

Tabla 38

Determinación del grupo hidrológico de los suelos – Ecosistema de pajonal

Pajonal	Tipo de suelo	Grupo hidrológico	Numero de curva (CN)
P1	Franco arcilloso	GH C	81
P2	Franco arenoso	GH B	
P3	Franco arcilloso	GH C	
P4	Franco arcilloso	GH C	
P5	Franco	GH C	

Nota: Elaboración propia

El ecosistema de pajonales presenta, en la mayoría de los puntos evaluados, clasificación en el grupo hidrológico de suelo C, lo que indica asociación con suelos de

textura arcillosa como menciona Mogil J. el cual presenta capas subsuperficiales impermeables. Asimismo, registra un número de curva (CN) de 81.

- Ecosistema de bofedal

Tabla 39

Resultados de la aplicación de logaritmos – Ecosistema de bofedal

Bofedal	B	Log A	r²	b	a	tb	I (cm)
P1	0.673	0.954	0.996	-0.327	0.642	196.257	6.850
P2	0.901	0.380	0.979	-0.099	0.342	59.323	13.717
P3	0.830	0.942	0.984	-0.170	0.782	101.755	21.420
P4	0.729	0.799	0.984	-0.271	0.582	162.552	8.795
P5	0.791	0.661	0.977	-0.209	0.523	125.200	11.458

Nota: Elaboración propia

La infiltración (I) medida en los cinco puntos del ecosistema de bofedal varía entre 6.8 y 21.4 cm. A partir de estos valores, se determina la clasificación correspondiente de acuerdo con el grupo hidrológico, como se presenta en la tabla 40.

Tabla 40

Determinación del grupo hidrológico de los suelos – Ecosistema de bofedal

Pajonal	Tipo de suelo	Grupo hidrológico	Numero de curva (CN)
P1	Franco arcilloso	GH C	81
P2	Franco	GH C	
P3	Franco arenoso	GH C	
P4	Franco arcilloso	GH C	
P5	Franco	GH C	

Nota: Elaboración propia

Los 5 puntos del ecosistema bofedal pertenecen al Grupo Hidrológico C, debido a que presenta características de suelos saturados y con alta proporción de materia orgánica, lo que limita su capacidad de infiltración tal como menciona Mogil J. Aunque los bofedales actúan como esponjas reteniendo agua en épocas húmedas y liberándola lentamente, su estructura tiende a generar un mayor escurrimiento superficial cuando están saturados.

Del mismo modo el ecosistema de bofedales presenta un numero de curva (CN) de 81.

➤ Ecosistema de bosque nativo

Tabla 41

Resultados de la aplicación de logaritmos - Ecosistema de bosque nativo

Bosque nativo	B	Log A	r²	b	a	tb	I (cm)
P1	0.725	3.096	0.975	-0.275	2.243	165.293	32.949
P2	0.862	0.183	0.983	-0.138	0.157	82.654	5.140
P3	0.833	0.869	0.985	-0.167	0.724	100.235	20.105
P4	0.697	2.617	0.988	-0.303	1.823	181.942	22.578
P5	0.778	1.335	0.976	-0.222	1.039	133.133	21.058

Nota: Elaboración propia

La infiltración (I) de la Tabla 41, cuenta con la medida en los cinco puntos del ecosistema de bosque nativo el cual varía entre 5.1 y 32.9 cm a partir de los cuales se determina la clasificación correspondiente de acuerdo con el grupo hidrológico, como se presenta en la Tabla 42.

Tabla 42

Determinación del grupo hidrológico de los suelos – Ecosistema de bosque nativo

Pajonal	Tipo de suelo	Grupo hidrológico	Numero de curva (CN)
P1	Arenoso	GH B	58
P2	Franco	GH B	
P3	Franco arenoso	GH B	
P4	Franco arenoso	GH B	
P5	Arcilloso	GH D	

Nota: Elaboración propia

La mayoría de los puntos considerados pertenecen al grupo hidrológico de suelos B lo que quiere decir que tienen una capacidad moderada de infiltración gracias a su contenido orgánico, de acuerdo a la agrupación por grupo hidrológico de suelos, elaborado por Mojil J. La densa cobertura vegetal ayuda a reducir el impacto de las precipitaciones y facilita la absorción de agua en el suelo, lo que permite un equilibrio entre infiltración y escurrimiento superficial.

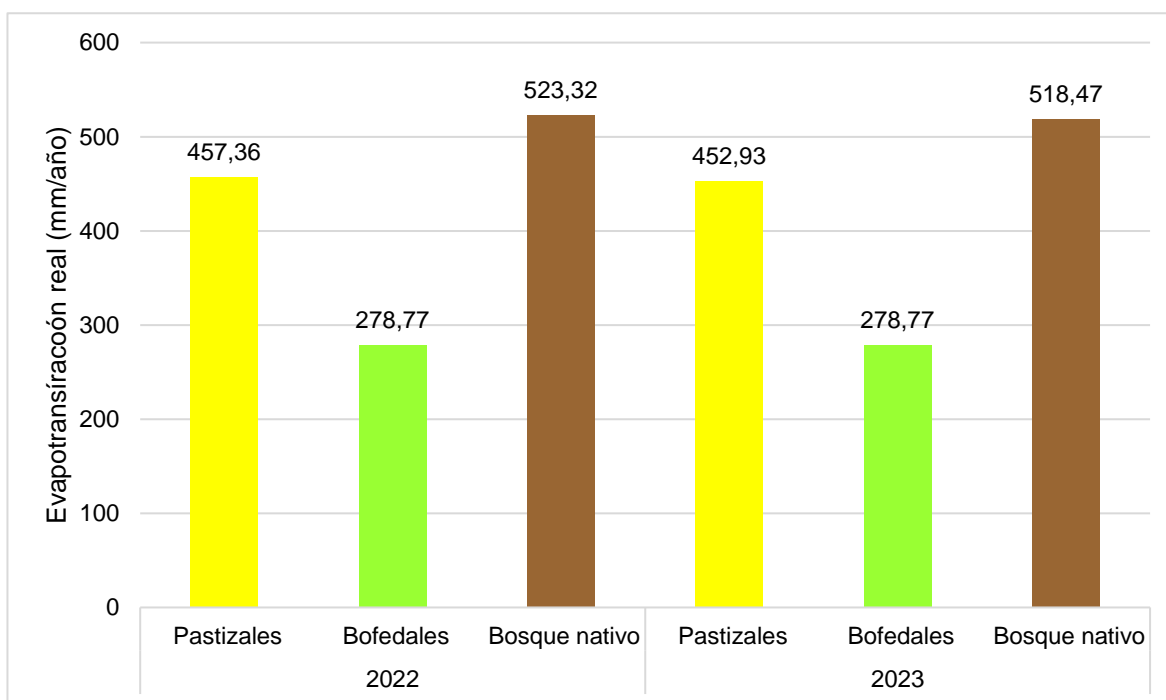
El ecosistema de bosque nativo presenta un numero de curva (CN) de 58.

5.1.2. Estimación de evapotranspiración real (ETR)

La evapotranspiración real (ETR) de los ecosistemas se han estimado en la calculadora CUBHIC, del cual se ha obtenido la Figura 18 con los siguientes datos:

Figura 18

Evapotranspiración real (ETR) en los períodos 2022 -2023



Nota: Elaboración propia

Se muestra en la Figura 18, la evapotranspiración real de los tres ecosistemas por cada año. Los valores presentados se derivan de la calculadora CUBHIC, la cual procesó información hidrológica básica empleada como insumo para el modelado y estimación de los parámetros analizados.

El ecosistema de pastizal presenta valores intermedios (457.36 mm/año y 452.93 mm/año), lo que se relaciona con su menor densidad de vegetación en comparación con el bosque, pero una capacidad moderada de infiltración y transpiración.

El ecosistema de bosque nativo tiene los valores más altos (523.32 mm/año y 518.47 mm/año), lo que refleja su densa cobertura vegetal y alta actividad transpiratoria, esto indica una mayor transferencia de agua a la atmósfera, influenciada por su capacidad de captar y liberar agua.

Finalmente, el ecosistema de bofedal tiene la evapotranspiración real más baja (278.77 mm/año), probablemente debido a la saturación constante de sus suelos, que limita la transpiración activa de las plantas y favorece la retención de agua en lugar de su transferencia a la atmósfera. Se presenta a continuación, en la Tabla 43, se detallan los datos por día, mes y año.

Tabla 43

Evapotranspiración real (ETR) día, mes y año

Evapotranspiración real (mm)	2022		
	día	mes	año
Pajonal	15.24 mm	38.11 mm	457.36 mm
Bofedal	9.29 mm	23.23 mm	278.77 mm
Bosque nativo	17.44 mm	43.61 mm	523.32 mm
Evapotranspiración real (mm)	2023		
	día	mes	año
Pajona	15.09 mm	37.74 mm	452.93 mm
Bofedal	9.29 mm	23.23 mm	278.77 mm
Bosque nativo	17.28 mm	43.20 mm	518.47 mm

Nota: Elaboración propia

La evapotranspiración real con respecto al ecosistema pastizal durante el año 2022 es de 457.36 mm/año, mientras que la evapotranspiración real en el 2023 es de 452.93 mm/año, existe una diferencia de 4.43 mm.

En el ecosistema de bofedal, se observa que la evapotranspiración real es de 278.77 mm/año, este dato se mantiene en el 2023. Finalmente, en el año 2022 la evapotranspiración real en bosque nativo es 523.32 mm/año y en el año 2023 presenta 518.47 mm/año, lo que indica que hay una diferencia de 4.85 mm.

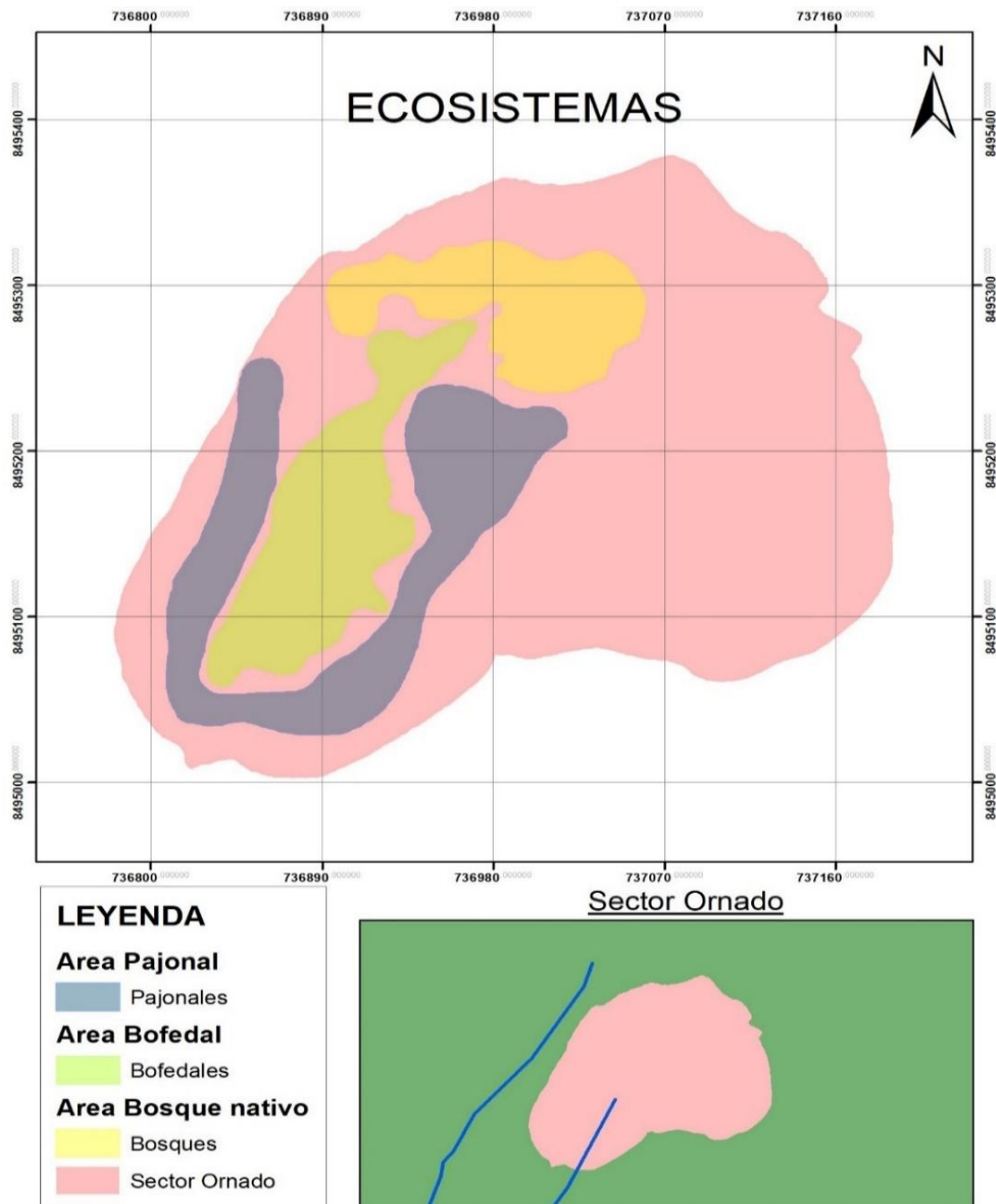
Por ende, el bofedal es el ecosistema que retiene más humedad, ya que su evapotranspiración es la más baja, lo que indica menor pérdida de agua. Seguido del pastizal se encuentra en un punto intermedio, con una evapotranspiración moderada y finalmente el bosque nativo tiene la mayor evapotranspiración, lo que sugiere que transpira mucha agua y tiene un balance hídrico más dinámico.

5.1.3. Identificación de distribución de ecosistemas

La distribución de ecosistemas en el sector Ornado fue identificada de la siguiente manera.

Figura 19

Ubicación de ecosistemas intervenidos



Nota: Elaboración propia

Tabla 44*Área de los ecosistemas*

ECOSISTEMAS	Área (ha)	Porcentaje
Pajonal (intervenido)	1.50	14.28 %
Bofedal	1.11	10.57 %
Bosque nativo	0.86	8.19 %
Área no intervenida	7.03	66.96%
Total	10.5	100%

Nota: Elaboración propia

El sector Ornado cuenta con 10.5 ha, del cual el ecosistema pajonal tiene un área de 1.50 ha representado el 14.28% del sector. El ecosistema de bofedal presenta un área total de 1.11 ha, el cual representa 10.57% del área en total, finalmente el ecosistema de bosque nativo cuenta con un área de 0.86 ha, siendo el 8.19% del área.

Demostrando que el área más pequeña es del ecosistema de bosque nativo. Además, se puede u observar que existe el área no intervenida el cual pertenece al ecosistema pajonal, esta área representa el 66.96%.

5.1.4. Cuantificación de la oferta hídrica mediante la metodología CUBHIC.

Para la cuantificación hídrica, se utilizaron datos obtenidos mediante la calculadora CUBHIC, en la cual se ingresaron únicamente variables meteorológicas básicas, como precipitación y temperaturas máxima y mínima.

- Ecosistema de pajonal

Tabla 45*Componentes hidrológicos en ecosistema de pajonal*

Variables (mm)	ECOSISTEMA DE PAJONAL	
	Años	
	2022	2023
Percolación (mm)	3190.30	2718.51
Interflujo (mm)	2195.29	2043.32
Caudal base (mm)	3154.00	2721.58
Reservorio subsuperficial (mm)	667093.58	635684.44
TOTAL(mm)	675633.1677	643167.8464

Nota: Elaboración propia

Figura 20

Oferta hídrica en los períodos 2022 – 2023 – Ecosistema de pajonal



Nota: Elaboración propia

En 2022, la oferta hídrica fue de 675,633.17 mm, lo que corresponde a un volumen de 6,756,331.7 m³. Sin embargo, en 2023, esta oferta descendió ligeramente a 643,167.85 mm, representando un volumen menor de 6,431,678.5 m³ en 1.50 ha.

El pajonal, aunque tiene una superficie más grande (1.50 ha), presentó un descenso moderado en la oferta hídrica, posiblemente debido a su menor densidad de vegetación y capacidad de retención de agua en comparación con el bosque nativo.

➤ Ecosistema de bofedal

Tabla 46

Componentes hidrológicos en ecosistema de bofedal

Variables (mm)	ECOSISTEMA DE BOFEDAL	
	Años	
	2022	2023
Percolación (mm)	3564.92	3167.29
Interflujo (mm)	1945.05	1861.91
Caudal base (mm)	3522.16	3169.74
Reservorio subsuperficial (mm)	579955.41	554356.71
TOTAL(mm)	588987.54	562555.65

Nota: Elaboración propia

Figura 21

Oferta hídrica en los períodos 2022 – 2023 – Ecosistema de bofedal



Nota: Elaboración propia

En 2022, la oferta fue de 588,987.54 mm, generando un volumen anual de 5,889,875.4 m³ en 1.11 ha. En 2023, esta oferta descendió a 562,555.65 mm, con un volumen de 5,625,556.5 m³.

El bofedal tuvo la oferta hídrica más baja en ambos años, lo que podría estar relacionado con la saturación constante de sus suelos, que limita su capacidad de captación de agua adicional.

- Ecosistema de bosque nativo

Tabla 47

Componentes hidrológicos en ecosistema de bosque nativo

ECOSISTEMA DE BOSQUE NATIVO		
Variables (mm)	Años	
	2022	2023
Percolación (mm)	2531.21	2087.67
Interflujo (mm)	1952.86	1777.40
Caudal base (mm)	2431.42	2098.00
Reservorio subsuperficial (mm)	670163.55	636324.74
TOTAL(mm)	677079.04	642287.80

Nota: Elaboración propia

Figura 22

Oferta hídrica en los períodos 2022 – 2023 – Ecosistema de bosque nativo



Nota: Elaboración propia

En 2022, registró 677,079.04 mm en un área de 0.86 ha, equivalente a un volumen anual de 6,770,790.4 m³. En 2023, la oferta bajó a 642,287.80 mm, representando 6,422,878 m³.

El bosque nativo tuvo la mayor oferta hídrica en ambos años, reflejando su capacidad para captar y liberar agua debido a su densa cobertura vegetal. Sin embargo, experimentó una reducción significativa en el volumen de agua disponible.

Estos descensos podrían estar influenciados por factores como la variabilidad climática (Vasquez & Quispe, 2023), cambios en la precipitación o alteraciones en las dinámicas de cada ecosistema, destacando la necesidad de monitorear su gestión y conservación.

5.2. Discusiones de los resultados

El análisis de los grupos hidrológicos y valores de número de curva (CN) obtenidos en el presente estudio muestra que el ecosistema de pajonal y el ecosistema de bofedal registran un CN de 81, ambos pertenecientes al grupo hidrológico de suelos C, caracterizado por una moderada a baja infiltración y potencial intermedio de escorrentía.

Por su parte, el ecosistema de bosque nativo presentó un CN de 58 y grupo hidrológico B, lo que indica una mayor capacidad de infiltración y menor escorrentía superficial. Estos resultados guardan relación con lo hallado por Franco (2022), quien mediante la metodología CUBHIC identificó que sistemas como bosques, plantaciones y reforestaciones presentan un grupo hidrológico B, asociado a baja generación de escorrentía y mejor infiltración, coherente con el comportamiento de nuestro bosque nativo. En contraste, Rosales (2023) reportó para la subcuenca del río Quillcay un CN ponderado de 72, con zonas de alto potencial de escorrentía vinculadas al grupo hidrológico D (NC=87) en suelos con poca vegetación, evidenciando que la vegetación juega un papel determinante para reducir escorrentía, tal como se aprecia en nuestro ecosistema de bosque nativo.

En relación con la evapotranspiración real (ETR), los valores anuales obtenidos muestran que el bofedal presenta la menor ETR (278.77 mm/año), seguido del pajonal y finalmente el bosque nativo con la mayor ETR (523.32 mm/año en 2022). Este patrón sugiere que el bofedal retiene más humedad, lo que coincide parcialmente con lo hallado por Núñez & Pinares (2024), quienes calcularon en bofedales de Rontoccocha una ETR mayor (363.7 mm/año). La diferencia de 84.93 mm/año podría explicarse por condiciones climáticas distintas, variación en la saturación del suelo o diferencias en la vegetación dominante. Asimismo, al comparar con Moreano (2021), quien valoró económicamente los flujos hidrológicos de la cuenca Mariño mediante CUBHIC y señaló que la vegetación con menor evapotranspiración contribuye a mayor disponibilidad de agua, se reafirma que el bofedal, con su baja ETR, cumple un rol crucial en la regulación hídrica local.

En términos de oferta hídrica, el bosque nativo fue el ecosistema con mayor valor en ambos años (6,770,790.4 m³ en 2022 y 6,422,878 m³ en 2023), seguido del pajonal y finalmente el bofedal. Estos resultados se asemejan a lo encontrado por Huasacca (2023) en la microcuenca Usquwillka, donde la mayor disponibilidad de agua se registró en áreas con buena cobertura vegetal, aunque el volumen total difiere (1,859,925 m³ solo en temporada de lluvias) debido a que nuestra investigación se desarrolla en un área de menor escala y diferente régimen hidrológico. De igual manera, el estudio de Huamán (2024) en el río Ayaviri, aplicando el modelo GR2M, mostró que las variaciones de caudal medio mensual responden a cambios estacionales y climáticos, lo cual también puede explicar el descenso observado entre 2022 y 2023 en nuestros ecosistemas.

El comportamiento de infiltración y escorrentía encontrado también se puede contrastar con Vega (2022) y Cuadros & Mercado (2021). Vega demostró que las prácticas de reforestación incrementan la infiltración y reducen la escorrentía, resultados coherentes con nuestro hallazgo de que el bosque nativo (GH B, CN 58) tiene mejor capacidad de infiltración que el pajonal o el bofedal. Asimismo, Cuadros & Mercado evidenciaron que las gochas aumentan significativamente el volumen de infiltración, lo que refuerza la idea de que intervenciones de manejo hídrico y cobertura vegetal densa pueden elevar la oferta hídrica y mejorar el balance hídrico, tal como se observa en

nuestro bosque nativo.

En cuanto a la metodología, el uso de la calculadora CUBHIC en esta investigación para estimar la oferta hídrica y ETR guarda similitudes con trabajos como el de Quintana (2022), quien la aplicó para evaluar beneficios hidrológicos de amunas, y el de Franco (2022), que la empleó en sistemas forestales. Esto refuerza la confiabilidad de los resultados y permite establecer comparaciones directas, destacando que, aunque las condiciones hidrológicas y ecosistémicas difieren, la herramienta permite evaluar consistentemente parámetros como infiltración, escorrentía y evapotranspiración.

Complementariamente, los hallazgos también coinciden con lo reportado por Saldaña et al. (2022), quienes determinaron que la disponibilidad de agua depende de la

combinación de factores climáticos y actividades antrópicas, patrón que explica la disminución registrada entre 2022 y 2023. De forma similar, Chávez (2019) evidenció que la variabilidad climática y la ubicación de los cuerpos de agua influyen en la oferta hídrica, lo cual se refleja en las diferencias observadas entre el pajonal y el bosque nativo. Por otro lado, Díaz y Alarcón (2018) demostraron que, incluso en épocas secas, el caudal mínimo puede ser suficiente para abastecer la demanda si la cuenca está bien conservada, condición comparable a la de nuestro bosque nativo. Finalmente, Mamani (2016) señaló que la cobertura vegetal y las características del suelo determinan la producción hídrica, hallazgo consistente con la mayor infiltración registrada en nuestro ecosistema de bosque nativo frente al pajonal y el bofedal.

En resumen, los resultados de esta investigación se alinean con la evidencia previa en cuanto a que la cobertura vegetal, el tipo de suelo y la condición hidrológica del ecosistema influyen de manera decisiva en la infiltración, escorrentía y oferta hídrica. Las diferencias numéricas frente a otros estudios pueden atribuirse a la variabilidad climática, la escala espacial de análisis, las características locales del suelo y el tipo de vegetación, así como a las metodologías complementarias empleadas.

VI. Conclusiones

1. Se cuantificó la oferta hídrica en los ecosistemas evaluados, evidenciándose una disminución en todos ellos entre 2022 y 2023. En el ecosistema pajonal, el volumen pasó de 6,756,331.7 m³ a 6,431,678.5 m³ en un área de 1.50 ha. El ecosistema bofedal registró una reducción de 5,889,875.4 m³ a 5,625,556.5 m³ en 1.11 ha. En el bosque nativo, el volumen disminuyó de 6,770,790.4 m³ a 6,422,878 m³ en 0.86 ha. Las mayores reducciones se observaron en los ecosistemas de pastizales y bosque nativo, posiblemente relacionadas con variaciones climáticas como menciona (Vasquez & Quispe) o factores ambientales específicos.
2. Se determinó el grupo hidrológico de cada ecosistema, el ecosistema pajonal presenta un suelo de grupo hidrológico C, el ecosistema bofedal pertenece al grupo hidrológico C y por último el ecosistema bosque nativo pertenece al grupo hidrológico B. La clasificación hidrológica de los suelos evidencia que el pajonal y el bofedal, al pertenecer al grupo C, presentan menor infiltración y mayor escurrimiento superficial, mientras que el bosque nativo, del grupo B, favorece la recarga hídrica. Esta información es esencial para estimar la escorrentía y orientar estrategias de manejo y conservación del agua en cada ecosistema.
3. Se determinó la evapotranspiración real (ETR) en los ecosistemas evaluados. En el pajonal, pasó de 15.24 mm/día (457.36 mm/año) en 2022 a 15.09 mm/día (452.93 mm/año) en 2023. El bofedal mantuvo constantes sus valores en 9.29 mm/día (278.77 mm/año), mientras que en el bosque nativo disminuyó levemente de 17.44 mm/día (523.32 mm/año) a 17.28 mm/día (518.47 mm/año). El ecosistema de bofedal presenta la mayor capacidad de retención de humedad, evidenciada por su menor valor de evapotranspiración real. Se confirma que el bofedal es el ecosistema con mayor capacidad de retención hídrica, seguido por el pajonal, mientras que el bosque nativo presenta la mayor pérdida de agua por evapotranspiración reflejando un balance hídrico de mayor movilidad. Esta información es clave para la gestión y conservación de los ecosistemas altoandinos,

ya que identifica al bofedal como el principal reservorio natural de agua debido a su baja evapotranspiración

4. Se identificó que el ecosistema pajonal tiene un área intervenida de 1.50 ha, el ecosistema bofedal cuenta con un área intervenida de 1.11 ha y finalmente el ecosistema de bosque nativo tiene un área de 0.86 ha. La identificación del área intervenida en cada ecosistema permitió contextualizar y dimensionar los resultados hídricos, facilitando la comparación entre ecosistemas.
5. El bofedal se identifica como el ecosistema con mayor capacidad de conservación de agua, debido a su alta retención de humedad. En comparación, el pajonal presenta un comportamiento intermedio, mientras que el bosque nativo, aunque favorece la recarga hídrica, registra mayores pérdidas por evapotranspiración. Por ello, el bofedal debe considerarse prioritario en las estrategias de gestión y conservación de los recursos hídricos altoandinos.

VII. Recomendaciones

- Implementar planes de manejo hídrico diferenciados por ecosistema, priorizando acciones en el pajonal y bosque nativo, que registraron las mayores reducciones de oferta hídrica, incluyendo técnicas de retención de agua como micro-reservorios y zanjas de infiltración.
- Fortalecer la conservación y recuperación del bofedal como principal reservorio natural de agua, estableciendo áreas de exclusión para evitar su degradación y regulando actividades que afecten su capacidad de retención hídrica.
- Desarrollar estrategias de control y restauración en áreas intervenidas, con énfasis en la revegetación y recuperación de coberturas naturales, especialmente en el pajonal (1.50 ha afectadas) y el bofedal (1.11 ha), para reducir la erosión y mejorar la infiltración.
- Monitorear anualmente la oferta hídrica y la evapotranspiración en los tres ecosistemas, incorporando variables climáticas y de uso del suelo, para ajustar de forma adaptativa las medidas de manejo y garantizar la sostenibilidad de los recursos hídricos altoandinos.
- Se sugiere a las entidades públicas o privadas y ONG's ampliar las áreas de intervención, especialmente en los ecosistemas más vulnerables, para aumentar su capacidad de retención y regulación del agua, favoreciendo la recuperación de las funciones ecosistémicas y su resiliencia frente a cambios climáticos.

VIII. Referencias

- Aguilar M. (febrero de 2017). "Análisis de la disponibilidad hídrica en relación con los problemas de acceso al agua para consumo humano en las comunidades de la cuenca alta del río Turrubares, Puriscal, Costa Rica". Heredia, Costa Rica.
- Allen R., G. P. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Roma.
- ANA. (diciembre de 2013). Plan Nacional de Recursos Hídricos del Perú. Lima, Perú.
- ANA, A. N. (2009). Medidas Para la Adaptacion al Cambio Climatico. *Diagnostico Situacional de Recarga de Acuíferos*. Lima, Perú.
- Arias F. (22 de abril de 2022). Estimación del balance hidrico superficial para evaluar la variacion de almacenamiento del agua en la cuenca Crisnejas durante el período1985 - 2010. Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua [ANA]. (junio de 2012). *Portal de ANA*. <https://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/chira-piura/O#:~:text=La%20oferta%20h%C3%ADdrica%20de%20una,sociales%20y%20econ%C3%B3micas%20del%20hombre>.
- Ballarín P. (s.f.). *Biología-Geología*. Biología-Geología: https://biologia-geologia.com/geologia/5232_ciclo_hidrologico.html#percolacion
- BANCO INTERAMERICADO DE DESARROLLO. (diciembre de 2021). COVID-19 y las migraciones de la ciudad al campo en el Perú: Identificación de amenazas y oportunidades para el uso sostenible del capital natural. *COVID-19 y las migraciones de la ciudad al campo en el Perú: Identificación de amenazas y oportunidades para el uso sostenible del capital natural*. Perú.
- Breña A., J. M. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. Ciudad de México.
- Campos y Martinez . (2012). "La observación, un método para el estudio de la realidad". Ciudad de México.

- Carazas G. (06 de enero de 2022). Oferta y demanda de agua de riego de los usuarios del canal mariño de Abancay 2017 – 2018. Abancay, Perú.
- Castillo M, Inoñán R. (2 de julio de 2018). Determinación del balance hídrico en la cuenca del río Chicama, región La Libertad, 2016. Lima, Perú.
- CENEPRED. (2013). *Escenario probable de riesgos ante el fenómeno "la niña" en la costa del Perú*. Lima.
- CENEPRED. (2024). *Escenario de riesgo por déficit hídrico ante condiciones EL NIÑO para el período de lluvias 2023 - 2024*. Lima.
- Cervantes et al. (29 de agosto de 2021). Contribución de los ecosistemas altoandinos en la provisión del servicio ecosistémico de regulación hídrica. Abancay, Perú.
- Chacón J. (2003). *Cybertesis UACH*.
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/fifc431e/xhtml/sdx/fifc431e-TH.3.xhtml>
- Chavez M. (13 de junio de 2019). Determinación de la oferta del recurso hídrico en la parte alta de la cuenca del río chinchiná. Manizales, Colombia.
- Comisión Nacional de Riego. (2009). *Proyecto SEPOR - Infiltración del agua en el suelo*. Santiago de Chile.
- CONDESAN. (mayo de 2014). Apoyo a la SUNASS y sus respectivas EPS en el diseño e implementación de mecanismos de compensación ambiental y manejo de cuenca en el marco de la Ley de Modernización de los Servicios de Saneamiento (Ley N°30045). Abancay, Perú.
- Condori, & P. (2016). *El agua subterránea del manantial Marcamarca - Abancay, estado actual y propuesta de mejora*. Abancay.
- Contreras C. (2017). *Delimitación de la faja marginal de las quebradas afluentes al río Mariño, en el ámbito del distrito de Abancay*. Abancay.
- Corponariño. (2011). PORH_Q.MIRAFLORES_Parte_3. Bogotá, Colombia.
- Cuadros B, Mercado Medalit. (13 de diciembre de 2021). *Práctica ancestral de cosecha de agua, para el aprovechamiento y almacenamiento*. Lima, Perú.

- Cuadros J. (10 de setiembre de 2020). Modelamiento hidrológico de la sub cuenca del río pachachaca con precipitación proveniente de satélite, departamento de Apurímac. Arequipa, Perú.
- Delgadillo O., P. L. (2016). *Medición de la infiltración - Método de la doble anilla*. Cochabamba.
- Díaz A., & M. (26 de marzo de 2017). Determinación del número de curva en la subcuenca de Betancí (Córdoba, Colombia) mediante teledetección y SIG. Colombia.
- Díaz L, Alarcon J. (junio de 2018). Estudio hidrológico y balance hídrico para determinar la oferta y la demanda de agua de la cuenca de la quebrada niscota para un acueducto interveredal en nunchía, casanare. Bogotá, Colombia.
- Doorenbos, J. &. (1977). *Guidelines for predicting crop water requirements*. Roma.
- Dueñas L., Acosta D. (2018). Análisis de la influencia de la cobertura vegetal sobre la regulación hídrica en la cuenca del río unete en el municipio de Aguazul-casanare. Bogotá, Colombia.
- ENFEN. (28 de abril de 2023). Estado del sistema de alerta: Alerta de El Niño costero. Lima, Perú.
- EUROCLIMA. (s.f). *Agua para Abancay y comunidades, para siempre*. Abancay.
- FAO. (febrero de 2011). El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque . México.
- FAO. (s.f). *Portal de Suelos de la FAO*. <https://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>
- Franco A. (2022). Análisis del efecto de infraestructura verde para la protección del recurso hídrico en las microcuencas del río Segundo y río Ciruelas, Heredia, Costa Rica. Turrialba, Costa Rica.
- Franco A. (2022). Análisis del efecto de infraestructura verde para la protección del recurso hídrico en las microcuencas del río Segundo y río Ciruelas, Heredia, Costa Rica. Costa Rica .

- Gavilan M. (15 de noviembre de 2020). Oferta hídrica y demanda hídrica de la Laguna de Tipicocha, Distrito de Apata – Jauja – Junín, 2020. Huancayo , Junín.
- GeoEnciclopedia*. (s.f.). <https://www.geoenciclopedia.com/elementos-del-clima/>
- Grey C. (8 de diciembre de 2020). *United Peruvian Youth*. <https://www.unitedperuvianyouth.com/post/bofedales-ecosistema-altoandino-en-peligro>
- Guevara G., V. A. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Recimundo*, 166.
- HELVETAS. (2022). *Sitio Portal de Helvetas*. <https://www.helvetas.org/es/peru/lo-que-hacemos/como-trabajamos/nuestros-proyectos/America-latina/Peru/peru-aguaabancay>
- Hénandez R., Fernández C., Baptista L., (abril de 2014). Metodología de la investigación. Ciudad de Mexico, México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hernández O. (2020). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *ECIMED*.
- Hernandez Sampieri R. (1994). *Metodología de la investigación*. México: Atlas.
- Hernández Sampieri R. (2014). *Metodología de la investigación*. México: INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hoyos Marín J. (2022). EL fenómeno del niño y la niña y su impacto en la seguridad alimentaria y desempeño educativo en latinoamérica. *El fenómeno del niño y la niña y su impacto en la seguridad alimentaria y desempeño educativo en latinoamérica*. Cali, Colombia.
- Huaman F. (2024). Determinación de la oferta hídrica del río Ayaviri mediante la generación de descargas medias mensuales aplicando el modelo hidrológico GR2M, 1964-2018. Moquegua, Perú.

- Huasacca E. (2023). Determinación de la oferta hídrica de la microcuenca Usquwillka con fines de represamiento, distrito Quinoa – Huamanga – Ayacucho, 2022. Ayacucho, Perú.
- INDECI. (2007). *Mapa de peligros de la ciudad de Abancay*. Abancay.
- INEI. (22 de octubre de 2018). *Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas*. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas: <https://censo2017.inei.gov.pe/poblacion-del-departamento-de-apurimac-totalizo-405-mil-759-personas-al-2017/#:~:text=Seg%C3%BAn%20los%20resultados%20de%20los,35%20mil%20382%20son%20mujeres>.
- INEI. (22 de octubre de 2018). *INEI Noticias*. <https://censo2017.inei.gov.pe/departamento-de-apurimac-tiene-405-759-habitantes/#:~:text=El%20distrito%20m%C3%A1s%20poblado%20del,y%2035%200382%20son%20mujeres>.
- INIA. (20 de mayo de 2015). INIA Tacuarembó. *Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas*. Tacuarembó, Uruguay.
- Iruri X., e. a. (2023). *Ecosistemas*. Abancay.
- Julcamoro J. (10 de setiembre de 2017). Evaluación de la disponibilidad del recurso hídrico en la microcuenca del río el tuyo en el distrito de Catilluc, provincia de San Miguel – Cajamarca, 2017. Cajamarca, Cajamarca.
- Mamani C. (2016). Determinación de la oferta hídrica por el medio de aplicación del modelo SWAT en condiciones de poca información hídrica en la cuenca Azanaque (Prov. Sebastián Pagador – Oruro). La Paz, Bolivia.
- Mamani C. (3 de mayo de 2017). Determinación de la oferta hídrica por el medio de aplicación del Modelo Swat en condiciones de poca información hídrica en la Cuenca Azanaque (Prov. Sebastián Pagador – Oruro). La Paz, Bolivia.

Mamani C. (s.f.). Determinación de la oferta hídrica por el medio de aplicación de la oferta hídrica por el medio de aplicación del modelo swat en condiciones de poca información hídrica en .

Marcos et al. (18 de mayo de 2021). *Banco interamericano de desarrollo*. Banco interamericano de desarrollo: <https://blogs.iadb.org/sostenibilidad/es/migraciones-por-covid-19-oportunidades-y-retos-para-una-recuperacion-sostenible-en-el-peru/#:~:text=El%20estudio%20estima%20que%20durante,a%20sus%20zonas%20de%20origen>.

Martines E. (2007). Definiciones de humedad y su equivalencia. México.

Martinez D. (mayo de 2019). Determinación de oferta hídrica de la cuenca Río Lebrija para el abastecimiento de agua para actividades de extracción de hidrocarburos mediante la técnica de fracturamiento hidráulico en el municipio de San Martín, Cesar. Bogotá, Colombia.

McCammon B. (junio de 1998). A Framework for analyzing the hydrologic condition of watersheds. USA.

MINAM. (2019). Definiciones conceptuales de los ecosistemas del Perú. Perú.

MINAM. (noviembre de 2019). Guía de evaluación del estado del ecosistema de Bofedal. Lima, Perú.

MINAM. (noviembre de 2019). Guía de evaluación del estado del Ecosistema de bofedal. Lima, Perú.

MINAM. (setiembre de 2022). Guía de evaluación del estado de los ecosistemas de bosque relicto: bosque relicto montano de vertiente occidental, bosque relicto altoandino y bosque relicto mesoandino. Lima, Perú.

Ministerio de Agricultura. (marzo de 2014). Manual Técnico Manejo del Bosque Nativo. Concepción, Chile.

Ministerio Del Medio Ambiente Y Agua. (2010). Delimitación y Codificación de Unidades Hidrográficas de Bolivia. La Paz, Bolivia.

- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f.). *AEMET*.
https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/vigilancia_sequia/ayuda
- Mogil J., N. J. (2012). *Infiltración y grupos hidrológicos de suelos en las laderas de los páramos (VALLADOLID)*. Palencia.
- Moreano C. (24 de agosto de 2021). Valoración económica de los flujos hidrológicos y la biodiversidad por el uso del agua en la cuenca del río mariño. Abancay, Apurímac.
- Nacional, I. G. (s.f.). *Evapotranspiración potencial (etp) media anual*.
- Noticias ONU. (31 de agosto de 2022). *Naciones Unidas*. Naciones Unidas:
<https://news.un.org/es/story/2022/08/1513812>
- Núñez J., P. E. (2024). Influencia de la infiltración en la capacidad de recarga hídrica utilizando la metodología CUBHIC en bofedales de la microcuenca Rontoccocha Abancay – 2023. Abancay, Perú.
- Núñez S. (23 de diciembre de 2020). *Ecología Verde*.
<https://www.ecologiaverde.com/elementos-y-factores-del-clima-3167.html>
- Ochoa B, C. J. (agosto de 2022). CUBHIC 2.0: Documento metodológico: amunas. Lima, Perú: Forest Trends Association.
- Ochoa B. (22 de agosto de 2022). *Forest Trends*. <https://www.forest-trends.org/publications/cubhic-2-0/>
- ONU. (21 de marzo de 2021). *ONU HABITAD*. <https://onu-habitat.org/index.php/comprender-las-dimensiones-del-problema-del-agua>
- Organización Meteorológica Mundial. (abril de 2023). El Niño/La Niña Hoy.
- Pérez G. (s.f.). *Ciclo Hidrológico .com*. Ciclo Hidrológico .com:
<https://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>
- Quintana A. (30 de septiembre de 2022). Amunas en la microcuenca Sansare como mecanismo de adaptación frente al cambio climático. Lima, Perú.
- Ramos E. (11 de febrero de 2021). *AGRARIA.PE*. <https://agraria.pe/noticias/serfor-identifica-8-2-millones-de-hectareas-degradadas-para-->

- SERFOR. (17 de diciembre de 2020). Ficha Técnica de Estado de Conservación. *Ficha Técnica de Estado de Conservación*. Huánuco.
- SINGH, M. N. (2011). *Demarcación de la posible recarga de aguas subterráneas*. India: Científico investigación y ensayos.
- SINIA. (13 de junio de 2019). *Portal del Ministerio del Ambiente*. <https://sinia.minam.gob.pe/indicadores/perdida-cobertura-vegetal-ecosistemas-costeros-andinos>
- Técnicas de Estudio. (s.f.). *Técnicas de Estudio*. <https://www.tecnicas-de-estudio.org/investigacion/investigacion39.htm>
- Tejada A. (enero de 2018). La humedad en la atmósfera . *La humedad en la atmósfera: Bases físicas, instrumentos y aplicaciones*. Lima, Perú.
- Trends, F. (22 de agosto de 2022). *Forest Trends Org*. <https://www.forest-trends.org/publications/cubhic-2-0/>
- Valderrama S. (noviembre de 2015). Pasos para elaborar proyectos de investigación científica. Lima, Perú: San Marcos.
- Valdivieso A. (2020). *iAgua*. <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-escorrentia#:~:text=Se%20define%20como%20la%20relaci%C3%B3n,ca%C3%A9Dda%20y%20el%20agua%20filtrada>.
- Vargas P. (julio de 2009). El Cambio Climático y Sus Efectos en el Perú. Lima, Perú.
- Vargas Z. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 5.
- Vasquez H., Q. Y. (2023). *Plan de preparación ante emergencias y desastres de la EPS EMUSAP Abancay s.a. 2024 - 2028*. Abancay.
- Vega I. (08 de agosto de 2022). Estudio de los beneficios hidrológicos en función de las prácticas de reforestación y forestación de áreas degradadas en zona de recarga de la subcuenca del Río Teaone en Esmeraldas- Ecuador. Turrialba, Costa Rica.
- Vizcaino P., C. R. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina*, 14.

Werner J. (1996). Hidrogeología. En Werner J., *Hidrogeología*. Nuevo León.

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