

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS
COMPONENTES DEL BALANCE HÍDRICO DE UN
PAJONAL ALTOANDINO EN LA DINÁMICA DEL
AGUA EDÁFICA DE UN BOFEDAL, EN LA
QUEBRADA LLACA - PARQUE NACIONAL
HUASCARÁN 2016-2017”**

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

AUTOR:

Bach. YENIFER LILIANA JIMÉNEZ GARCÍA

ASESOR:

Ing. HELDER EDEGARDO MALLQUI MEZA

Huaraz, Ancash, Perú

Diciembre, 2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS
COMPONENTES DEL BALANCE HÍDRICO DE UN
PAJONAL ALTOANDINO EN LA DINÁMICA DEL
AGUA EDÁFICA DE UN BOFEDAL, EN LA
QUEBRADA LLACA - PARQUE NACIONAL
HUASCARÁN 2016-2017”**

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

AUTOR:

Bach. YENIFER LILIANA JIMÉNEZ GARCÍA

ASESOR:

Ing. HELDER EDEGARDO MALLQUI MEZA

Huaraz, Ancash, Perú

Diciembre, 2018



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN, PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM

Conforme al Reglamento Nacional de Trabajos de Investigación – RENATI

Resolución de Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: JIMENEZ GARCIA YENIFER LILIANA

Código de alumno: 121.0605.010

Teléfono: 968398147

Correo electrónico: yl.jimenez.g@gmail.com DNI: 70140544

2. Datos del Autor:

Trabajo de investigación

Trabajo académico

Trabajo de suficiencia profesional

Tesis

3. Título profesional o grado académico:

Bachiller

Título

Segunda especialidad

Licenciado

Magister

Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

“ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS COMPONENTES DEL BALANCE HÍDRICO DE UN PAJONAL ALTOANDINO EN LA DINÁMICA DEL AGUA EDÁFICA DE UN BOFEDAL, EN LA QUEBRADA LLACA - PARQUE NACIONAL HUASCARÁN 2016-2017”

5. Facultad de: CIENCIAS DEL AMBIENTE

6. Escuela, Carrera o Programa: INGENIERÍA AMBIENTAL

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: MALLQUI MEZA HELDER EDEGARDO

Teléfono: 942677887

Correo electrónico: heldermm@yahoo.es

DNI: 31665172

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito respecto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma:

D.N.I.: 70140544

FECHA: Huaraz, 28 de abril de 2019



ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el Auditorium de la FCAM-UNASAM, de conformidad a la normatividad vigente conducen el Acto Académico de Sustentación y Defensa de Tesis **ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS COMPONENTES DEL BALANCE HÍDRICO DE UN PAJONAL ALTOANDINO EN LA DINAMICA DEL AGUA EDÁFICA DE UN BOFEDAL, EN LA QUEBRADA LLACA - PARQUE NACIONAL HUASCARÁN 2016 - 2017**, que presenta **JIMENEZ GARCIA YENIFER LILIANA** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Ambiental**.

En seguida, después de haber atendido la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

APROBADO

Con el calificativo de: **DIECISEIS (16)**

En consecuencia, **JIMENEZ GARCIA YENIFER LILIANA** queda expedito para que el Consejo de Facultad de la Facultad de Ciencias del Ambiente de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" apruebe el otorgamiento de su **Título Profesional de Ingeniero Ambiental** de conformidad al Art. 113 numeral 113.9 del Reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario - Rector N° 232-2017-UNASAM).

Huaraz, 04 de Diciembre de 2018

Dr. Heraclio Fernando Castillo Picón
Presidente
Jurado de sustentación

Dr. Eladio Guillermo Tuya Castillo
Secretario
Jurado de sustentación

MSc. Rosa Deifilia Rodríguez Anaya
Vocal
Jurado de sustentación

Ing. Hélder Edegardo Mallqui Meza
Asesor de tesis

DEDICATORIA

A Dios.

Dedicado a la fortaleza y constancia, virtudes que dirigen al ser humano a la victoria.

A todos los que aman la vida, y se esfuerzan por dejar un mundo mejor.

A nuestra madre Tierra, tan sabia, que satisface las necesidades del ser humano, pero no su ambición.

Al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM).

Al Parque Nacional Huascarán, que nos brinda los servicios ecosistémicos y con todo lo que la componen hacen de ella un espacio de gran importancia para la humanidad.

A los ecosistemas de montaña, torres de agua, que en ella gesta la sabiduría, belleza, energía sin igual.

A los que hacen posible lo imposible, y comprenden que el éxito empieza por la voluntad del hombre.

Yenifer Liliana Jiménez García

AGRADECIMIENTOS

Mi más profundo agradecimiento al Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) y a los profesionales que la conforman, en especial los profesionales de la Dirección de Ecosistemas de Montaña (DIEM), Ing. David Ocaña Vidal, Ing. Jaime Rosales Pereda, Ing. Herbert Valverde Balabarca e Ing. Helder Mallqui Meza, quienes gestionaron el financiamiento del estudio, aportaron con el criterio científico y técnico para la ejecución de la presente investigación.

Gracias a mis padres Narciso y Armanda que con su ejemplo motivan a levantarse, caminar y disfrutar de la vida. Gracias hermanos, Rosmery, Carlos y Álvaro por su compañía en los momentos más hermosos y difíciles. Gracias a mis abuelos Ciro y Sebastiana que son mi inspiración eterna, quienes fueron la base para trajar por este maravilloso camino del conocimiento.

Gracias a mi Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, gracias a la Facultad Ciencias del Ambiente, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, gracias a mis maestros que me han guiado en el camino de formación como profesional y ser humano.

A mis jurados, los Ingenieros Heraclio Castillo Picón, Eladio Tuya Castillo y Rosa Rodríguez Anaya a quienes agradezco por su labor y valiosas observaciones que fueron una oportunidad para mejorar la investigación.

Mi agradecimiento especial al Ingeniero Rafael Figueroa Tauquino con quien iniciamos el presente trabajo de investigación.

Gracias a Dayana Acuña Valverde, Danny Robles Sánchez, Yulfo Azaña Velásquez, Deysi Gonzales Silva y Carlos Jiménez García, personas que me ayudaron en las evaluaciones de campo.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo estudiar la influencia de los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino en la dinámica del agua edáfica de un bofedal, en la quebrada Llaca-Parque Nacional Huascarán 2016-2017.

El nivel de investigación corresponde a la investigación correlacional, ya que el estudio planteó realizar medición de variables independientes (componentes del balance hídrico) y variable dependiente (nivel de agua edáfica) y determinar el grado de relación entre dichas variables.

La muestra de investigación, fueron dos parcelas conformado por pajonal altoandino y bofedal (clausurada y testigo) ubicadas en la quebrada de Llaca-PNH y seleccionadas previamente por el INAIGEM en el mes de febrero del 2016.

El estudio comprendió la recolección de datos en un año (septiembre 2016-agosto 2017).

Los resultados demostraron que en la parcela clausurada hubo mayor almacenamiento de agua en el suelo (1850.11 mm) en comparación con la parcela testigo (1760.72 mm). En cuanto a la dinámica del agua edáfica, en la parcela clausurada (P-C) existe mínima variación de niveles de agua edáfica entre la época húmeda y seca en relación de 10:1 y en la parcela testigo (P-T) en relación de 100:1; es decir, existe mayor pérdida de agua en la parcela testigo, influenciado por la alteración biótica del ecosistema en términos de suelo desnudo y alteración de la distribución de la vegetación. Así mismo, la determinación del grado de relación con un nivel de significancia del 5% entre los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino y la dinámica del nivel de agua edáfica en el bofedal, demuestra que, en la parcela clausurada con un $R^2=-0.440$ no existe relación entre las variables y en la parcela testigo con $R^2=0.700$ existe relación entre las variables.

Palabras Clave: Parcela clausurada, parcela testigo, pajonal altoandino, bofedal, almacenamiento de agua en el suelo, nivel de agua edáfica.

ABSTRAC

The objective of this research was to study the influence of the components of the water balance of a high Andean grassland in the edaphic water dynamics of a bofedal, in the Llaca creek-Huascarán National Park 2016-2017.

The level of research corresponds to the correlational investigation, since the study proposed to measure independent variables (water balance components) and dependent variable (edaphic water level) and determine the degree of relationship between these variables.

The research sample, were two plots made up of high Andean pajonal and bofedal (closed and witness) located in the gully of Llaca-PNH and previously selected by the INAIGEM in February 2016.

The study included data collection in one year (September 2016-August 2017).

The results showed that, in the closed plot there was greater storage of water in the soil (1850.11 mm) compared to the control plot (1760.72 mm). Regarding the edaphic water dynamics, in the enclosed plot (PC) there is minimal variation of edaphic water levels between the wet and dry season in relation of 10: 1 and in the control plot (PT) in relation of 100: 1, that is, there is greater water loss in the control plot, influenced by the biotic alteration of the ecosystem in terms of bare soil and alteration of the vegetation distribution. Likewise, the determination of the degree of relationship with a level of significance of 5% between the components of the water balance of a high Andean grassland and the dynamics of the edaphic water level in the bofedal, shows that, in the plot closed with an $R^2 = -0.440$ there is no relationship between the variables and in the control plot with $R^2 = 0.700$ there is a relationship between the variables.

Keywords: Parcel closed, control plot, high Andean grassland, bofedal, water storage in the soil, level of edaphic water.

INDICE

CONTENIDO	Pág.
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ABSTRAC	vi
INDICE	vii
LISTA DE TABLAS	xi
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE MAPAS	xiii
LISTA DE ABREVIATURAS	xiii
LISTA DE UNIDADES	xiv
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	3
1.2. Formulación del problema	4
1.3. Hipótesis	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos	4
1.5. Limitaciones de la investigación	5
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes	6
2.2. Base teórica	8
2.2.1. Ciclo hidrológico	8
2.2.2. Ecosistemas de montaña y el agua	9
2.2.3. Balance hídrico de suelo y sus componentes	11
2.2.4. Nivel de agua edáfica y propiedades edáficas con influencia hídrica	17

2.2.5.	Proceso de degradación, recuperación de pajonales degradados y su relación con el balance hídrico del suelo	21
2.3.	Definición de términos	24
2.3.1.	Ciclo hidrológico	24
2.3.2.	Pajonal altoandino	24
2.3.3.	Bofedal	25
2.3.4.	Balance hídrico	25
2.3.5.	Precipitación	25
2.3.6.	Evapotranspiración	25
2.3.7.	Infiltración	25
2.3.8.	Escorrentía	25
2.3.9.	Almacenamiento de agua	26
2.3.10.	Agua edáfica	26
CAPÍTULO III		
MÉTODOS Y MATERIALES		
3.1.	Nivel y diseño de investigación	27
3.1.1.	Nivel de investigación	27
3.1.2.	Diseño de la investigación	27
3.1.3.	Enfoque de investigación	27
3.2.	Diseño y caracterización de la muestra	28
3.2.1.	Universo o población.	28
3.2.2.	Muestra	28
3.2.3.	Características de la quebrada Llaca	28
3.2.4.	Actividad económica	33
3.3.	Descripción de la parcela clausurada y la parcela testigo	37
3.3.1.	Parcela clausurada (P-C)	37
3.3.2.	Parcela testigo (P-T)	37
3.3.3.	Características de suelos	38
3.4.	Diseño de la investigación	40
3.5.	Métodos	41
3.5.1.	Monitoreo de variables meteorológicas en las parcelas	42
3.5.2.	Determinación de precipitación mensual con imágenes satelitales de precipitación TRMM 3B43 V7	43
3.5.3.	Determinación de biomasa forrajera verde en la época seca en las parcelas de pajonal altoandino	44

3.5.4.	Cálculo de la Evapotranspiración con FAO Penman-Monteith en las parcelas de pajonal altoandino	46
3.5.5.	Estimación de escorrentía en las parcelas de pajonal altoandino	47
3.5.6.	Determinación de la infiltración en las parcelas de pajonal altoandino	50
3.5.7.	Determinación del almacenamiento de agua en las parcelas de pajonal altoandino	51
3.5.8.	Determinación del nivel de agua edáfica	52
3.5.9.	Análisis estadístico de la información	53
3.6.	Recursos	53
3.6.1.	Recursos humanos.	53
3.6.2.	Bienes y servicios.	54
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		55
4.1.	Caracterización meteorológica de las parcelas y precipitación mensual en el pajonal altoandino	55
4.2.	Estimación de la biomasa forrajera verde en las parcelas de pajonal altoandino en época seca	57
4.2.1.	Estimación de la biomasa forrajera verde en el pajonal altoandino de la parcela clausurada (P-C)	57
4.2.2.	Determinación de la biomasa forrajera verde en el pajonal altoandino de la parcela testigo (P-T)	58
4.3.	Estimación de las salidas mensuales del balance hídrico en las parcelas de pajonal altoandino	60
4.3.1.	Estimación de la evapotranspiración de cultivo (ETc) en las parcelas de pajonal altoandino	60
4.3.2.	Estimación de la Escorrentía superficial en las parcelas de pajonal altoandino	62
4.3.3.	Estimación de la infiltración en las parcelas de pajonal altoandino	64

4.4.	Cálculo del almacenamiento de agua mensual en las parcelas de pajonal altoandino	78
4.5.	Análisis del nivel de agua edáfica diario del bofedal con respecto a la precipitación en las parcelas de investigación	80
4.5.1.	Análisis del nivel de agua edáfica y la precipitación en la parcela clausurada (P-C)	96
4.5.2.	Análisis del nivel de agua edáfica y la precipitación en la parcela testigo (P-T)	98
4.5.3.	Análisis del nivel de agua edáfica y precipitación en las parcelas de investigación	100
4.6.	Análisis estadístico	103
4.6.1.	Análisis estadístico de la influencia de los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino en la dinámica del agua edáfica de un bofedal	105
4.6.2.	Diagrama de cajas de nivel de agua edáfica en las parcelas	107
CAPÍTULO V		
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		110
5.1.	CONCLUSIONES	110
5.2.	RECOMENDACIONES	111
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		113
ANEXOS		116
Anexo 1.	Pruebas estadísticas	117
Anexo 2.	Galería fotográfica	122

LISTA DE TABLAS

CONTENIDO	Pág.
Tabla 1 Comparación de propiedades del suelo según su textura, adaptado de Alfaro (2015).	20
Tabla 2 Coordenadas UTM de las parcelas de investigación	40
Tabla 3 Operacionalización de variables	41
Tabla 4 Caracterización de las muestras	41
Tabla 5 Coordenadas UTM de la ubicación de estación meteorológica	43
Tabla 6 Coordenadas UTM de los cuadrantes para toma de muestra adaptado de Azaña (2017)	45
Tabla 7 Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo adaptado de Hernández, et al. (2007)	49
Tabla 8 Estaciones de infiltración por época en el pajonal altoandino	51
Tabla 9 Capacidad de campo (%) en volumen de Pajonal Intervenido adaptado de Muñoz (2016)	52
Tabla 10 Coordenadas UTM de la ubicación de piezómetros	53
Tabla 11 Datos meteorológicos registrados del mes de septiembre del 2016 al mes de agosto 2017	56
Tabla 12 Biomasa forrajera verde en la parcela clausurada (P-C)	58
Tabla 13 Biomasa forrajera verde en la parcela testigo (P-T)	58
Tabla 14 Evapotranspiración de cultivo en las parcelas de investigación	60
Tabla 15 Escorrentía superficial en las parcelas de investigación	62
Tabla 16 Velocidad de infiltración instantánea (cm/h) en las parcelas	64
Tabla 17 Velocidad de infiltración acumulada (cm/h) en las parcelas	66
Tabla 18 Lámina acumulada infiltrada (cm) para las parcelas	68
Tabla 19 Velocidad de infiltración instantánea (cm/h) para las parcelas	70
Tabla 20 Velocidad de infiltración acumulada (cm/h) para las parcelas	72
Tabla 21 Lámina acumulada infiltrada (cm) para las parcelas	74
Tabla 22 Láminas de infiltración en las parcelas de investigación	76
Tabla 23 Balance hídrico del suelo en la parcela clausurada (P-C) y parcela testigo (P-T)	78
Tabla 24 Agua edáfica (mm) y precipitación en el año de evaluación, 2016-2017.	80

LISTA DE FIGURAS

CONTENIDO		Pág.
Figura 1	Ciclo hidrológico	8
Figura 2	Esquema de balance hídrico en el suelo adaptado de Vélez (s.f.)	12
Figura 3	Levellogger y Barologger	19
Figura 4	Pseudalopex culpaeus (zorrito andino)	32
Figura 5	Xenodacnis parina (azulito andino)	32
Figura 6	Parcela clausurada (P-C)	37
Figura 7	Parcela testigo (P-T)	38
Figura 8	Diseño de la investigación	40
Figura 9	Estación meteorológica portátil	42
Figura 10	Instalación, registro de datos y recolección de datos en la estación meteorológica portátil.	43
Figura 11	Procedimiento de toma de muestras para biomasa forrajera verde	45
Figura 12	Procedimiento de ensayo de infiltración con cilindro	51
Figura 13	Variación de la evapotranspiración mensual 2016-2017	61
Figura 14	Variación de la escorrentía superficial mensual 2016-2017	63
Figura 15	Velocidad de infiltración instantánea en las parcelas	65
Figura 16	Velocidad de infiltración acumulada en las parcelas	67
Figura 17	Lámina de infiltración acumulada en las parcelas	69
Figura 18	Velocidad de infiltración instantánea en las parcelas	71
Figura 19	Velocidad de infiltración acumulada en las parcelas	73
Figura 20	Lámina de infiltración acumulada en las parcelas	75
Figura 21	Variación del almacenamiento de agua mensual, 2016-2017	79
Figura 22	Variación del nivel de agua edáfica y precipitación en la parcela clausurada (P-C), 2016-2017	97
Figura 23	Variación del nivel de agua edáfica y precipitación en la parcela testigo (P-T), 2016-2017	99
Figura 24	Variación del nivel de agua edáfica y precipitación en la P-C y la P-T, 2016-2017	101
Figura 25	Diagrama de cajas de Nivel de agua edáfica (mm) en la parcela clausurada.	107
Figura 26	Diagrama de cajas de Nivel de agua edáfica (mm) en la parcela testigo	108
Figura 27	Diagrama de cajas de Nivel de agua edáfica (mm) en las parcelas	109

LISTA DE MAPAS

CONTENIDO		Pág.
Mapa 01	Ubicación del área de estudio	29
Mapa 02	Zonas de vida	34
Mapa 03	Cobertura vegetal	35
Mapa 04	Mapa hidrográfico	36

LISTA DE ABREVIATURAS

ONU	: Organismo de las Naciones Unidas
SbN	: Soluciones basadas en la naturaleza
WWAP	: Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos
UNASAM	: Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”
INAIGEM	: Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña
DIEM	: Dirección de Investigación en Ecosistemas de Montaña
MINAM	: Ministerio del Ambiente
FAO	: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
PNH	: Parque Nacional Huascarán
PMPNH	: Plan Maestro Parque Nacional Huascarán.
IM	: Instituto de Montaña
P-C	: Parcela Clausurada
P-T	: Parcela Testigo
ET _c	: Evapotranspiración de cultivo

LISTA DE UNIDADES

°C	:	Unidad de Calor en grados centígrados
cm	:	Centímetro
mm	:	Milímetros
g	:	Gramos
Ha	:	Hectárea
kg	:	Kilogramo
m	:	Metro

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Como indica Azoulay (2018), “hoy más que nunca debemos trabajar con la naturaleza, la gestión de los recursos hídricos requiere nuevas soluciones para contrarrestar los crecientes desafíos de la seguridad hídrica derivados del aumento de la población y el cambio climático”.

En ese contexto, los pajonales altoandinos y bofedales, son ecosistemas de mucha importancia para contrarrestar los desafíos de la seguridad hídrica. “Los pastos naturales de zonas de alta montaña contribuyen a una mejor disponibilidad de agua en las cuencas hidrográficas” (Rivera, Valer, Pérez, Sierra y Bustinza, 2014, p.7).

Los bofedales, son ecosistemas especialmente valiosos en la Puna de nuestro país, estos humedales altoandinos son una reserva y fuente de agua y pastos naturales durante todo el año, además de servir como refugio para la fauna silvestre y el ganado. (Maldonado, 2010, p.8).

Servicios que son de vital importancia en el contexto actual del cambio climático.

El sobrepastoreo es uno de los factores que influyen negativamente en la salud de los pajonales y bofedales presentes en zonas de alta montaña. Al respecto, McIntyre y Marshall (2010) afirman:

El pastoreo excesivo, la degradación del suelo y la compactación superficial conducen a mayores tasas de evaporación, menor almacenamiento de agua en el suelo y mayor escorrentía superficial, los cuales se consideran perjudiciales para los servicios de almacenamiento de agua de los pastizales, incluyendo la calidad del agua. (citado en Programa Mundial de las Naciones Unidas de Evaluación de los Recursos Hídricos [WWAP]/ONU-Agua, 2018, p.21).

El sobrepastoreo trae consigo la degradación y compactación de suelos y se dice que disminuye el almacenamiento de agua en los ecosistemas conformados por pastos.

En el Plan maestro del Parque Nacional Huascarán (PMPNH), 2010-2015 (2010) se menciona que, en la superficie del Parque Nacional Huascarán predominan pastizales (41.50% de la superficie) y el sobrepastoreo es considerado como una amenaza a la biodiversidad, ya que reduce la cobertura vegetal, compacta el suelo y evita la recuperación de la cobertura vegetal.

En el PMPNH 2017-2021 (2017) se menciona que la condición actual de los pajonales está en el rango de muy pobre a regular y asociados a: sobrepastoreo de manera permanente por ganado inducido y estrés hídrico asociado al cambio climático debido al incremento de temperatura y disminución de la humedad relativa. Así mismo se indica que los bofedales cubren una superficie de 5 689.00 ha y este ecosistema sufre por presión de: sobrepastoreo y los efectos del cambio climático asociados a los cambios en la capacidad de almacenamiento e infiltración de agua; también indican las líneas de acción y actividades con respecto al componente ambiental con el objetivo de “Mantener la cobertura y el estado de conservación de los ecosistemas del Parque Nacional Huascarán”. Una de las actividades dentro de la línea de acción “Monitoreo Ambiental” es: Investigación sobre la determinación del grado de degradación de los bofedales (calidad y cantidad de agua, diversidad de especies), asumido dicha actividad por UNASAM, INAIGEM y el IM.

En ese contexto, el presente estudio justifica su razón de existir en el hecho de que contribuirá a generar información para entender este importante aspecto de la relación hídrica entre un ecosistema pajonal y bofedal. Así mismo el conocimiento de la relación de los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino en la dinámica del agua edáfica en el bofedal es de gran utilidad para los planes de manejo de cuencas. Además, contribuye con criterios de carácter científico y técnico para sustentar los futuros proyectos con fines de protección. Por otro lado, mediante la investigación se desarrolló una serie de métodos para la determinación del balance hídrico en un pajonal altoandino y el uso de El Levellogger para el registro del nivel de agua edáfica en el bofedal; estos métodos podrán aplicarse a otros ecosistemas de montaña como bosques.

1.1. Planteamiento del problema

En el *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*, consideran la degradación de los ecosistemas como una principal causa del aumento de desafíos en la gestión de los recursos hídricos.

La degradación de los ecosistemas es una de las principales causas del aumento de los desafíos en la gestión de los recursos hídricos. La mayoría de los recursos mundiales del suelo, se hallan en condiciones justas, malas o muy malas, y las perspectivas actuales dejan entrever un empeoramiento de la situación, con graves consecuencias en el ciclo del agua debido a tasas de evaporación más altas, menor capacidad de retención del agua por parte del suelo y aumento de la escorrentía superficial, acompañada de una mayor erosión. (WWAP, 2018, p.3).

Los servicios ecosistémicos son poco estudiados y además generalizados y comunicados en términos generales.

Aunque muchos servicios ecosistémicos provienen de las montañas, éstos han sido relativamente poco estudiados de forma explícita. Si bien es útil generalizar respecto a los servicios ecosistémicos prestados por las montañas, es necesario tomar en cuenta las especificidades de cada zona y éstas deben ser incluidas en acciones específicas dependiendo de su ubicación y los servicios prestados. (Egan y Price, 2014, p.4).

Para el manejo sostenible de los ecosistemas de montaña como: pajonales y bofedales, se requiere de estudios científicos que analicen niveles de relación de precipitación, escorrentía, evapotranspiración e infiltración de pajonales altoandinos en la dinámica del nivel de agua edáfica de un bofedal.

Es realidad que los ecosistemas de montaña como son los pajonales y bofedales en la quebrada de Llaca se encuentran impactados. El PMPNH 2017-2021 (2017) refiere que la condición actual de los pajonales y bofedales sufren presión por: sobrepastoreo y estrés hídrico asociado al cambio climático; así mismo, con el objetivo de "Mantener la cobertura y el estado de conservación de los ecosistemas del Parque Nacional Huascarán", el plan contempla la actividad de "Investigación sobre determinación del grado de degradación de los bofedales

(calidad y cantidad de agua, diversidad de especies)", asumido dicha actividad por UNASAM, INAIGEM y el IM.

El Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM) dentro del marco de sus funciones, en el mes de febrero del 2016 instaló parcelas de investigación (parcela clausurada y testigo) dentro del Parque Nacional Huascarán (PNH), quebrada Llaca, con la finalidad de realizar una serie de investigaciones, responder a los compromisos asumidos dentro del PMPNH, 2017-2021 e incorporarse en el objetivo de "Mantener la cobertura y el estado de conservación de los ecosistemas del Parque Nacional Huascarán".

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia de los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino en la dinámica del agua edáfica de un bofedal en la Quebrada Llaca?

1.3. Hipótesis

Los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino influyen directamente en la dinámica del agua edáfica de un bofedal en la Quebrada Llaca.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general.

Estudiar la influencia de los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino en la dinámica del agua edáfica de un bofedal, en la quebrada Llaca-Parque Nacional Huascarán 2016-2017.

1.4.2. Objetivos específicos.

- a. Realizar una caracterización meteorológica en las parcelas de investigación.
- b. Determinar la entrada mensual del balance hídrico en forma de precipitación en el pajonal altoandino.
- c. Determinar la biomasa forrajera verde en la época seca en las parcelas de pajonal altoandino.
- d. Estimar las salidas mensuales del balance hídrico en forma de evapotranspiración de cultivo, escorrentía superficial e infiltración en las parcelas de pajonal altoandino.

- e. Calcular el almacenamiento de agua mensual en las parcelas de pajonal altoandino.
- f. Analizar los niveles de agua edáfica diarios del bofedal con respecto a la precipitación en las parcelas de investigación.

1.5. Limitaciones de la investigación

Se instaló la estación meteorológica portátil sólo por 10 días en promedio cada mes durante la época húmeda que corresponde entre los meses de septiembre de 2016 a abril de 2017.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

A la fecha no se han realizado investigaciones en la misma temática ni en el área de estudio ni en otro lugar; sin embargo, existen estudios que complementan a la investigación en el uso de los métodos para el presente estudio.

Azaña (2017) para optar el título de Ingeniero Agrónomo, realizó el estudio titulado “Evaluación del efecto de clausura sobre la recuperación de pastizales nativos en la quebrada Llaca, Parque Nacional Huascarán-Ancash”, en el cual empleó el método de corte y pesaje para poder determinar la biomasa forrajera verde por unidad de área. Los resultados de la biomasa forrajera verde en la parcela clausurada fueron de 2075.88 kg/Ha (mes de enero 2017- época húmeda) y en parcela testigo la biomasa forrajera verde fue de 973.34 kg/Ha (mes de enero 2017- época húmeda).

Hernández, Gómez y Monterroso (2007) para optar el título de Ingeniero en Recursos Naturales, realizaron el estudio titulado “Estimación de balances de humedad para la Cuenca Amajac bajo condiciones actuales y escenarios de cambio climático”, en el cual se empleó el método racional, Thornthwaite y Thornthwaite con evapotranspiración de Penman-Monteith para determinar el escurrimiento superficial. Concluye que la esorrentía superficial estimado por el método Thornthwaite que emplea la evapotranspiración de Penman-Monteith son más confiables puesto que engloba una serie de variables que lo acercan más a la realidad.

Muñoz (2016) para optar el título de Ingeniera Ambiental en Prevención y Remediación, realizó el estudio “Determinación del efecto del tipo de cobertura vegetal en la capacidad de retención del páramo de Pulinguí San Pablo, Chimborazo-Ecuador”, en el cual tomó muestras de suelo a dos profundidades de 0 a 25 cm y de 25 a 50 cm en parcelas con diferentes tipos de cobertura vegetal, en el laboratorio determinó la humedad a capacidad de campo en volumen, parámetro que utilizó como indicador de la capacidad de retención de agua en el suelo. Los resultados obtenidos de capacidad de campo para pajonal intervenido fueron, 20.9 % (a profundidad 0-25 cm) y 21.5 % (a profundidad 25-50 cm). Concluyendo que la capacidad de retención de agua en suelo de pajonal intervenido tiene los valores más bajos entre las otras coberturas, atribuyéndole al contenido de arena.

Coaquira (2018) para optar el título de Ingeniero Agrícola realizó el estudio “Análisis comparativo de precipitaciones medias mensuales, utilizando datos satelitales TRMM y estaciones meteorológicas en la cuenca Huancané-Puno”, en el cual realizó el análisis de la precipitación media mensual de satélite TRMM 3B43 con respecto a la precipitación media mensual registrada por SENAMHI (enero 1998 – diciembre 2016), mediante el análisis estadístico (r , R^2 BIAS y Nash). Los resultados obtenidos demostraron que los datos de precipitación de satélite TRMM 3B43 sin corregir muestran el coeficiente de determinación ($R^2 = 0.72$) así mismo un buen coeficiente de correlación ($r = 0.85$) pero no cuantifica adecuadamente la intensidad (BIAS = 21.61%) y una baja eficiencia de Nash - Sutcliffe (Nash = 0.61). Sin embargo, al realizar la corrección con el software Hydraccess de datos inconsistente del satélite TRMM 3B43 las estimaciones de precipitaciones mejorando un coeficiente de determinación de ($R^2 = 0.90$), coeficiente de correlación ($r = 0.95$), igualmente no cuantifica adecuadamente la intensidad (BIAS = 20.60%) y una buena eficiencia de Nash - Sutcliffe (Nash = 0.86). Concluyendo que, los datos de precipitaciones medias mensuales de satélite TRMM 3B43 sólo serán utilizados como datos complementarios a la escasa información registrada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

2.2. Base teórica Ciclo hidrológico.

Según Ordoñez (2011) menciona:

El ciclo hidrológico es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmosfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación. (p.8).

El estado estructura y funcional de los ecosistemas tienen relación con el ciclo del agua.

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los ecosistemas afectan a todas las rutas hidrológicas en el ciclo del agua. Los procesos biológicos en un paisaje, y especialmente en los suelos, influyen en la calidad del agua a medida que se mueve a través de un sistema, así como la formación del suelo, la erosión, el transporte y depósito de sedimentos, todos los cuales pueden ejercer una importante influencia en la hidrología. (WWAP, 2018, p.41).

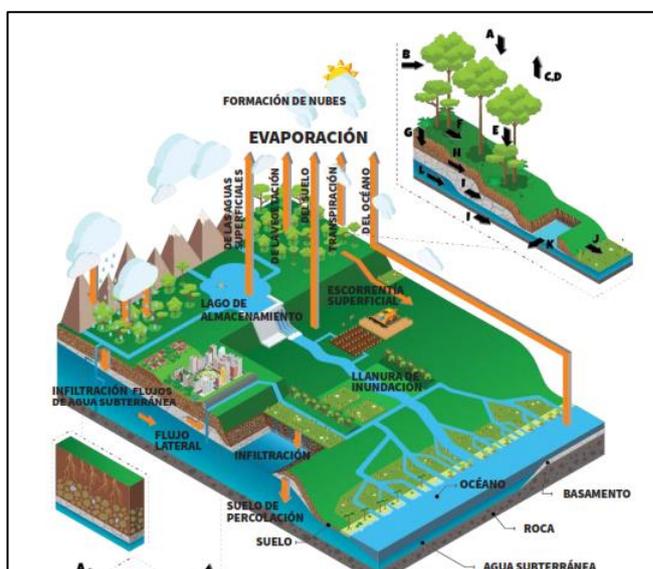


Figura 1: Ciclo hidrológico

2.2.2. Ecosistemas de montaña y el agua

Para los fines del presente trabajo de investigación es necesario considerar las relaciones que existe entre el ciclo del agua y los ecosistemas de montaña.

Los procesos ecológicos en el paisaje influyen en la calidad del agua y la forma en que se mueve a través de un sistema, así como en la formación del suelo, la erosión y el transporte y el depósito de sedimentos, todo lo cual puede ejercer una influencia importante en la hidrología. Aunque los bosques son a menudo el principal centro de atención cuando se habla de cobertura del suelo e hidrología, los prados y las tierras de cultivo también juegan papeles importantes. Los suelos son cruciales para el control del movimiento, el almacenaje y la transformación del agua (WWAP, 2018, p.16).

En el trabajo de investigación específicamente se estudian dos ecosistemas: el pajonal altoandino y el bofedal, los que tienen una influencia importante en el reciclaje de la precipitación y dinámica del agua edáfica. Amat (2014) afirma que:

El 80% de estas precipitan por encima de los 3000 msnm y son retenidas en los glaciares, en las lagunas, bofedales y pasturas alto andinas. Estos son los grandes reservorios de agua que almacenan las lluvias estacionales y atenúan las variaciones de la escorrentía superficial y subterránea a lo largo del año. (p.94).

2.2.2.1. Pajonal altoandino y el agua

El pajonal altoandino se encuentra en las partes altas y punas de nuestro país.

Este tipo de cobertura está conformado por herbazales ubicado en la porción superior de la cordillera de los andes, aproximadamente entre 3,800 y 4,800 msnm en la zona sur y central, y arriba de los 3,000 msnm en la zona norte del país. Se desarrolla sobre terrenos que van desde casi planos a ondulados en las altiplanicies, en las depresiones y en el fondo de valles glaciares, hasta empinados o escarpados en las laderas montañosas y cumbres alto andinas. Ocupa una superficie de 18'246,926 ha, que representa el 14.2% del total nacional (MINAM, 2012, p. 45).

Los pajonales altoandinos o pastos naturales cumplen funciones ambientales importantes. Rivera et al. (2014) mencionan:

Los pastos naturales de zonas de alta montaña contribuyen a una mejor disponibilidad de agua en las cuencas hidrográficas, por las siguientes razones:

- a. La investigación demuestra que la producción de agua y la calidad de la misma pueden incrementarse con el manejo adecuado de los pastos naturales.
- b. La mejora de la condición del pasto natural tiene una relación directa con la conservación del suelo, incremento de la infiltración del agua y la disminución de la erosión.

Los pastizales altoandinos aportan en el almacenamiento de la humedad, conservación del suelo y por ende disminuye la escorrentía superficial y erosión del suelo.

2.2.2.2. Bofedal y el agua

Los ecosistemas de bofedal poseen ciertas características únicas a nivel de vegetación, agua y suelo.

El bofedal, llamado también “oconal” o “turbera”, constituye un ecosistema hidromórfico distribuido a manera de “parches” en la extensa región altoandina; es decir, arriba de los 3,800 msnm, principalmente en la zona sur y la zona central del país. Ocupa una superficie de 549,360 ha que representa el 0.4% del total nacional. (MINAM, 2012). Así, estos se encuentran en los fondos de valle fluvio-glacial y se alimentan del agua proveniente del deshielo de los glaciares, del afloramiento de agua subterránea (puquial) y de la precipitación pluvial (MINAM, 2012). “Los bofedales ocupan zonas que almacenan agua proveniente del deshielo de los nevados, nacientes de los ríos (ojos de agua), de las precipitaciones o de las filtraciones provenientes del agua de acuíferos” (Salvador y Cano, 2002 citado por Maldonado, 2010, p.10). Además, “los bofedales altoandinos podrían no reemplazar a los glaciares, pero sí construir esa esponja de agua” (Leyva, 2008 citado por Maldonado, 2010, p.10).

Esto significa que los bofedales cumplen y brindan servicios ecosistémicos de regulación hídrica además de otros servicios asociados.

El bofedal funciona como eficiente almacén natural de agua. El agua de escorrentía superficial ingresa lentamente y se almacena en el sustrato orgánico para luego escurrir lentamente hacia las porciones inferiores del terreno. Constituyen verdaderos filtros naturales que mejoran la calidad del agua (MINAM, 2012, p.47).

Sin embargo, la ausencia de agua, sobrepastoreo y entre otras actividades que realiza el hombre, los bofedales son considerados ecosistemas frágiles. Flores et al., (2014) afirman: “Los bofedales son sistemas ecológicos extremadamente frágiles por su dependencia del agua, sensibles a los cambios climáticos y vulnerables a la alteración que resulta de la actividad minera, el pastoreo y el retroceso glaciar” (p.2).

Este ecosistema desempeña un papel grande en la hidrología, ya que están directamente relacionados a los procesos hidrológicos en forma de almacenamiento de agua en el sistema, regulación de caudales, control de sedimentos y calidad del agua. Además, son de suma importancia en la gestión del agua en un contexto del cambio climático.

2.2.3. Balance hídrico de suelo y sus componentes

Para este trabajo de investigación es preciso considerar conceptos generales de balance hídrico, tomando en cuenta las entradas y salidas de agua en una parcela.

El estudio del balance de suelos se basa en el principio de la conservación de la materia. O sea, el agua que entra a un suelo, es igual al agua que se almacena en el suelo, más el agua que sale de él. (Schosinsky, 2006, p.14).

La determinación del balance hídrico en el pajonal se determinó mediante el balance hídrico en el suelo. Vélez (s.f.) menciona:

Para hacer el balance hídrico se aplica el principio de la conservación de masa a una cierta región de volumen conocido (volumen de control), definida por unas condiciones de frontera, durante un período de tiempo. La diferencia en las entradas y las salidas debe ser igual al cambio en el almacenamiento de agua. (p.6).

La siguiente figura muestra de manera gráfica el balance hídrico de suelo basado en la conservación de la materia.

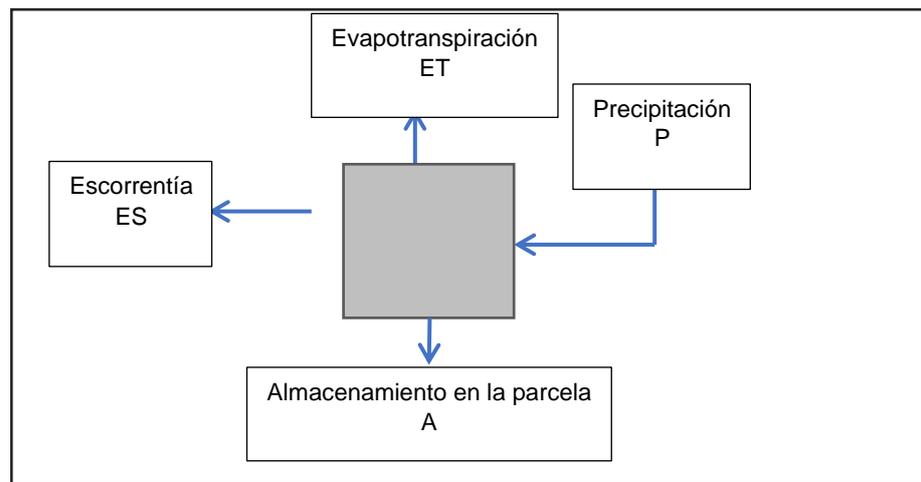


Figura 2: Esquema de balance hídrico en el suelo adaptado de Vélez (s.f.).

Se tiene lo siguiente:

$$E - S = \pm A$$

Donde:

E = Entradas de agua al sistema

S = Salidas de agua del sistema

Específicamente se tiene lo siguiente:

Donde:
$$P - ET - ES + I = \pm A$$

P : Precipitación

ET : Evapotranspiración

ES : Escorrentía superficial

I : Infiltración

A : Almacenamiento en la parcela

2.2.3.1. Precipitación

La precipitación en muchos ecosistemas es considerada como única entrada de agua al sistema.

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. (Musy, 2001 citado por Ordoñez 2011, p.9).

Para la presente investigación, la precipitación es el elemento más importante para determinar un balance hídrico de suelo.

2.2.3.2. Evapotranspiración

La evapotranspiración es la pérdida de agua que se genera en el sistema en forma de vapor. “Es el total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal; incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración por las estomas de las hojas” (Ordoñez, 2011, p.14). Existen muchos métodos para el cálculo de la evapotranspiración, sin embargo, la presente investigación basó su determinación con el método FAO Penman-Monteith. “El método de FAO Penman-Monteith ahora se recomienda como el único método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia” (Allen, Pereira, Raes y Smith, 2006, p.15).

Allen, *et al.*, (2006) refieren que la evapotranspiración de referencia (ET_0) es la calculada en base a una superficie muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme y que da sombra totalmente al suelo. Este cultivo de referencia es hipotético, por lo tanto, para acercarnos más a la realidad, se calcula la evapotranspiración de cultivo (ET_c) en condiciones estándar. “Para determinar la ET_c se multiplica la ET_0 por el coeficiente del cultivo (Allen, *et al.*, 2006, p.87). Para

determinar los valores de coeficiente de cultivo (K_c) es importante definir el tipo de vegetación presente y las condiciones climáticas. “Los rangos esperables en los valores de K_c , en respuesta a los cambios de las condiciones climáticas y meteorológicas, son menores en el caso de los cultivos de poca altura, siendo mayores en los cultivos más altos” (Allen, et al., 2006, p.93).

Así entonces, ante cambios de condiciones climáticas y meteorológicas a lo largo de un año, los pastos de tipo pajonal altoandino presentan rangos menores K_c ya que son de poca altura. Allen et al. (2006) refieren que los valores del coeficiente único (promedio temporal) del cultivo (K_c) y alturas medias máximas de las plantas para cultivos no estresados y bien manejados en climas sub-húmedos para usar en la fórmula de la FAO Penman-Monteith ET_0 para pastos de pastoreo extensivo en la etapa inicial y medio de desarrollo son 0.30 y 0.75 respectivamente.

Para el presente trabajo la determinación de la evapotranspiración de referencia se realizó mediante el software CROPWAT 8.0. Allen et al. (2006) refieren que el programa CROPWAT es el software de la FAO que utiliza la ecuación de Penman-Monteith.

2.2.3.3. Escorrentía

Otro de los componentes importantes y considerada como salida de agua de un sistema es la escorrentía superficial. “La escorrentía es definida como el agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente” (Ordoñez, 2011, p.34). Entonces la escorrentía depende del comportamiento a nivel de evapotranspiración e infiltración del agua. “Cuando el agua que llueve supera a la que se evapora y la capacidad de almacenamiento del suelo se encuentra saturada de humedad, se origina los escurrimientos” (Hernández et al., 2007, p.lix).

Los pajonales altoandinos cumplen una función muy importante ya que, distribuyen el agua a lo largo del tiempo

dependiendo de la cobertura y vigor de la vegetación así mismo disminuyen la escorrentía superficial.

2.2.3.4. Infiltración

La infiltración es otro componente que influye en el balance hídrico en el suelo, entendida como el ingreso de agua a las capas del suelo.

Cuando se suministra agua a la superficie del suelo, ya sea por precipitación o irrigación, una parte penetra la superficie y es absorbida dentro del suelo, mientras otra se acumula en la superficie o fluye sobre ésta. El agua que penetra luego se divide a sí misma en una cantidad que regresa a la atmósfera por evapotranspiración y otra que se infiltra hacia abajo. De esta última, una parte reemerge como caudal (agua superficial) mientras que el resto recarga los depósitos de agua subterránea (acuíferos) (Hillel, 1982 citado por Alfaro, 2015, p.23).

En un proceso de infiltración se presentan diferencias al inicio y final del proceso, estas dependiendo de la condición del suelo y la vegetación presente.

La infiltrabilidad del suelo es alta al inicio del proceso de infiltración, especialmente cuando el suelo está muy seco al principio, pero tiende a disminuir de forma constante y eventualmente se aproxima asintóticamente (sin llegar del todo, pero sí muy cerca) a un valor constante, el cual se suele llamar capacidad final de infiltración. (Hillel, 1982 citado por Alfaro, 2015, p.24).

De lo anterior se puede indicar que la velocidad de infiltración se encuentra en relación inversa con el tiempo. Alfaro (2015) afirma que:

Conforme avance el tiempo la velocidad de infiltración disminuye considerablemente, debido a que se va avanzando en capas más profundas del suelo, los cuales generan mayor

demanda de presión para el ingreso del agua, ya que las partículas del suelo se van saturando. (p.76).

La capacidad de infiltración de los suelos no sólo es importante en la relación de la precipitación y escurrimiento, también es muy importante en los procesos de almacenamiento de agua y por ende en la disponibilidad de agua para las plantas.

Existen diversos métodos para la medición de la infiltración, el cilindro infiltrómetro es una opción factible y práctica. Blanco (1999) citado por Alfaro (2015) afirma que:

El principio de funcionamiento de un cilindro infiltrómetro consiste en un cilindro abierto que se introduce suavemente en el suelo. Se somete a una carga de agua y se mide el volumen de este líquido que es drenado por unidad de tiempo, lo que constituye el término que se conoce como capacidad de infiltración. (p.31).

2.2.3.5. Almacenamiento de agua

Otro de los componentes importantes en el balance hídrico de suelo es el almacenamiento del agua, el cual está en relación a la cantidad de agua acumulada y capacidad de almacenamiento del suelo.

Aparicio (1997), considera a los vasos como aspecto fundamental del almacenamiento.

Un vaso de almacenamiento que sirven para regular los escurrimientos de un río; es decir, para almacenar el volumen de agua que escurre en exceso en las temporadas de lluvia para posteriormente usarlo en las épocas de sequía, cuando los escurrimientos son escasos (p.69).

Entonces para el presente estudio mencionamos como vasos de almacenamiento a los ecosistemas de montaña: Pajonales altoandinos y bofedales.

Para expresar la cantidad de agua en el suelo se determina en lámina de agua. Gil (s.f.) menciona. “Una forma práctica de expresar y visualizar la cantidad de agua existente o almacenada en el suelo es en términos de altura o lámina de agua” (p.2). Así la lámina infiltrada generalmente está expresada en mm o cm de lámina.

Así mismo para el presente estudio es importante definir la capacidad de campo (CC) para entender qué es el almacenamiento de agua, ya que este estudio va a tomar la capacidad de campo de un ecosistema similar como referente para determinar el almacenamiento de agua base para los meses de estiaje.

La capacidad de campo refiere a la cantidad máxima de agua que un suelo puede contener. Gil (s.f.) afirma. “El contenido de agua que un suelo puede retener luego de haber sido plenamente humedecido y la variación del almacenaje en la zona de raíces se vuelve prácticamente nula” (p.6). “Este valor se le conoce también como capacidad normal de campo, capacidad normal de humedad, capacidad capilar, capacidad de retención de agua y agua suspendida” (Muñoz, 2016, p.24). Así entonces, la capacidad de campo es importante dentro del análisis del balance hídrico de suelo.

2.2.4. Nivel de agua edáfica y propiedades edáficas con influencia hídrica.

El nivel de agua edáfica en el ecosistema, es la cantidad de agua presente en el suelo.

Los niveles de agua edáfica, son agua contenida en el suelo, que suele ser discriminada en tres partes: agua gravitativa, que se insume por gravedad; agua capilar, que corresponde a la parte retenida por tensión superficial; pelicular, retenida por fuerzas eléctricas bajo la forma de una película en la superficie de las partículas en el suelo. (“Agua edáfica”, 2017).

Entonces el nivel de agua en el suelo suele presentarse en tres partes: agua gravitativa, capilar y pelicular.

La predicción de agua contenida en el suelo o humedad del suelo es compleja y depende de diversos factores. Lozano (2015) menciona:

La predicción de patrones espacio-temporales de humedad del suelo es compleja y varía según la influencia de diferentes factores, entre ellos el clima y la vegetación. El primero es altamente variable en ambientes mediterráneos, mientras que el segundo puede presentar diferentes estructuras y densidades en ecosistemas adherados, por lo que la dinámica espacio-temporal del agua del suelo podría mostrar un comportamiento complejo en dichos ecosistemas.

Es por eso que la investigación intenta profundizar en la dinámica del agua edáfica en ecosistemas de montaña como el pajonal altoandino y el bofedal, ya que no existen investigaciones en dichos ecosistemas.

Un equipo para registrar los niveles de agua es el Levelogger. “3001 Levelogger Edge” (s.f.) afirma que:

El Levelogger Edge 3001 es un datalogger de nivel de agua y temperatura altamente preciso. Es ideal para registrar niveles de agua en pozos de monitoreo y producción, perforaciones, lagos, ríos, tanques, puertos, etc. El Barologger Edge y el asistente de datos ofrecen el método más preciso y fácil para compensar la presión barométrica.

Así, este equipo es efectivo para la determinación del nivel de agua edáfica mediante la compensación de datos del Levelogger con el Barologger.



Figura 3: Levelogger y Barologger

2.2.4.1. Propiedades físicas

Entre las propiedades físicas del suelo de importancia para el presente estudio tenemos a la *profundidad, textura y estructura*. “La profundidad del suelo es un factor que determinará la capacidad de almacenamiento hídrico del propio suelo, mientras que la profundidad efectiva hace referencia a la profundidad que puede ser explorada por las raíces de las plantas” (Villar y Ferrer, 2005 citado por Lozano, 2015, p.42). En ese contexto, la profundidad del suelo depende de la topografía del lugar. Lozano (2015) afirma. “Deben distinguirse zonas topográficamente diferenciadas, como laderas y vaguadas, donde la profundidad del suelo puede mostrar variaciones” (p.42).

Otra de las propiedades físicas importante para el estudio es la *textura*. Cabrera (1993) citado por Lozano (2015) menciona al respecto. “La textura expresa la cantidad relativa de las fracciones arcilla, limo y arena inferiores a 2 mm; es decir, representa la composición granulométrica de las partículas minerales del suelo” (p.42). Según la proporcionalidad de las fracciones arcilla, limo y arcilla tienen diferentes denominaciones y sobre todo especiales características. Antonio (2007) citado por Alfaro (2015) afirma que:

En función de las proporciones de arena, limo y arcilla, se puede clasificar los suelos en varios grupos definidos de manera arbitraria, como arenoso, franco arenoso, arcillo arenoso, arcilloso, franco arcilloso, franco, arcillo limoso, franco arcillo limoso y franco limoso... los suelos con un porcentaje muy elevado de arena pueden almacenar poca agua... los suelos que contienen una proporción mayor de partículas pequeñas, por ejemplo, las arcillas y limos, son depósitos excelentes de agua. (p.13).

La importancia de la *textura* del suelo en la dinámica del agua edáfica en los ecosistemas pajonal altoandino y bofedal es de interés ya que está relacionado con el comportamiento del agua dentro de ella. Este detalle se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Comparación de propiedades del suelo según su textura, adaptado de Alfaro (2015).

Textura	Infiltración	Retención de humedad
Arenosa	Excelente	Muy baja
Arenosa-franca	Buena	Baja
Franco-arenosa	Buena	Regular
Franco	Buena	Regular
Franco-limosa	Buena	Buena
Limosa	Buena	Buena
Franco-arcilla-arenosa	Regular	Regular
Franco-arcillosa	Regular	Regular
Franco-arcilla-limosa	Pobre	Regular
Arcillo-arenosa	Pobre	Media
Arcillo-limosa	Pobre	Alta
Arcillosa	Pobre	Muy alta

Por último, como una propiedad física edáfica con importancia hídrica tenemos a la *estructura*. Marshall y Holmes (1988) citado por Lozano (2015) indican. “La estructura es una propiedad morfológica edáfica que define el estado de agregación de las partículas del suelo y su relación con el espacio poroso localizado entre ellas” (p.42). Entonces, la estructura afecta el comportamiento y dinámica del agua en el perfil del suelo. Honorato (2000) citado por Alfaro (2015) menciona los siguientes tipos de estructura: Granular, prismático, masiva, grano suelto, blocosa y laminar y afirma que. “Los suelos granulares (esferoidal) y los de grano simple (sin estructura) tienen una rápida infiltración, los bloques y los prismáticos tienen velocidades moderadas y suelos laminares y masivos tienen baja velocidad de infiltración” (p.15).

2.2.4.2. Materia orgánica

Una propiedad importante en relación al agua en el suelo es el contenido de *materia orgánica* en el suelo.

La *materia orgánica* es un compuesto físico-químico cuyo contenido en el suelo favorece la cohesión de agregados, mejora la estabilidad estructural y la porosidad, regula la permeabilidad y la capacidad de retención hídrica, mejora la

infiltración, equilibra la aireación, disminuye la evaporación y la compactación, y aporta coloides húmicos que hacen aumentar la capacidad del suelo para retener agua. (Labrador Moreno, 2002 citado por Lozano, 2015, p.45).

El hecho de que un suelo disponga de mayor capacidad de retención no significa que tenga mayor contenido de agua, ya que la fenología de la vegetación o las variaciones meteorológicas a lo largo del año pueden condicionar el estado hídrico del suelo independientemente de su capacidad de retención. (Lozano, 2015, p.45).

De lo anterior se puede afirmar que el contenido de la materia orgánica da las condiciones para incrementar la capacidad del suelo a mejorar la infiltración y regular la capacidad de retención hídrica pero todo ello condicionado por las variaciones meteorológicas.

2.2.5. Proceso de degradación, recuperación de pajonales degradados y su relación con el balance hídrico del suelo.

2.2.5.1. Proceso de degradación

La degradación de pajonales se ve afectada por diferentes factores.

La vegetación en los ecosistemas naturales se desarrolla en forma unidireccional hasta llegar a un estado estable denominado como el estado clímax, en el cual, la vegetación se desarrolla de forma progresiva y ordenada siempre en cuando no haya perturbaciones. En el estado clímax las especies vegetales se encuentran en el mejor estado vegetativo y reproductivo, pues poseen suficiente disponibilidad de nutrientes, agua, aprovechan de la mejor manera los recursos del ambiente para su completo desarrollo y, en consecuencia, alta productividad de biomasa. (Clements, 1932 citado por García, 2016, p.3).

Así mismo, García (2016) menciona que:

El pastoreo es uno de los procesos que provocan perturbaciones pues evita alcanzar el estado clímax, ya que dependerá de la frecuencia e intensidad para provocar cambios reversibles o irreversibles en la sucesión vegetal, como son cambios en la biodiversidad, cobertura vegetal y productividad. (p.3.).

Así, aquel ecosistema que sufra perturbaciones va a tender a cambiar en su composición biótica, además de generarse parches de suelo desnudo lo cual incrementa la posibilidad de generarse escorrentía superficial con graves cambios en la estructura superficial del suelo. Así mismo, Stringham et al. (2003) citado por García (2016) afirma. “Las perturbaciones afectan los umbrales bióticos, los cuales provocan cambios en la composición y distribución de las especies, incremento de suelo desnudo y proliferación de especies invasoras” (p.1).

Las perturbaciones antes mencionadas generan impactos indirectos como son: el incremento de la escorrentía superficial, erosión, disminución de la infiltración y disminución de la capacidad de retención y almacenamiento del agua. Pinzón (1993) citado por Daza, Hernández y Triana (2014) afirma que. “Las actividades ganaderas también pueden afectar la capacidad de retención y almacenamiento de agua en el suelo debido al pisoteo del ganado que compacta y deja menos espacio poroso” (p.7190).

El efecto de perturbaciones continuas altera el umbral abiótico, pues causan el deterioro de la infiltración, incremento de la escorrentía y la erosión del suelo, en consecuencia, el ecosistema disminuirá su productividad por pérdida de nutrientes y la alteración del ciclaje de nutrientes (Davenport et al., 1998 citado por García 2016, p.1).

Según National Research Council (NRC, 1994) citado por García (2016), los pastizales se clasifican en tres estadios según la condición del pastizal: saludable, en riesgo y enfermo o no saludable. Frente a ello, García (2016) afirma que:

El criterio de definición se basa en las características de la vegetación y del suelo de un pastizal que se mantienen estables en el tiempo, donde los pastizales clasificados como saludables no requieren cambios en su manejo, pero aquellos clasificados como en riesgo sí requieren de ajuste en su manejo para lograr su restauración a condición de saludables. (p.7).

El pastoreo es un factor que influye en la presencia de perturbaciones en los pastizales y se manifiesta en forma de pérdida de cobertura vegetal, presencia de suelo desnudo y disminuye la infiltración e incrementa la escorrentía, por lo tanto, disminuye su capacidad de retención de agua.

2.2.5.2. Recuperación de pajonales altoandinos degradados

La recuperación es un proceso necesario que consiste en la ejecución de acciones para pasar de un estado no saludable o enfermo a un estado saludable. Según García (2016). “La recuperación o rehabilitación de un pastizal consiste en la restitución de su capacidad productiva por unidad de área y por animal, hasta alcanzar grados ecológicos y económicos aceptables” (p.11). Sin embargo, también es necesario el tratamiento de las acciones a tomar en base a una visión holística; es decir, desde el punto de vista económico, social y ambiental.

El efecto clausura, el cual es el caso de las parcelas de investigación, opta por la recuperación en forma natural, el proceso es lento ya que está influenciado por los eventos ambientales sin embargo el dejar en descanso el área afectada ayuda para acelerar el proceso de recuperación.

2.2.5.3. Importancia de la conservación del agua, suelo y pajonales altoandinos.

Como ya hemos venido mencionando la importancia de estos ecosistemas cumplen funciones importantes que merecen ser estudiados y valorados.

En las alturas del Perú se desarrolla un ecosistema único. Arbustos y hierbas, captan el agua de la lluvia y el ambiente, lo filtran y lo sueltan constantemente hacia las tierras bajas. La naturaleza asegura así el agua que beberán las aves y animales del bosque, un terreno más fértil para las plantas, y también el agua que llegará a familias y comunidades. Los páramos, pajonales y humedales funcionan así, atrapando el agua, como un tesoro. Y es también como un tesoro que debemos de cuidar estos ecosistemas (Sociedad Peruana de Derecho Ambiental [SPDA], s.f.).

En ese sentido se puede decir que los pajonales altoandinos y bofedales tienen relación con la provisión de agua, formación de suelo y conservación de la biodiversidad.

2.3. Definición de términos

2.3.1. Ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico es el proceso mediante el cual el agua atraviesa de la tierra a la atmósfera y vuelve a la tierra mediante la evaporación, la condensación y la precipitación (Ordoñez, 2011).

2.3.2. Pajonal altoandino

Este tipo de cobertura está conformado por herbazales ubicado en la porción superior de la Cordillera de los Andes (MINAM, 2012).

2.3.3. Bofedal

Es un ecosistema humedal altoandino, que se alimenta del agua proveniente del deshielo de los glaciares, afloramientos de agua subterránea y de la precipitación. El bofedal funciona como eficiente almacén natural de agua; además constituyen verdaderos filtros naturales que mejoran la calidad del agua (MINAM, 2012).

2.3.4. Balance hídrico

Se basa en el principio de la conservación de la materia; es decir, que el agua que entra a un suelo, es igual al agua que se almacena en el suelo más el agua que sale de él (Schosinsky, 2006).

2.3.5. Precipitación

La precipitación es toda agua meteórica que cae a la superficie de la tierra, estas son provocadas por un cambio de temperatura o presión, la precipitación es la única entrada principal al sistema hidrológico (Musy, 2001 citado por Ordoñez 2011).

2.3.6. Evapotranspiración

La evapotranspiración es el total de agua convertido en vapor, incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración de las hojas (Ordoñez, 2011).

2.3.7. Infiltración

La infiltración viene a ser el agua que penetra el suelo, una parte de esta remerge como caudal mientras que el resto del agua recarga los depósitos de agua subterránea. La infiltración desempeña un papel importante en los procesos de regulación y escorrentía (Ávalos y Rosito, 2007).

2.3.8. Escorrentía

La escorrentía es definida como el agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada; es decir, escurre superficialmente puesto que el suelo se encuentra saturado (Ordoñez, 2011).

2.3.9. Almacenamiento de agua

El almacenamiento de agua considera vasos de almacenamiento que sirven para regular los escurrimientos de un río; es decir, para almacenar el volumen de agua que escurre en exceso en las temporadas de lluvia para posteriormente usarlo en las épocas de sequía, cuando los escurrimientos son escasos (Aparicio, 1997).

2.3.10. Agua edáfica

Los niveles de agua edáfica, son agua contenida en el suelo, que suele ser discriminada en tres partes: agua gravitativa, que se insume por gravedad; agua capilar, que corresponde a la parte retenida por tensión superficial; pelicular, retenida por fuerzas eléctricas bajo la forma de una película en la superficie de las partículas en el suelo (“Agua edáfica”, 2017).

CAPÍTULO III

MÉTODOS Y MATERIALES

3.1. Nivel y diseño de investigación

3.1.1. Nivel de investigación.

El nivel de investigación es correlacional, debido a que el estudio plantea determinar la influencia de los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino en la dinámica del agua edáfica de un bofedal; es decir, establece el grado de relación no causal existente entre dichas variables.

3.1.2. Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es no experimental descriptivo correlacional. No experimental porque el estudio no plantea realizar la intervención en ninguna de las variables independientes (componentes del balance hídrico); descriptivo correlacional, ya que el estudio plantea realizar medición de variables independientes y dependiente en las parcelas de investigación para luego determinar el grado de relación entre dichas variables.

3.1.3. Enfoque de investigación

Es de enfoque cuantitativo, porque se miden variables cuantitativas como la precipitación, evapotranspiración, escorrentía, infiltración, almacenamiento de agua y nivel de agua edáfica.

3.2. Diseño y caracterización de la muestra

3.2.1. Universo o población

Está constituida por el paisaje conformado por pajonales altoandinos y bofedales, ubicados en la quebrada de Llaca, Parque Nacional Huascarán.

3.2.2. Muestra

En la investigación se trabajó con dos parcelas de investigación ubicadas en la quebrada de Llaca, Parque Nacional Huascarán: Parcela clausurada con un área de 8574.4 m² y parcela testigo con un área de 8435.3 m², ambas parcelas conformado por pajonal altoandino y bofedal.

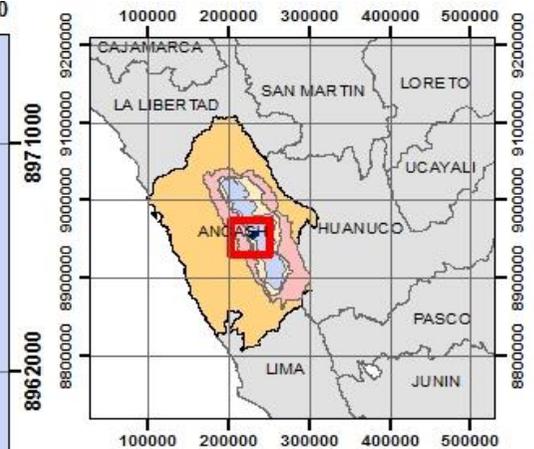
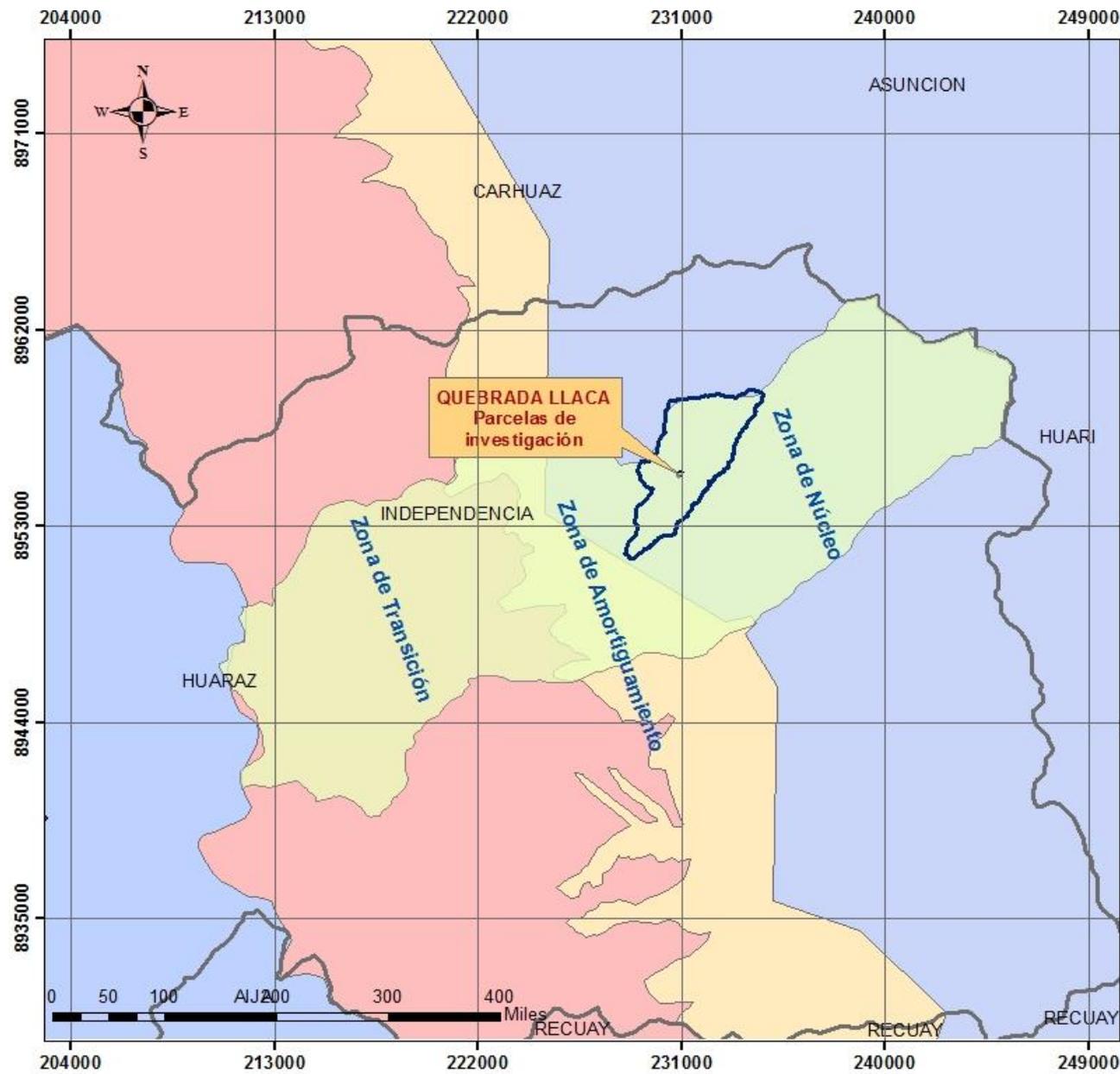
3.2.3. Características de la quebrada Llaca

El presente estudio se realizó en el departamento de Ancash, provincia Huaraz, distrito Independencia, dentro del ámbito del Parque Nacional Huascarán, en la quebrada de Llaca, específicamente en una parcela clausurada y testigo conformado por pajonal y bofedal, a una altitud que varía desde los 4 390 m.s.n.m. hasta los 4 444 m.s.n.m.

3.2.3.1. Ubicación

La quebrada de Llaca se ubica en el distrito de Independencia, provincia de Huaraz, departamento de Ancash. En la vertiente occidental de la Cordillera Blanca del Parque Nacional Huascarán (Véase Mapa N° 01, pág. 29).

Las parcelas de investigación se encuentran a una altura promedio de 4400 m.s.n.m, al margen derecho del río Llaca.



Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo"
Facultad de Ciencias del Ambiente

TESIS:
"Estudio de la Influencia de los Componentes del Balance Hídrico de un Pajonal Altoandino en la Dinámica del agua edáfica de un Bofedal, en la Quebrada Llaca-Parque Nacional Huascarán 2016-2017".

UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Ubicación:	Provincias:	Departamento:
Distrito: Independencia	Huarez	Ancash
Elaborado por: Yenifer García Jiménez	Revisión: Asesor Ing. Helder Malqui Meza	N° 01
Fecha: Setiembre 2017	Escala: 1/7 6000	

Fuentes: IGN; Carta Nacional hojas 19h, 19i, 20h y 20i

3.2.3.2. Zonas de vida

En el Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán 2010-2015 en el acápite Zonas de vida consigna que: “Del total de 104 zonas de vida descritas para el mundo, el Perú cuenta con 84; describiéndose para el PNH 9 y 2 para su zona de amortiguamiento, sumando un total de 11” (p. 68). En el área de estudio se encuentran tres zonas de vida (Véase Mapa N° 02, pág. 34).

La descripción de las zonas de vida que el PMPNH, 2010-2015 (2011) ha establecido para las zonas de vida que corresponde al área de estudio son:

Nival Tropical (NT): Se extiende sobre el nivel superior del páramo muy húmedo Subandino Tropical, sobre las crestas frías de la Cordillera Blanca y de la Cordillera Huayhuash, en la que dominan los glaciares, generalmente por encima de los 5000 msnm. Esta formación presenta un clima muy húmedo y frío, con precipitación variable entre 900 y 1100 mm/año, con temperaturas medias anuales menores a 1.5 °C. (p. 73).

Esta zona de vida cubre la parte alta de la quebrada Llaca, representando el 64.6% de la quebrada, conformado básicamente por el nevado Ranrapalca el cual tiene una altitud de 6100 m.s.n.m.

Páramo muy húmedo Subandino Tropical (pmh-SaT): Se extiende entre las cotas de 3900 hasta los 4500 msnm, ocupando las partes orientales de los andes. Esta formación presenta un clima muy húmedo y frío, con precipitaciones promedio de 900 mm/año, las temperaturas son bajas y su promedio anual está alrededor de 5 °C, produciéndose temperaturas de congelación casi todas las noches. Topográficamente, presenta dos sectores: uno, de relieve ondulado a semi accidentado (zona de praderas) y otro de relieve muy accidentado. Los suelos son generalmente de origen coluvial y residuales, de profundidad variable y fertilidad media a alta, por lo que en algunos sectores se

observan pastizales de buena calidad forrajera; sin embargo, están sometidos a una intensa actividad de pastoreo. (p.72).

Esta zona de vida cubre la parte baja de la quebrada Llaca, desde la portada de la quebrada de Llaca hasta 2 km al interior de la quebrada, representando el 7% de la quebrada, conformado básicamente por ecosistemas de pajonal, bofedal y bosque.

Tundra Pluvial Andino Tropical (tp-AT): Se extiende sobre el límite superior del páramo muy húmedo Subandino Tropical, apreciándose una faja muy angosta y continuamente interrumpida por los nevados, entre los 4300 y 5000 msnm. Esta formación presenta un clima de tipo pluvial y gélido, con precipitaciones medias de más de 1000 mm/año y con temperaturas de congelación casi permanentes; siendo la temperatura media anual de 3,2 a 2,5 °C. Podemos considerar el clima como superhúmedo. El relieve es generalmente accidentado, variando a colinado u ondulado. Los suelos son ricos en materia orgánica (p.72).

Esta zona de vida cubre la parte media de la quebrada Llaca, representando el 28.4% de la quebrada, conformado básicamente por ecosistemas de pajonal, bofedal y bosque.

3.2.3.3. Ecología

En la quebrada Llaca se encuentran ecosistemas de bosque de *Polylepis spp.*, pajonales, bofedales, laguna, glaciares. De lo observado el ecosistema pajonal altoandino y bofedales, desde el punto de vista paisajístico y ecosistémico, constituyen cubierta importante del suelo para disminuir la erosión en los suelos, almacenamiento de agua, el desarrollo de insectos, aves, mamíferos, servicios ecosistémicos que son poco estudiados. Además, sirven de alimento al ganado vacuno presente dentro de la quebrada Llaca. Además, dentro del área de estudio se ha observado la presencia de *Lagidium peruanum* (*Chinchillidae*) (vizcacha), *Pseudalopex culpaeus* (zorro andino) y *Xenodacnis parina* (Azulito andino) (PMPNH, 2010-2015).



Figura 4: *Pseudalopex culpaeus* (zorro andino).



Figura 5: *Xenodacnis parina* (azulito andino).

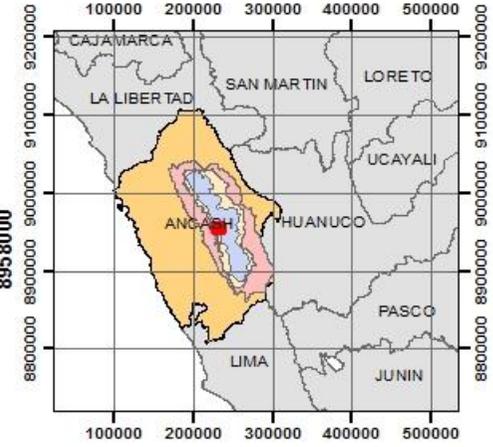
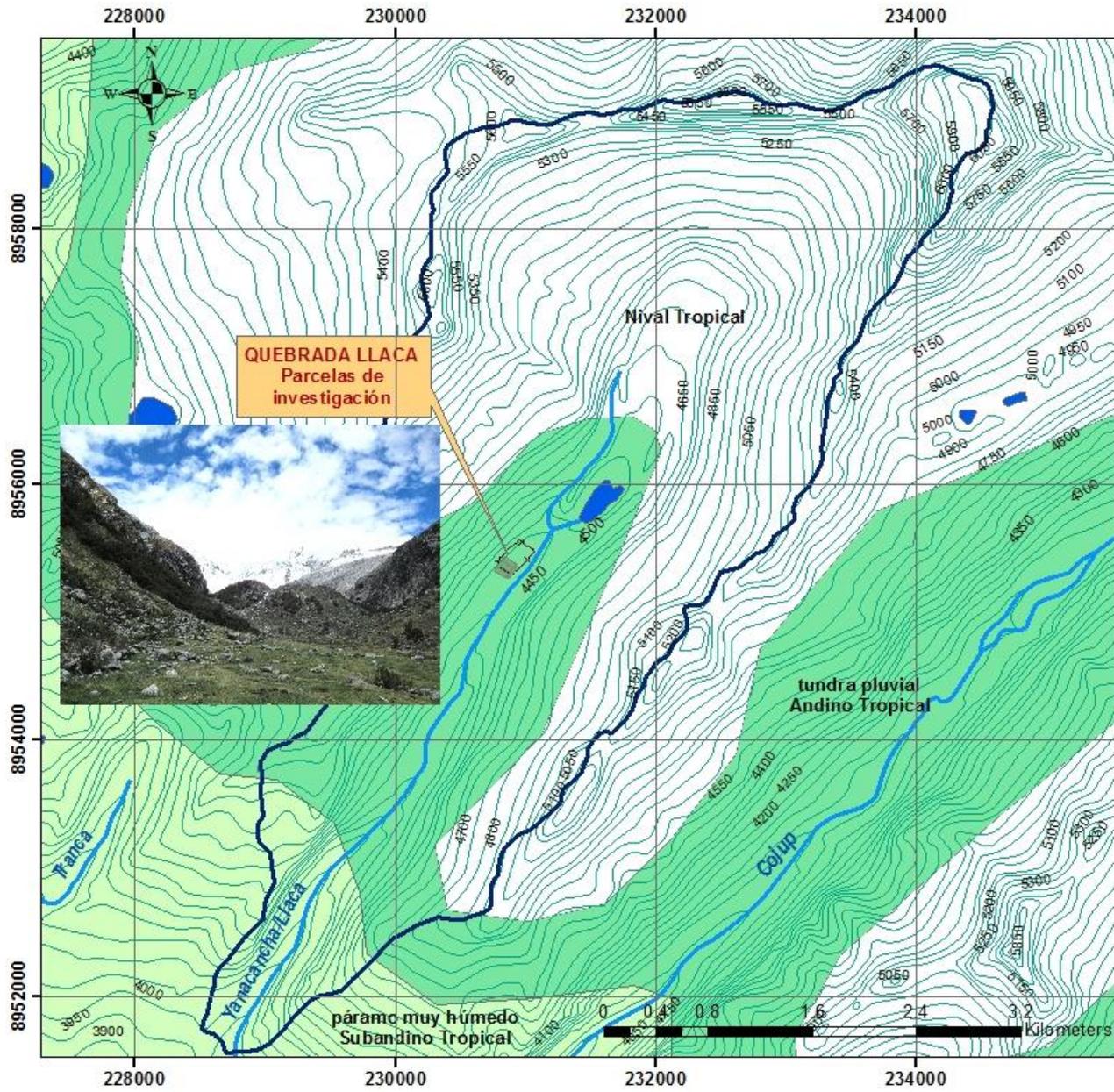
Así mismo según el mapa de cobertura vegetal, dentro de la quebrada de Llaca encontramos las siguientes coberturas: Área altoandina con escasa y sin vegetación, bosque relicto altoandino, glaciar, lagunas y pajonal andino (Véase Mapa N° 03, pág. 35).

3.2.3.4. Hidrografía

La red hidrográfica del ámbito de estudio está distribuida de la siguiente manera: En las partes altas de la quebrada se encuentran los glaciares de Ocshapalca, Ranrapalca, Vallunaraju y Rima Rima (PMPNH, 2010-2015) cuya fusión de la masa glaciar forma riachuelos que alimentan a la laguna de Llaca y a la quebrada, los cuales dan origen al río Yanacancha/Llaca (Véase Mapa N° 04, pág. 36).

3.2.4. Actividad económica

La actividad económica más importante dentro de la Quebrada Llaca es el turismo, sin embargo, también se realiza pastoreo de ganado vacuno y equino de acuerdo al estilo extensivo, lo cual evidencia efectos sobre los ecosistemas de conservación del Parque Nacional Huascarán producto del sobrepastoreo; esta actividad es dedicada por los usuarios de pasto dentro de la quebrada de Llaca.



LEYENDA

- Quebrada Llaca
- Ríos
- Curvas de nivel
- Lagunas

Zonas de vida

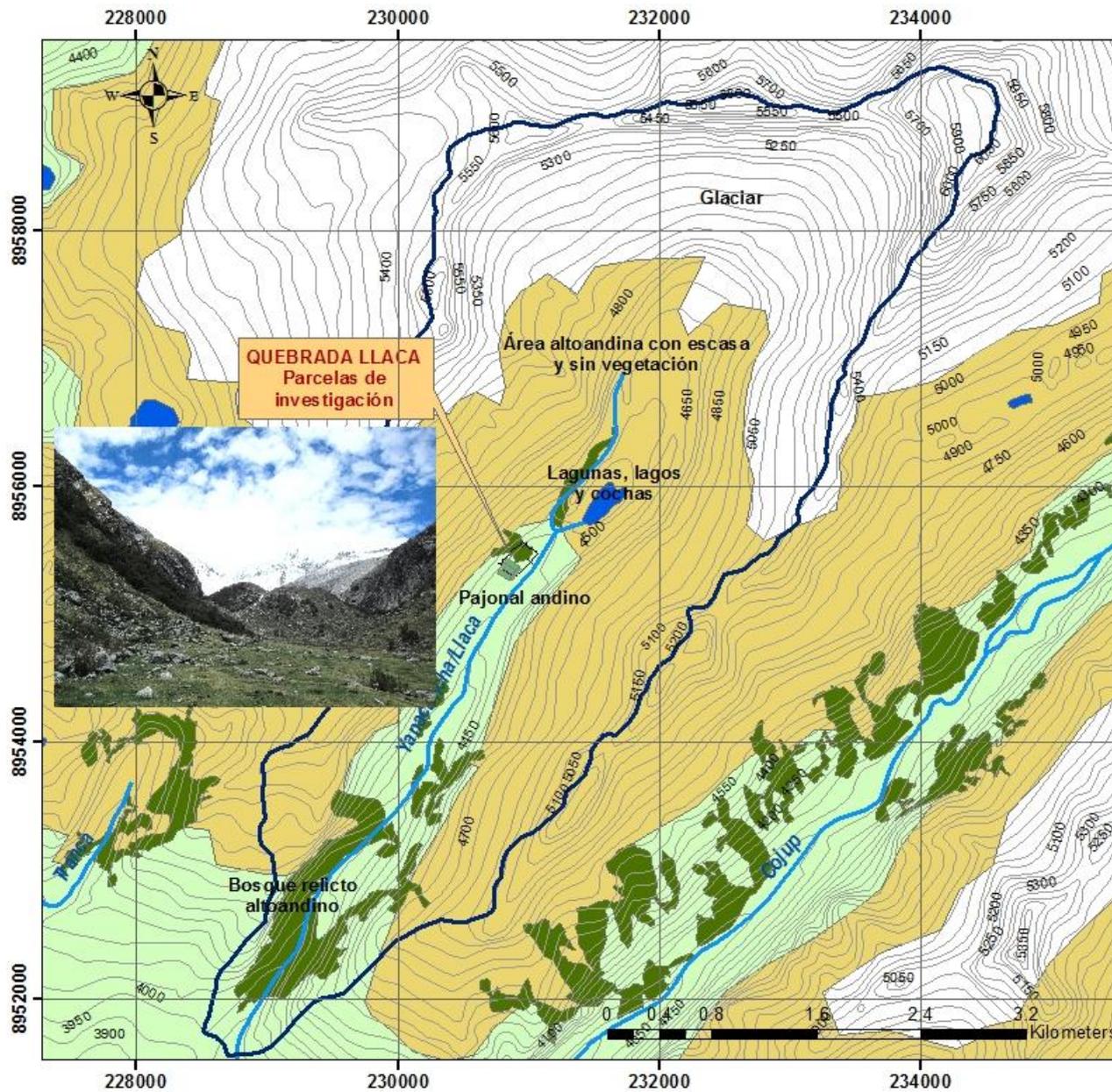
- Nival Tropical
- Páramo muy húmedo Subandino Tropical
- Tundra pluvial Andino Tropical

Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo"
Facultad de Ciencias del Ambiente

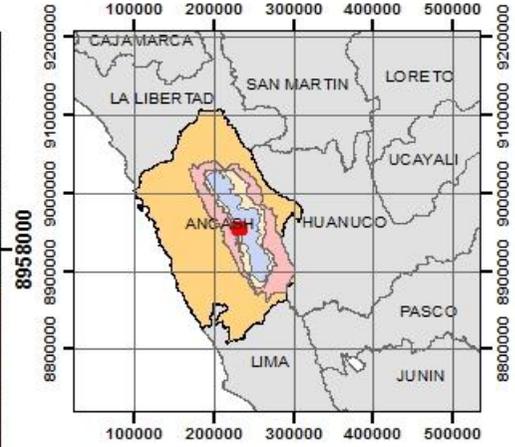
TESIS:
"Estudio de la influencia de los Componentes del Balance Hídrico de un Pajonal Altoandino en la Dinámica del agua edáfica de un Bofedal, en la Quebrada Llaca-Parque Nacional Huascarán 2016-2017"

ZONAS DE VIDA

Ubicación: Distrito: Independencia	Provincias: Huarez	Departamento: Ancash
Elaborado por: Yenifer Garcia Jiménez	Revisión: Asesor Ing. Helder Malqui Meza	Mapa N° 02
Fecha: Septiembre 2017	Escala: 1:40 500	Fuentes: IGN; Carta Nacional hoja 19i; PNH



QUEBRADA LLACA
Parcelas de investigación



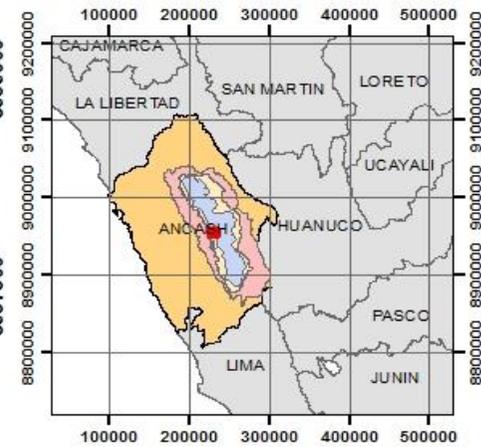
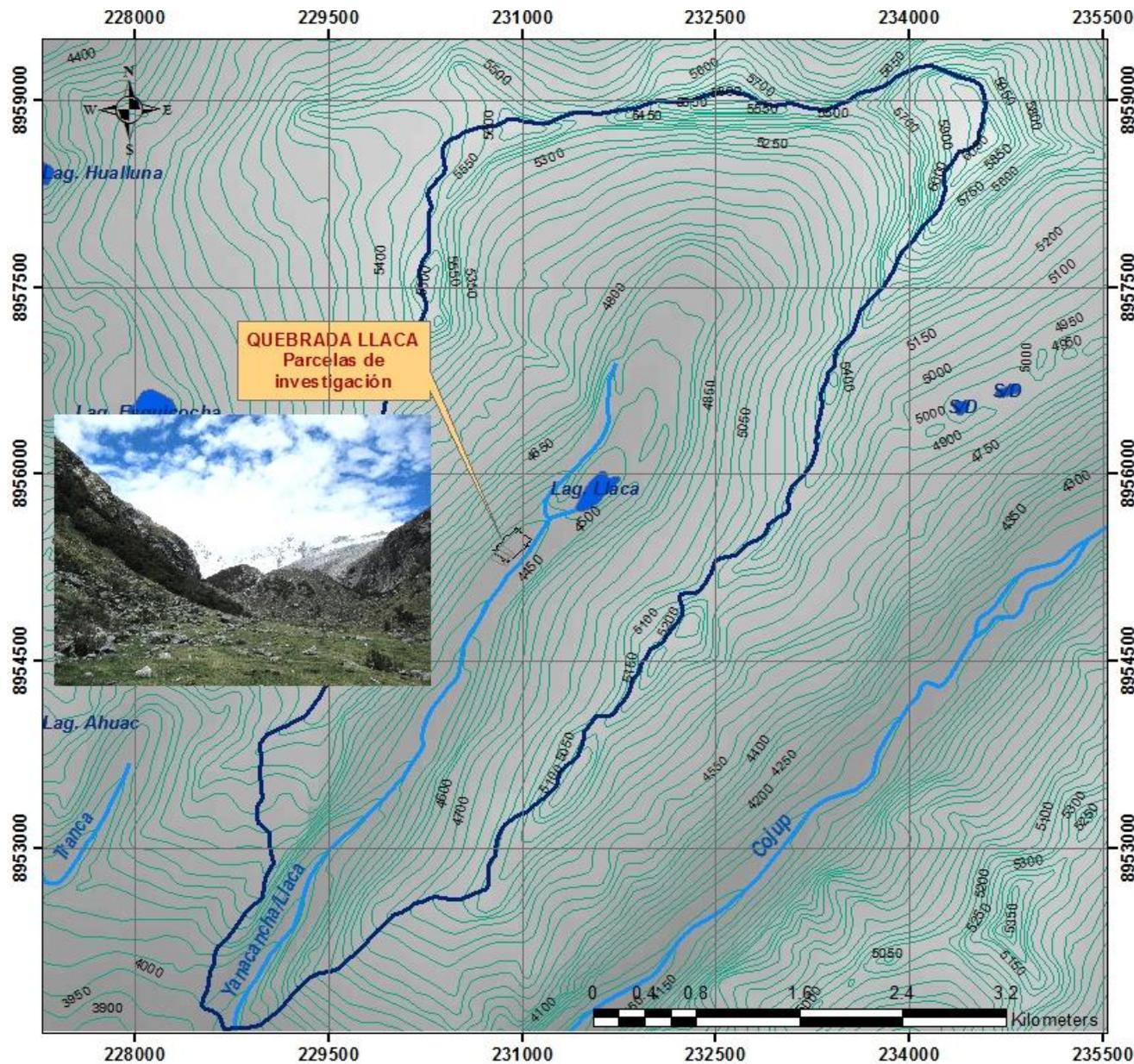
Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo"
Facultad de Ciencias del Ambiente

TESIS:
"Estudio de la influencia de los Componentes del Balance Hídrico de un Pajonal Altoandino en la Dinámica del agua edáfica de un Boledal, en la Quebrada Llaca-Parque Nacional Huascarán 2016-2017"

COBERTURA VEGETAL

Ubicación:	Provincias:	Departamento:
Distrito: Independencia	Huaraz	Ancash
Elaborado por: Yenifer García Jiménez	Revisión: Asesor Ing. Helder Mallqui Meza	Mapa N° 03
Fecha: Setiembre 2017	Escala: 1/40 500	

Fuentes: IGN; Carta Nacional hoja 19j, MINAM



Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo"
Facultad de Ciencias del Ambiente

TESIS:
"Estudio de la Influencia de los Componentes del Balance Hídrico de un Pajonal Albandino en la Dinámica del agua edáfica de un Bofedal, en la Quebrada Llaca-Parque Nacional Huascarán 2016-2017".

MAPA HIDROGRÁFICO

Ubicación:	Provincias:	Departamento:
Distrito: Independencia	Huaraz	Ancash
Elaborado por: Yenifer Garcia Jiménez	Revisión: Asesor Ing. Helder Mallqui Meza	Mapa N° 04
Fecha: Setiembre 2017	Escala: 1/7 6000	Fuentes: IGN; Carta Nacional hojas 191

3.3. Descripción de la parcela clausurada y la parcela testigo

3.3.1. Parcela clausurada (P-C)

La parcela clausurada está conformada por ecosistema pajonal y bofedal. El área total de la parcela clausurada (pajonal altoandino y bofedal) objeto de estudio es de 8574.4 m², se caracteriza por poseer suelos de ladera (ecosistema pajonal altoandino) con pendiente de 65%-70% y planicie (ecosistema bofedal).

Azaña (2017), en su estudio realizado desde febrero del 2016 a abril del 2017, concluye que, la biomasa forrajera verde en la parcela clausurada fue de 2075.88 kg/Ha (mes de enero 2017- época húmeda).

Se observó distribución uniforme de la cobertura vegetal, aduciendo al efecto clausura.

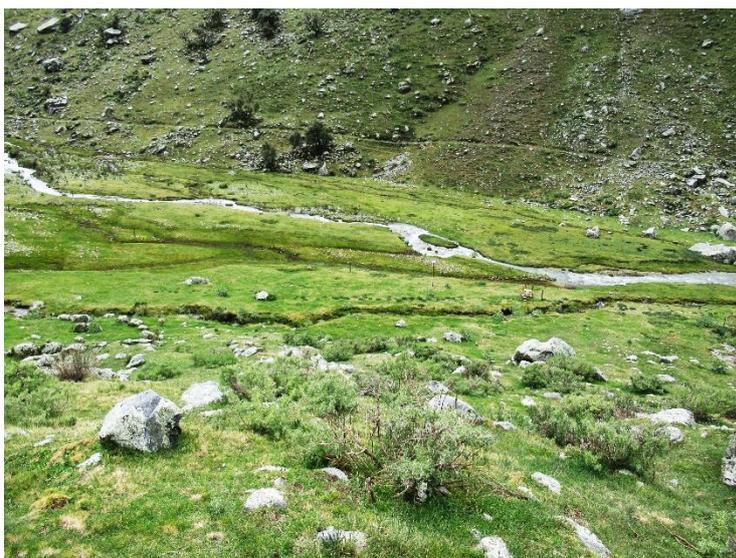


Figura 6: Parcela clausurada (P-C).

3.3.2. Parcela testigo (P-T)

La parcela testigo está conformada por ecosistema pajonal y bofedal. El área total de la parcela clausurada objeto de estudio es de 8435.3 m², se caracteriza por poseer suelos de ladera (ecosistema pajonal altoandino) con pendiente de 65%-70% y planicie (ecosistema bofedal).

Azaña (2017), en su estudio realizado desde febrero del 2016 a abril del 2017, concluye que, la biomasa forrajera verde en la parcela testigo fue de 973.34 kg/Ha (mes de enero 2017- época húmeda).

Además, se observó partes de suelo desnudo, esto debido al pastoreo observado durante el período de evaluación.



Figura 7: Parcela testigo (P-T).

3.3.3. Características de suelos

3.3.3.1. Características de suelo de ladera

En el reporte de suelo facilitado por la Dirección de Ecosistemas de Montaña del INAIGEM (2016) menciona que en ambas parcelas presentan las siguientes características:

El horizonte superficial A, es un epipedón úmbrico, presenta tonalidades negro rojizas (2.5 YR 2.5/1) en húmedo, con espesores de 35 a 60 cm; clase textural franco arenosa; estructura con agregados de forma granular, tamaños finos y grado débil; permeabilidad buena; denota alta conductividad hidráulica; el horizonte tiene una consistencia friable en húmedo...altos contenidos de materia orgánica (12 a 16%) ...presenta raíces finas abundantes, medias y gruesas pocas. (p.16-17).

Horizonte transicional AC de color pardo rojizo oscuro (2.5 YR 4/4 a 7.5 YR 3/4) en húmedo; con espesor de 25 a 35 cm; clase textural franco arenosa; masivo, sin agregados; permeabilidad buena; denota alta conductividad hidráulica; el horizonte tiene una consistencia friable a firme en húmedo... contenidos medios de materia orgánica (3.6 a 3.7 %) ... presenta raíces gruesas, finas y medias pocas (p.17).

Horizonte C de color pardo (10 YR 4/3) a pardo oscuro (7.5 YR 3/2) en húmedo; con espesor de 35 a 40 cm; clase textural arena franca gruesa; masivo, sin agregados; permeabilidad alta; denota alta conductividad hidráulica; el horizonte tiene una consistencia friable a firme en húmedo... contenidos bajos a medios de materia orgánica (0.9 a 2.6 %) ... presenta pocas raíces gruesas (p.18-19).

De lo anterior, el suelo de ladera (pajonal altoandino) presenta horizonte A y AC, son de textura franca arenosa, alta conductividad hidráulica, buena permeabilidad, altos y medios contenidos de materia orgánica respectivamente y presencia de raíces finas, medias y gruesas. En el horizonte C posee una clase textural arena franca gruesa, permeabilidad alta, alta conductividad hidráulica, bajos a medios de contenido de materia orgánica y presenta pocas raíces gruesas.

3.3.3.2. Características de suelo de planicie

En el reporte de suelo facilitado por la Dirección de Ecosistemas de Montaña del INAIGEM (s.f.) presentan las siguientes características para suelo de planicie:

Horizonte A; es un epipedón ócrico, de color pardo (7.5 YR 4/4) con 10 % de motas de color pardo amarillento claro (10YR 6/4) en húmedo; con espesor de 25 cm; clase textural franco arenosa; estructura con agregados granulares finos, débiles; permeabilidad moderada a buena; denota una compactación de ligera a moderada, moderada a alta conductividad hidráulica; el horizonte tiene una consistencia friable a firme en húmedo... contenidos medios de materia orgánica (2.5 %) ... presenta raíces finas y medias (p.19).

Horizonte C1; de color pardo grisáceo (10 YR 5/2) con motas pardo grisáceo oscuras (10YR 4/2) en húmedo; con espesor de 45 cm; clase textural franco limosa; masiva (sin agregados); permeabilidad moderada; denota moderada conductividad hidráulica; el horizonte tiene una consistencia friable a firme en húmedo... contenido bajo de materia orgánica (0.4 %) ... presenta pocas raíces medias (p.20).

Horizonte C2; de color pardo grisáceo oscuro (2.5 Y 4/2) en húmedo; con espesor de >20 cm; clase textural franco limosa; masiva (sin

agregados); permeabilidad moderada; denota moderada conductividad hidráulica; consistencia friable a firme en húmedo... contenido medio de materia orgánica. (p.20).

De lo anterior, el suelo de planicie (bofedal) presenta horizonte A de textura franca arenosa, permeabilidad moderada a buena, alta conductividad hidráulica, contenido medio de materia orgánica, presenta raíces medias y finas. El horizonte C1 y C2 de clase textural franco limosa, moderada permeabilidad, moderada conductividad hidráulica, contenido bajo y medio de materia orgánica respectivamente, el horizonte C1 presenta pocas raíces medias.

Tabla 2: Coordenadas UTM de las parcelas de investigación

Código	Parcelas de investigación	Coordenadas		Área (m ²)
		Este	Norte	
P-C	Parcela clausurada	230861.9	8955363.9	8574.4
P-T	Parcela testigo	230821.7	8955302.1	8435.3

3.4. Diseño de la investigación

Esta investigación tiene un diseño no experimental descriptivo correlacional.

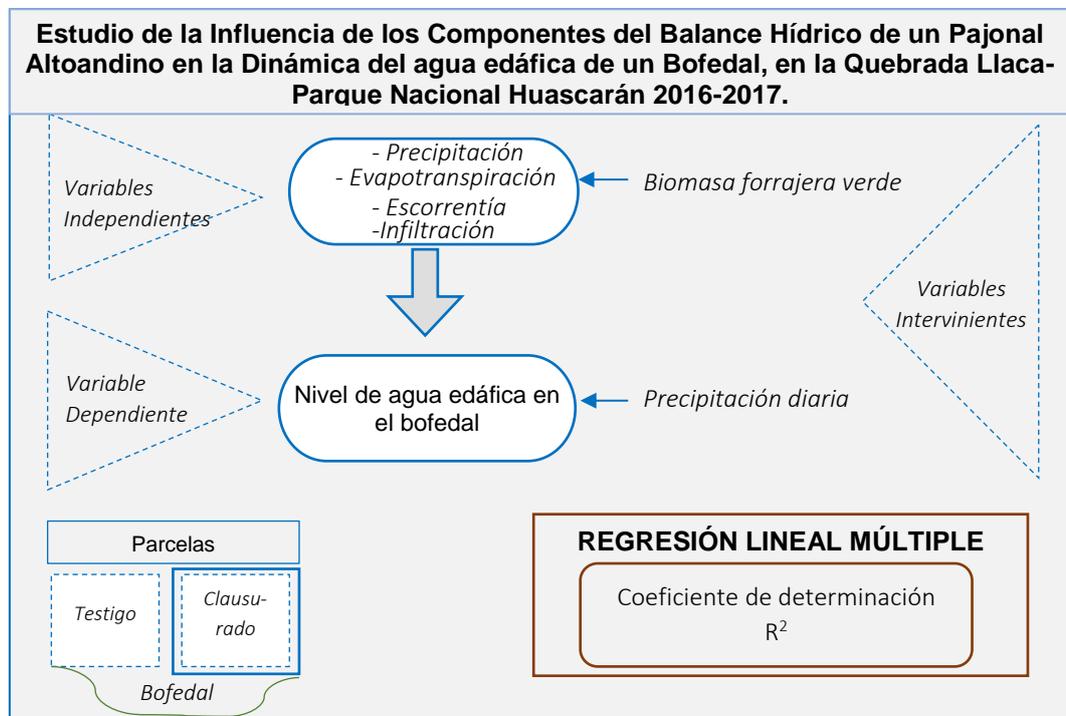


Figura 8: Diseño de la investigación.

La operacionalización de variables se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3: Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional		
		Indicador	Técnica	
Dependiente	Nivel de agua edáfica en el bofedal	Nivel de agua edáfica en mm	Nivel de agua edáfica (mm)	Registro y compensación de datos (Levellogger y Barologger)
				Registro de datos (estación meteorológica) e imágenes satelitales de precipitación TRMM 3B43 V7
Independientes	Precipitación, evapotranspiración, escorrentía e infiltración.	Componentes del Balance hídrico de suelo.	Precipitación (mm)	Sowtware cropwat 8.0
			Evapotranspiración (mm)	Thorntwaite-modificado
			Escorrentía (mm)	Ensayo con cilindro infiltrómetro
			Infiltración (mm)	

En la Tabla 4 se observa la caracterización de las muestras de acuerdo a las variables a evaluar.

Tabla 4: Caracterización de las muestras

Variable	Unidad de muestreo	Nº unidades de muestreo	Tipo de muestreo
Agua edáfica en el bofedal	Parcelas de investigación: - Parcela testigo - Parcela clausurada	02	Muestreo en sitios convencionales.
Componentes del balance hídrico	Parcelas de investigación: - Parcela testigo - Parcela clausurada	02	Muestreo en sitios convencionales

3.5. Métodos

Se recopiló y estimó datos mensuales durante un año (septiembre, 2016 hasta agosto, 2017) en la parcela clausurada y parcela testigo. Los métodos aplicados para determinar las variables de la investigación son los siguientes:

3.5.1. Monitoreo de variables meteorológicas en las parcelas

Se usó la estación meteorológica portátil del Centro de Investigación para el Desarrollo (CIAD) – UNASAM. El cual fue ubicado estratégicamente en el ecosistema pajonal. “La estación meteorológica portátil es adecuada para obtener la precipitación in situ. Cumple con los estándares de las estaciones meteorológicas del Sistema Nacional de Clasificación de Peligro de Incendios (NFDRS)” (Centro de Investigación para el Desarrollo [CIAD], s.f.).

Cuenta con los siguientes componentes:

- Registrador de datos de medición y control CR1000
- Batería recargable de 7 Ah (opción -24) o batería recargable de 24 Ah (opción -24)
- Sensor de radiación solar CS300-QD
- HC2S3-QD Sonda de temperatura y humedad relativa del aire
- TE525-QD Cañón de descarga
- Sensor de viento (opción -MW 034B-QD Wind Set se muestra a la derecha)
- El panel solar SP10-QD 20 W
- Barómetro CS100 (opción-QB)
- Trípode de 6 pies



Figura 9: Estación meteorológica portátil

Se tomó las siguientes variables meteorológicas: temperatura media (°C), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), humedad relativa (%) y velocidad del viento (m/s) los cuales se utilizaron para la determinación de la evapotranspiración de cultivo. Además, la precipitación diaria (mm) permitió realizar el análisis diario con el registro de agua edáfica en ambas

parcelas. Se registró datos por 10 días en promedio cada mes, desde septiembre del 2016 hasta abril de 2017. Las variables faltantes de los meses mayo, junio, julio y agosto fueron obtenidas a partir de la correlación con los datos de la estación fija de Quillcayhuanca y así mismo los valores de horas de insolación fueron tomadas de la estación fija en el mismo período de estudio.

Tabla 5: Coordenadas UTM de la ubicación de estación meteorológica.

Estación meteorológica	Coordenadas UTM		
	Este	Norte	Altitud (msnm)
Estación portátil-Llaca	230864.7	8955392.1	4353
Estación fija-Quillcayhuanca	234668.6	8949132.5	3688



Figura 10: Instalación, registro de datos y recolección de datos en la estación meteorológica portátil.

3.5.2. Determinación de precipitación mensual con imágenes satelitales de precipitación TRMM 3B43 V7.

Los valores de precipitación mensual en la época húmeda (septiembre 2016 a abril 2017) los cuales son necesarios para el cálculo de escorrentía superficial, fueron tomados de imágenes satelitales de precipitación TRMM 3B43 V7. Las imágenes fueron descargadas de la plataforma de la NASA. <https://earthdata.nasa.gov/>

Para obtener los valores de precipitación mensual TRMM 3B43 V7 se procedió de la siguiente manera:

- Se descargó las imágenes satelitales de precipitación TRMM 3B43 V7 mensual en formato Unidata Network Common Data form (NC) para los meses que comprenden a la época húmeda (septiembre 2016 a abril 2017).
- Se procedió a convertir el formato .NC a un formato accesible en ArcMap usando la herramienta de múltiples dimensiones.
- Y se extrajo los valores de precipitación utilizando valores múltiples a punto en ArcMap para el área de estudio.

Los valores de precipitación determinados son considerados como entrada de agua para ambas parcelas de investigación (clausurada y testigo).

3.5.3. Determinación de biomasa forrajera verde en la época seca en las parcelas de pajonal altoandino.

La biomasa forrajera verde fue determinada mediante el método corte. “El método de corte es el más apropiado para medir la biomasa forrajera verde por unidad de área (Gómez, 2007 y Alejo et al., s.f. citado por Azaña, 2017, p. 31).

En el mes de agosto 2017 (época seca), se demarcó 4 cuadrantes por parcela (1x1 m) y el corte del pastizal fue en un cuadrante de 0.5x0.5 m de lado. Las coordenadas UTM se presentan en la Tabla 6.

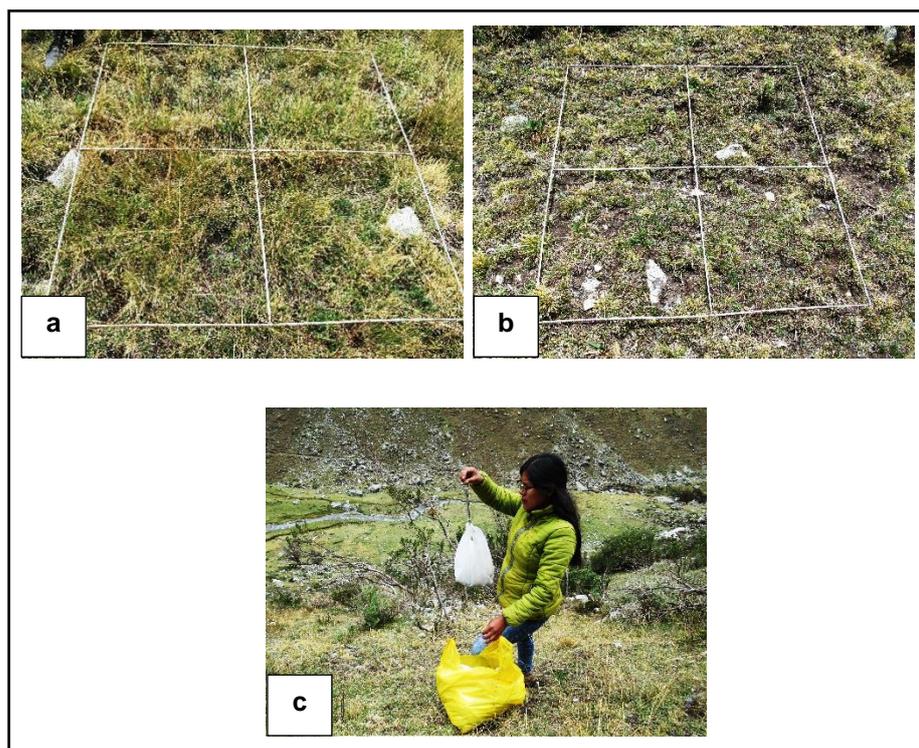


Figura 11: Procedimiento de toma de muestras para biomasa forrajera verde.

Nota: a) Cuadrante para el corte de forraje en la parcela clausura (P-C),
 b) Cuadrante para el corte de forraje en la parcela testigo (P-T) y
 c) Pesaje de la muestra.

Tabla 6: Coordenadas UTM de los cuadrantes para toma de muestra adaptado de Azaña (2017)

Topografía	Parcela	Código	Descripción	Coordenadas	
				Este	Norte
Ladera	Clausurada	P-C ₁	Cuadrante N°01	230905	8955324
		P-C ₂	Cuadrante N°02	230891	8955318
		P-C ₃	Cuadrante N°03	230833	8955386
		P-C ₄	Cuadrante N°04	230819	8955376
	Testigo	P-T1	Cuadrante N°01	230848	8955239
		P-T2	Cuadrante N°02	230832	8955232
		P-T3	Cuadrante N°03.	230768	8955279
		P-T4	Cuadrante N°04	230753	8955270

3.5.4. Cálculo de la Evapotranspiración con FAO Penman-Monteith en las parcelas de pajonal altoandino.

La evapotranspiración es un componente importante del balance hídrico de suelo. Sin embargo, no puede medirse directamente, para ello se utiliza herramientas que permitan su estimación.

En el presente trabajo de investigación la evapotranspiración de referencia se estimó con el método FAO Penman-Monteith, el cual es un método mundialmente recomendado por proveer resultados fiables.

De acuerdo a Allen, *et al.* (2006) la fórmula para el cálculo de la ET_0 , es la siguiente:

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

Donde:

ET_0 : Evapotranspiración de referencia [mm mes^{-1}]

R_n : Radiación neta en la superficie de la planta [$\text{MJ m}^{-2} \text{mes}^{-1}$]

G : Flujo térmico del suelo [$\text{MJ m}^{-2} \text{mes}^{-1}$]

T : Temperatura media [$^{\circ}\text{C}$]

u_2 : Velocidad del viento medida a 2 m de altura [m s^{-1}]

$(e_s - e_a)$: Déficit de la Presión de Vapor [kPa]

Δ : Pendiente de la Curva de Presión de Vapor [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$]

γ : Constante psicométrico [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$]

900: Factor de conversión.

Para el presente trabajo de investigación se utilizó el software Cropwat 8.0 que utiliza la ecuación de FAO Penman Monteith. Para el cual es necesario conocer la temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa, velocidad del viento y duración de la insolación.

Debido a que la estación meteorológica portátil no registra valores de duración de horas de insolación, esta variable fue tomada de la estación meteorológica fija ubicada en la quebrada de Quillcayhuanca.

Además, para completar los datos de los meses, mayo, junio, julio y agosto, se procedió a realizar una correlación lineal con los datos de la estación fija de Quillcayhuanca. Posteriormente se ingresaron los datos en el software CROPWAT 8.0.

A partir de los valores mensuales de ET_0 se calculó la evapotranspiración del cultivo (ET_c). Para lo cual se utilizó los valores de coeficiente de cultivo de 0.30 y 0.75 para la parcela testigo y parcela clausurada respectivamente por sus características de desarrollo y presión de perturbación.

$$ET_c = K_c * ET_0$$

En ambas parcelas, se estimó la evapotranspiración de cultivo mensual durante el año de evaluación.

3.5.5. Estimación de escorrentía en las parcelas de pajonal altoandino

La estimación de la escorrentía se realizó mediante Thornthwaite modificado con ET Penman-Monteith. CONAZA-UACH (2001) citado por Hernández et al. (2007) refiere que la metodología para el cálculo de escurrimientos por Thornthwaite modificado con ET Penman-Monteith considera los siguientes aspectos y fórmulas:

El primer paso consiste en definir los meses donde la precipitación es superior a la evapotranspiración, de la siguiente manera;

$$P - ET_c$$

Donde:

P : Precipitación

ET_c : Evapotranspiración de cultivo

De la fórmula anterior, teniendo en cuenta la presencia de dos épocas bien marcadas tanto la época seca y húmeda, genera la siguiente situación en función a los datos de precipitación y evapotranspiración que es;

- En algunos meses la precipitación es superior y en otros es inferior a la evapotranspiración.

Luego se calcula las demasías o excedentes de humedad de la estación, expresada en términos de la Pérdida Potencial de Agua Acumulada (PPAA). Se considera los siguientes criterios:

- Para todo mes que $(P - ET_c)_i > 0$ entonces $PPAA_m = 0$ (de forma general).
- Para todo mes que $(P - ET_c)_i < 0$ entonces $PPAA_m = PPAA_{i-1} + (P - ET_c)_i$, y en este caso se inicia el cálculo por el primer mes en que la $(P - ET_c)_i < 0$.

Donde:

$PPAA_i$: Pérdida potencial de agua acumulada

$(P - ET_c)_i$: Precipitación menos evapotranspiración de cultivo en el mes.

ET_c : Evapotranspiración

La PPAA es la pérdida máxima de agua en función a la relación de la precipitación y la evapotranspiración, realizado previamente sin considerar el suelo. Es el punto más delicado ya que en base a estimaciones se obtiene un valor de PPAA definitivo para cada mes.

Seguidamente se obtiene el Almacenaje de Agua en el Suelo (AAS), el cual está en función de la PPAA y la Capacidad de Almacenamiento del Suelo (CAP).

La Capacidad de Almacenamiento del Suelo (CAP), se define como la cantidad máxima de agua disponible en las capas del suelo ocupadas por las raíces y que puede ser tomada por las mismas cuando la planta lo requiera para la evapotranspiración. Esta agua por lo tanto solamente puede ser considerada como útil a las plantas, cuando se encuentre entre el Punto de Marchitez Permanente (PMP) y la Capacidad de Campo (CC), fuera de este rango el agua no se encuentra disponible a la vegetación (Hernández, *et al.*, 2007).

Según Hernández, *et al.* (2007), "La CAP depende de la textura del suelo y de la vegetación o cultivo". Se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7: Capacidad de almacenamiento de humedad del suelo adaptado de Hernández, et al. (2007)

Textura del suelo	Hortalizas, frejol	Maíz, cereales	Arbustos, pastizales	Árboles, bosque	Selva alta, bosque cerrado
Gruesa	62.5	112.5	125	200	275
Media	112.5	200	250	275	400
Fina	75	150	200	200	350

Para cuestiones de la presente investigación la capacidad de almacenamiento del suelo que se utilizó es de 125 correspondiente para textura de suelo grueso y cobertura de pastizales que son características de las parcelas de investigación objeto de estudio.

El Almacenaje de Agua en el Suelo (AAS) es:

$$AAS = CAP^{(PPAA/CAP)}$$

Donde:

AAS: Almacenaje de agua en el suelo

CAP: Capacidad de Almacenamiento del Suelo

PPAA: Pérdida potencial de agua acumulada

Ahora es posible calcular la cantidad de agua que se encuentra en exceso; es decir, la cantidad de agua que no se pierde en forma de ET_c y tampoco puede ser almacenada en el suelo. Ello se define como Demasía de agua (DA):

La Demasía de agua es obtenida a partir de la siguiente fórmula.

$$DA = AAS_{i-1} + (P - ET_c)_i - CAP$$

Donde:

DA: Demasía de agua

AAS_{i-1} : Almacenaje de agua en el suelo en el mes anterior

$(P - ET_c)_i$: Precipitación menos Evapotranspiración de cultivo

CAP: Capacidad de almacenamiento de humedad de los suelos.

Es positivo; si al aplicar la fórmula el resultado es negativo se considera como cero, además de que solo existen demasías en época húmeda.

Cuando el agua que llueve supera a la evapotranspiración y la capacidad de almacenamiento del suelo se encuentra saturada de humedad, se producen los escurrimientos (ES), corresponde la siguiente fórmula:

$$ES = \frac{DA_{i-1} + DA}{2}$$

Donde:

ES: Escurrimientos del mes

DA_{i-1}: Demasía de agua del mes anterior

DA: Demasía de agua del mes

Referencias: Hernández, *et al.*, 2007

En ambas parcelas, se estimó la escorrentía superficial mensual durante el año de evaluación.

3.5.6. Determinación de la infiltración en las parcelas de pajonal altoandino.

La infiltración fue determinada mediante pruebas en campo con el uso de un cilindro infiltrómetro en época húmeda (septiembre, 2016) y época seca (junio, 2017). Para ambas parcelas de investigación, el valor de la lámina de agua infiltrada acumulada obtenida en el ensayo de infiltración para la época húmeda y época seca se promedió y se tomó para los meses correspondientes a época húmeda (septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo y abril).

Para desarrollar el ensayo de infiltración, se ubicó el cilindro infiltrómetro en la parte media del pajonal altoandino y en ambas parcelas.

Tabla 8: Estaciones de infiltración por época en el pajonal altoandino.

Época	Topografía	Parcela clausurada (P-C)	Parcela testigo (P-T)
Húmeda	Ladera	Septiembre 2016	Septiembre 2016
Seca	Ladera	Junio 2017	Junio 2017

Se procedió al ensayo de infiltración como indica en la figura 12.



Figura 12: Procedimiento de ensayo de infiltración con cilindro.

Nota: a) Instalación del cilindro y regla graduada,
b) instalación de plástico y llenado de agua en el cilindro y
c) registro de la medida del descenso de agua y tiempo.

3.5.7. Determinación del almacenamiento de agua en las parcelas de pajonal altoandino.

El almacenamiento de agua en la parcela se determinó mediante la ecuación de balance de suelo. Específicamente se tiene lo siguiente:

$$P - ET - ES + I = \pm A$$

Donde:

P: Precipitación

ET: Evapotranspiración

ES: Escorrentía superficial

I: Infiltración

A: Almacenamiento en la parcela

Para efecto de la investigación, se utilizó imágenes satelitales de precipitación TRMM 3B43 V7 para definir las precipitaciones mensuales en los meses de época húmeda (septiembre 2016 a abril 2017).

Así mismo para la obtención de almacenamiento de agua en el suelo para los meses de época seca, se utilizó un modelo en el que se obtenga almacenamiento o retención de agua a partir de la capacidad de campo en volumen. Para ello se hizo uso de los resultados de Muñoz (2016).

Tabla 9: Capacidad de campo (%) en volumen de Pajonal Intervenido adaptado de Muñoz (2016)

Profundidad (mm)	Capacidad de campo (%)	Capacidad de campo en volumen (cm ³ /cm ³)	Lámina de agua (mm)
0-250	20.9	0.209	52.25
250-500	21.5	0.215	53.75
Total			106.0

Los resultados de lámina de agua fueron obtenidos a partir los datos de capacidad de campo obtenido para un pajonal intervenido. Muñoz (2016) refiere que la vegetación representativa es el pajonal, que no superan los 30 cm de altura. La intervención actual corresponde al pastoreo de alpacas; anteriormente se usó para pastoreo de ganado ovino y vacuno. Con clase textural que corresponde a franco arenoso. Entonces el pajonal altoandino objeto de nuestro estudio es similar en características físicas, presión por pastoreo y suelo de textura franco arenoso del área de estudio (pajonal intervenido) de Muñoz (2016). Por tanto, se consideró los datos para realizar el cálculo de almacenamiento de agua en el suelo en época seca en nuestras parcelas de pajonal altoandino en la quebrada de Llaca.

3.5.8. Determinación del nivel de agua edáfica

El nivel de agua edáfica se determinó mediante el registro de datos en los piezómetros Levelogger Edge instalados a 3 metros de profundidad en la parte inferior del ecosistema pajonal, se registraron datos desde septiembre de 2016 hasta septiembre de 2017.

Mediante la descarga de datos y compensación de datos con el programa Levellogger 4.3.0 se obtuvo el nivel de agua edáfica en las parcelas: testigo y clausurada. A continuación, se muestra las coordenadas de ubicación de los piezómetros, fecha de instalación, topografía y pendiente.

Tabla 10: Coordenadas UTM de la ubicación de piezómetros

Estación piezométrica	Topografía	Coordenadas UTM			Fecha de instalación
		Este	Norte	Altitud (msnm)	
Piezómetro Parcela Clausurada	Pie de ladera 5% (bofedal)	230895.4	8955361.6	4336	10/09/2016
Piezómetro Parcela Testigo	Pie de ladera <5% (bofedal)	230895.7	8955330.8	4336	10/09/2016

3.5.9. Análisis estadístico de la información

Para determinar el grado de relación entre los componentes del balance hídrico de suelo de un pajonal altoandino sobre la dinámica del nivel de agua edáfica en el bofedal, los datos obtenidos fueron sometidos a pruebas estadísticas de tipo regresión lineal múltiple, por parcela de investigación. “Coeficiente de correlación lineal de Pearson” (s.f.). “En sentido estricto, correlación entre dos variables tan solo significa que ambas variables comparten información, que comparten variabilidad... Se concluye, pues, que correlación entre dos variables no implica necesariamente causalidad entre ambas” (p.15-16).

3.6. Recursos

La presente investigación fue financiada al 100% por el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistema de Montaña (INAIGEM).

3.6.1. Recursos humanos

- Tesista: Bach. Yenifer Liliana Jiménez García
- Asesor: Ing. Helder Edegardo Mallqui Meza
- Colaboradores:
 - Ing. David Ocaña Vidal
 - Ing. Jaime Rosales Pereda

- Ing. Herbert Valverde Balabarca
- Ing. Yulfo Azaña Velásquez

3.6.2. Bienes y servicios

- Libros, informes y artículos científicos.
- Materiales de escritorio.
- Estación meteorológica portátil.
- Computador portátil.
- Cilindro infiltrómetro
- Balanza.
- Transporte.
- Alimentación.
- Instalación de piezómetros.
- Impresiones, copias, espiralados y empastados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización meteorológica de las parcelas y precipitación mensual en el pajonal altoandino.

A continuación, se muestran los resultados que se obtuvieron de la evaluación realizada en las parcelas de investigación, como la temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima, humedad relativa, velocidad del viento y precipitación acumulada en 10 días de evaluación en promedio y las precipitaciones mensuales de acuerdo a la imagen satelital TRMM 3B43 V7.

Tabla 11: Datos meteorológicos registrados del mes de septiembre del 2016 al mes de agosto 2017.

Meses	Temperatura media (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad del viento (m/s)	Precipitación (mm)*	Precipitación TRMM (mm)**	Insolación (horas)***
Septiembre	4.78	12.13	0.99	96	1.50	11.43	66.22	10.1
Octubre	4.44	10.53	1.06	96	1.37	51.05	69.80	9.9
Noviembre	5.39	6.24	4.70	69	1.86	27.94	113.96	10.8
Diciembre	4.86	5.43	4.33	88	1.43	54.61	222.21	10.0
Enero	3.73	4.34	3.18	90	1.62	106.93	189.41	10.3
Febrero	3.25	3.83	2.72	92	1.50	0.25	115.30	10.0
Marzo	3.66	4.23	3.18	92	1.52	101.35	228.90	9.7
Abril	4.88	5.60	4.27	84	1.75	47.75	71.24	9.7
Mayo	5.15	6.9	3.4	90	1.71	0.00	0.00	9.7
Junio	3.3	4.4	2.2	86	1.71	0.00	0.00	9.8
Julio	2.65	3.7	1.6	82	1.67	0.00	0.00	10.0
Agosto	3.75	5.3	2.2	82	1.68	0.00	0.00	10.0
Promedio	4.15	6.05	2.82	87	1.61	401.31	1077.04	10.0

*Precipitación total en 10 días en promedio de registro de datos.

**Precipitación total mensual TRMM 3B43 V7.

***Insolación tomadas de la Estación Quillcayhuanca

En el período evaluado, la temperatura media oscila entre 2.65°C y 5.39°C, no habiendo diferencias considerables entre época húmeda y seca. La humedad relativa oscila entre 69% y 96%, siendo mayores en la época húmeda. Durante el año, la precipitación total oscila entre 71.24 mm y 228.90 mm, siendo mayores en la época lluviosa y específicamente en el segundo trimestre del año evaluado. Los valores de velocidad del viento e insolación no presentan mayores diferencias entre la época húmeda y seca.

El total de precipitación (única entrada al sistema) es de 1077.04 mm, característico de estas zonas altoandinas, que según el mapa de zonas de vida del Parque Nacional Huascarán la parcela de investigación se encuentra bajo la zona de vida Tundra Pluvial Andino Tropical (tp-AT).

Se puede afirmar que los ecosistemas pajonal altoandino y bofedal, así como otros ecosistemas presentes, cumplen un rol importante en el reciclaje de la precipitación. Amat (2014) refiere que los bofedales y pasturas altoandinas almacenan las lluvias y atenúan las variaciones de la escorrentía superficial. Así mismo WWAP (2018) refiere que los suelos son cruciales para el control del movimiento, el almacenaje y la transformación.

4.2. Estimación de la biomasa forrajera verde en las parcelas de pajonal altoandino en época seca

La biomasa forrajera verde se obtuvo mediante el corte de vegetación de un cuadrante de 0.5x0.5 metros de lado.

4.2.1. Estimación de la biomasa forrajera verde en el pajonal altoandino de la parcela clausurada (P-C).

En la Tabla 12 se presenta los resultados por cuadrante y promedio de la biomasa forrajera verde correspondiente a la parcela clausurada (P-C) determinada para la época seca (agosto del 2017).

La biomasa forrajera verde en la parcela clausurada determinada en época seca (agosto del 2017) fue de 1728.10 kg/Ha.

Tabla 12: Biomasa forrajera verde en la parcela clausurada (P-C)

PARCELA CLAUSURADA (P-C)			
Evaluación en mes de agosto del 2017			
Cuadrante	Peso fresco g/ 0.25m ²	Peso fresco kg/10000m ²	Promedio Biomasa forrajera verde kg/Ha
P-C ₁	53.00	2119.88	1728.10
P-C ₂	49.38	1975.08	
P-C ₃	38.75	1549.88	
P-C ₄	31.69	1267.56	

En comparación con los resultados de Azaña (2017) de biomasa forrajera verde registrada en época húmeda (biomasa forrajera verde \approx 2075.88 kg/Ha) y la encontrada en época seca (biomasa forrajera verde \approx 1728.10 kg/Ha), existe una disminución considerable; esto es atribuido a la ausencia de las lluvias y crecimiento limitado o nulo de la vegetación presente.

4.2.2. Determinación de la biomasa forrajera verde en el pajonal altoandino de la parcela testigo (P-T).

En la Tabla 13 se presenta la biomasa forrajera verde en la parcela testigo (P-T) determinada para la época seca (agosto del 2017).

Tabla 13: Biomasa forrajera verde en la parcela testigo (P-T)

PARCELA TESTIGO (P-T)			
Evaluación en mes de agosto del 2017			
Cuadrante	Peso fresco g/ 0.25m ²	Peso fresco kg/10000m ²	Promedio Biomasa forrajera verde kg/Ha
P-T ₁	2.85	114.04	294.99
P-T ₂	6.20	248.16	
P-T ₃	6.44	257.48	
P-T ₄	14.01	560.28	

La biomasa forrajera verde en la parcela testigo determinada en época seca (agosto del 2017) fue de 294.99 kg/Ha.

En comparación con los resultados de Azaña (2017) en la parcela testigo en época húmeda (biomasa forrajera verde \approx 973.34 kg/Ha) y la encontrada en época seca (biomasa forrajera verde \approx 294.99 kg/Ha), existe una disminución considerable, esto es atribuido a la ausencia de las lluvias y crecimiento limitado o nulo de la vegetación presente, además de la presión por el sobrepastoreo observado en el lugar y por ende incremento de suelo desnudo y erosión severa.

En líneas generales, la biomasa forrajera verde determinada en época seca en la parcela clausura es mucho mayor que la obtenida en la parcela testigo; esto debido al efecto clausura el cual influye en la recuperación de la vegetación presente el cual no ocurre en la parcela testigo ya que la presencia de ganado vacuno dificulta la recuperación natural de los pastizales. Así mismo según las evaluaciones de Azaña (2017) en época húmeda, la biomasa forrajera verde en la parcela clausurada es mayor frente a la parcela testigo. Así mismo, la biomasa forrajera verde en la época húmeda en ambas parcelas es mayor a los valores obtenidos en la época seca, esto debido a la presencia de precipitaciones y desarrollo de la vegetación en ambas parcelas.

Existe mayor biomasa forrajera verde en la parcela clausurada frente a la parcela testigo, y es debido al efecto clausura que permite que la vegetación presente se encuentre en su mejor estado vegetativo y reproductivo. Como indica Clements (1932) citado por García (2016). “Cuando la vegetación en los sistemas naturales llega a un estado “climax”, la vegetación se desarrolla en forma progresiva y ordenada, aprovechan de la mejor manera los recursos del ambiente y en consecuencia presentan alta productividad de biomasa”. Por las condiciones óptimas en la parcela clausurada, la vegetación presenta una mayor biomasa forrajera verde frente a la parcela testigo.

En general la parcela testigo presenta menor biomasa forrajera verde en las dos épocas evaluadas en comparación a la parcela clausurada. Como menciona Stringham (2003) citado por García (2016). “Las perturbaciones afectan los umbrales bióticos, los cuales provocan cambios en la composición y distribución de las especies e incremento del suelo desnudo”. Por lo tanto, se puede afirmar que la mínima biomasa forrajera verde en la parcela testigo se debe a las perturbaciones a las que está expuesta y nos referimos al sobrepastoreo.

Las fotos de las parcelas evaluadas se presentan en el Anexo 2.

4.3. Estimación de las salidas mensuales del balance hídrico en las parcelas de pajonal altoandino

4.3.1. Estimación de la evapotranspiración de cultivo (ET_c) en las parcelas de pajonal altoandino.

Los resultados obtenidos del cálculo de la evapotranspiración del cultivo mediante el software CROPWAT 8.0 están descritos en la Tabla 14.

Tabla 14: Evapotranspiración de cultivo en las parcelas de investigación

Meses	Parcela clausurada (P-C)	Parcela testigo (P-T)
	ET _c (mm)	ET _c (mm)
Septiembre	2.46	1.85
Octubre	2.55	1.91
Noviembre	2.74	2.05
Diciembre	2.48	1.86
Enero	2.39	1.79
Febrero	2.32	1.74
Marzo	2.54	1.91
Abril	2.14	1.60
Mayo	1.91	1.43
Junio	1.71	1.28
Julio	1.74	1.31
Agosto	1.98	1.49
Promedio	2.25	1.69

Los datos resultantes de la evapotranspiración de cultivo calculados de acuerdo a FAO Penman-Monteith, muestran una clara diferencia en cuanto a la parcela clausurada y testigo.

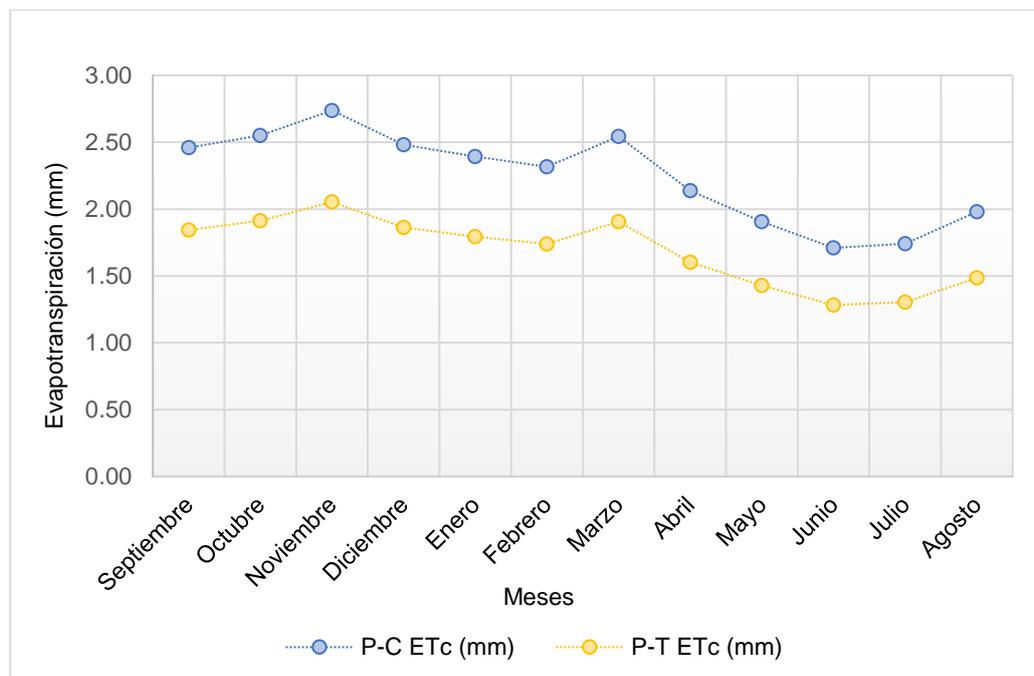


Figura 13: Variación de la evapotranspiración mensual 2016-2017

Se presenta mayores valores de evapotranspiración en la parcela clausurada que oscilan entre 1.71 mm y 2.72 mm, este hecho puede estar influenciado por el efecto clausura y por ende recuperación de la vegetación presente y mayor transpiración de las hojas de las plantas; así mismo se puede observar mayores valores de evapotranspiración en los meses de época húmeda, esto puede ser atribuido a la transpiración de las hojas y evaporación del agua contenida en el suelo. En la época seca la evapotranspiración disminuye, esto es atribuido a la ausencia de precipitación y por ende ausencia de la evaporación y amarillamiento de las hojas de las plantas el cual disminuye la transpiración.

En la parcela testigo el comportamiento de la evapotranspiración de cultivo es similar al de la parcela clausurada; oscila entre 1.28 mm y 2.05 mm, sin embargo, la línea de tendencia se encuentra por debajo de la parcela clausurada, esto se puede atribuir al estado degradado de la parcela, presencia de suelo desnudo y biomasa forrajera verde menor en comparación a la parcela clausurada.

McIntyre y Marshal (2010) citado por WWAP (2018), refieren que el pastoreo excesivo, la degradación de suelo y compactación conducen a tasas mayores de evaporación, sin embargo, se ha observado que la parcela clausurada (el cual evidencia distribución uniforme de la vegetación y

mínima presencia de suelo desnudo) posee mayores niveles de evapotranspiración, esto básicamente influenciado por la transpiración de la vegetación presente y en la parcela testigo la evapotranspiración de cultivo está básicamente influenciado por la evaporación del agua contenida en el suelo.

4.3.2. Estimación de la Escorrentía superficial en las parcelas de pajonal altoandino.

Los resultados obtenidos de la escorrentía superficial mensual determinado por el método Thornthwaite modificado con la evapotranspiración determinada con Penman-Monteith se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15: Escorrentía superficial en las parcelas de investigación

Meses	Precipitación (TRMM 3B43 V7)	Parcela clausurada (P-C)	Parcela testigo (P-T)
	P (mm/mes)	ES (mm)	ES (mm)
Septiembre	66.22	0.00	0.00
Octubre	69.80	0.00	0.00
Noviembre	113.96	0.00	0.00
Diciembre	222.21	47.86	48.18
Enero	189.41	79.38	79.99
Febrero	115.30	31.51	31.81
Marzo	228.90	51.18	51.50
Abril	71.24	51.18	51.50
Mayo	0.00	0.00	0.00
Junio	0.00	0.00	0.00
Julio	0.00	0.00	0.00
Agosto	0.00	0.00	0.00

Como se puede observar de acuerdo al método aplicado la escorrentía superficial en ambas parcelas se presentan en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril, donde se presentan mayores niveles de

precipitación. En los meses en el que se observa presencia de precipitaciones y sin embargo no se genera escorrentía superficial es debido a que no existe demasías, y toda el agua que ingresa a las parcelas bien se pierde en forma de evapotranspiración, queda almacenada en el suelo o ingresa a las capas más profundas del suelo.

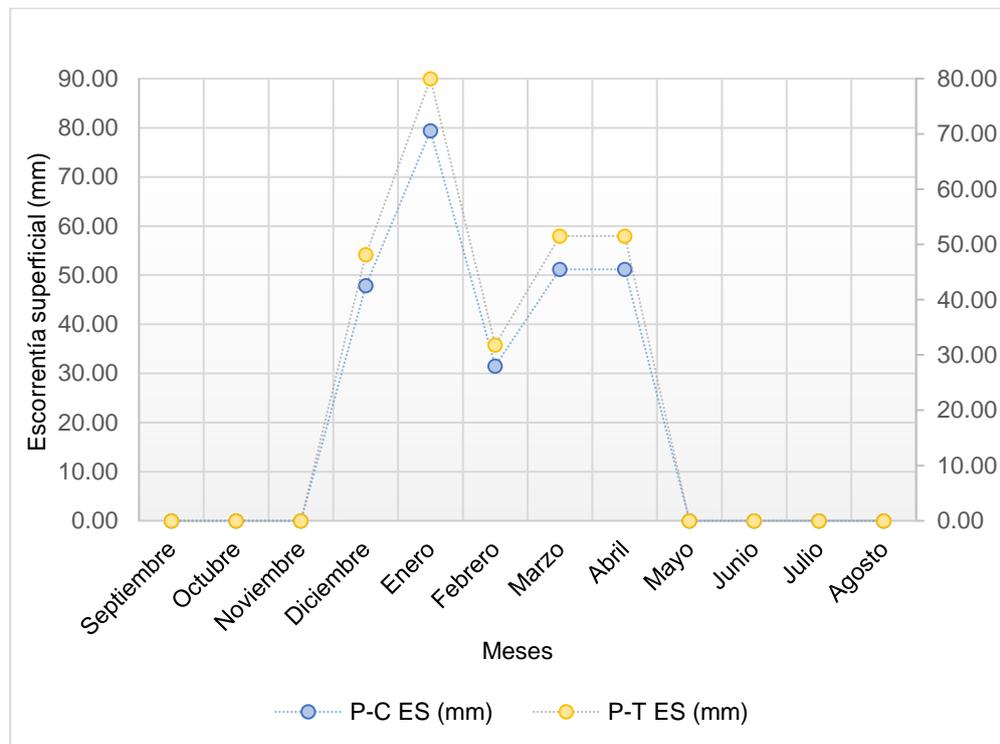


Figura 14: Variación de la escorrentía superficial mensual 2016-2017

Se distingue que, la parcela testigo presenta ligeramente mayores valores de escorrentía superficial frente a la parcela clausurada. Esto es debido a la presencia de suelo desnudo, vegetación no uniforme y biomasa forrajera verde menor a la parcela clausurada.

Como refieren McIntyre y Marshal (2010) citado por WWAP (2018), el pastoreo excesivo, la degradación de suelo y compactación conducen a una mayor escorrentía superficial y son perjudiciales para los servicios de almacenamiento de agua de los pastizales. Como era de esperarse la parcela testigo presentó ligeramente mayores niveles de escorrentía superficial, ya que la presencia de suelo desnudo, pisoteo del pajonal por los ganados y por ende compactación del suelo no favorece a la infiltración del agua y se generen escorrentías superficiales. La parcela clausurada presenta menores escorrentías, este hecho es atribuido a la recuperación de vegetación como consecuencia de la clausura, el cual favorece la

infiltración y disminuye la escorrentía superficial. Así mismo, era de esperarse las diferencias de escorrentía entre épocas (húmeda y seca), en ambas parcelas se presentaron valores de escorrentía superficial en los meses de la época húmeda (diciembre-abril).

En general, como mencionan Davenport et al. (1998) citado por García (2016). “El efecto de perturbaciones continuas altera el umbral abiótico, pues causan el deterioro de la infiltración, incremento de la escorrentía y la erosión del suelo”. La parcela testigo, que evidenció signos de degradación, presentó ligeramente mayor escorrentía en comparación con la parcela clausurada.

4.3.3. Estimación de la infiltración en las parcelas de pajonal altoandino

Los resultados de la infiltración son descritos líneas abajo, producto de las pruebas de ensayo desarrollados en el pajonal altoandino, en las parcelas estudiadas: Parcela clausurada (P-C) y parcela testigo (P-T).

4.3.3.1. Velocidad de infiltración instantánea (época húmeda).

Es la velocidad con la que el agua se filtra en el suelo. Varía en el tiempo, al inicio del ensayo la velocidad será más alta e irá disminuyendo hasta ser constante.

Tabla 16: Velocidad de infiltración instantánea (cm/h) en las parcelas

Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)	
		P-C (cm/h)	P-T (cm/h)
2	2	15.0	6.0
2	4	0.0	6.0
2	6	3.0	0.0
4	10	0.0	3.0
5	15	1.2	3.6
5	20	0.0	2.4
5	25	0.0	3.6
10	35	1.2	3.0
10	45	0.6	3.0
15	60	4.4	2.4

De acuerdo a los resultados de la Tabla 16, la velocidad de infiltración en la parcela clausurada (P-C) inicia con una velocidad

de infiltración alta en los dos primeros minutos de medición (15 cm/h), pero demora en bajar la lámina de agua hasta el final de la prueba (4.4 cm/h). Esto se debe a que el ensayo fue realizado en el mes de septiembre de 2016, cuando el suelo se encontraba saturada.

En la parcela testigo (P-T), inicia con una velocidad de infiltración de 6 cm/h, descendió a 2.4 cm/h al final de la prueba. En general mínima velocidad de infiltración se debe a que el ensayo fue realizado en septiembre de 2016, en pleno periodo de lluvias.

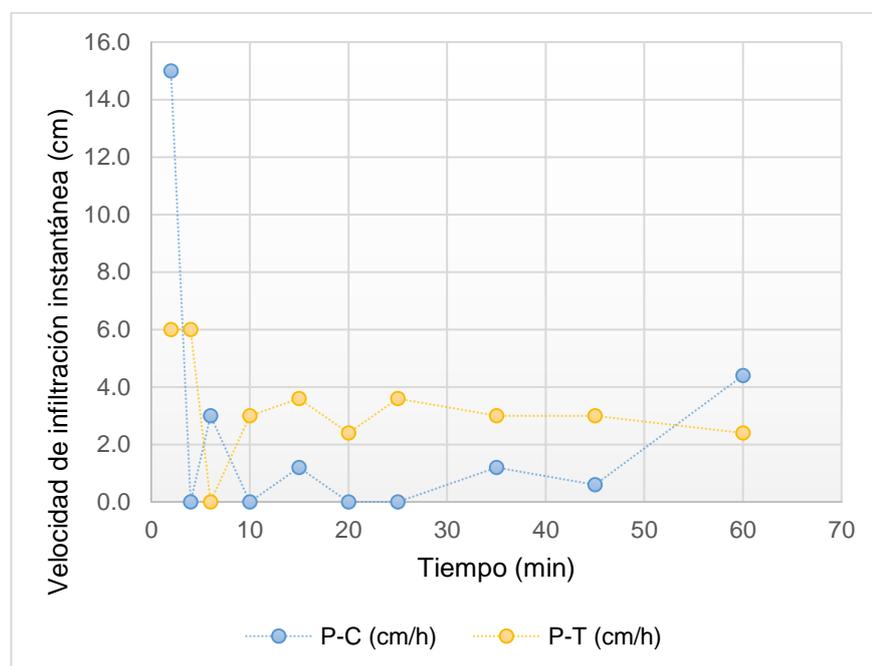


Figura 15: Velocidad de infiltración instantánea en las parcelas.

Hay diferencias de la velocidad de infiltración instantánea entre las parcelas. La velocidad de infiltración instantánea menor en la parcela clausurada puede ser atribuido a la vegetación presente y consumo de agua por estas en los primeros minutos y produce variaciones considerables de los resultados en el tiempo de ensayo de infiltración.

Según el reporte de suelo de INAIGEM (2016) el suelo del pajonal altoandino en ambas parcelas, presenta clase textural franco arenoso en los dos horizontes (A y AC) con altos y medios contenidos de materia orgánica, estructura con agregados de forma granular en el horizonte superficial A; clase textural arena franca en

el horizonte C con bajos a medios de contenido de materia orgánica y sin agregados. Razón por la cual, ambas parcelas presentan mayor velocidad de infiltración instantánea al inicio de la prueba, como indica Honorato (2000) citado por Alfaro (2015) los suelos granulares tienen una rápida infiltración. Y según Labrador Moreno (2002) citado por Lozano (2015) refiere que la materia orgánica mejora la infiltración. Sin embargo, las mínimas velocidades de infiltración en ambas parcelas, se debe al hecho que la prueba fue realizada en un mes lluvioso (septiembre, 2016) los poros del suelo se encontraban ocupado por agua.

Hillel (1982) citado por Alfaro (2015) refiere que la infiltrabilidad del suelo al inicio del proceso es alta y luego tiende a disminuir hasta alcanzar un valor constante. En la Figura 15, la curva de velocidad de infiltración de la parcela clausurada (P-C), muestra la tendencia de tener una mayor velocidad de infiltración al inicio y luego disminuye hasta alcanzar una constante de manera similar en la parcela testigo (P-T), con la diferencia de que inicia con una menor velocidad de infiltración.

4.3.3.2. Velocidad de infiltración acumulada (época húmeda).

Es la velocidad que nos va a permitir determinar la lámina de agua que se infiltra en el tiempo.

Tabla 17: Velocidad de infiltración acumulada (cm/h) en las parcelas

Tiempo parcial (min)	Tiempo Acumulado (min)	Velocidad de infiltración acumulada (cm/h)	
		P-C (cm/h)	P-T (cm/h)
2	2	15.0	6.0
2	4	7.5	6.0
2	6	6.0	4.0

Van: ///...

.../// Vienen:

4	10	3.6	3.6
5	15	2.8	3.6
5	20	2.1	3.3
5	25	1.7	3.4
10	35	1.5	3.3
10	45	1.3	3.2
15	60	2.1	3.0

Alfaro (2015) refiere que a medida que avanza el tiempo, la velocidad de infiltración disminuye debido a que el agua avanza a capas profundas del suelo, las partículas del suelo se van saturando generando mayor demanda de presión para el ingreso del agua. El suelo del pajonal altoandino de la parcela clausurada, presenta relativamente una menor velocidad de infiltración que el suelo de la parcela testigo, Sin embargo, inicia con una velocidad más alta que en la parcela testigo.

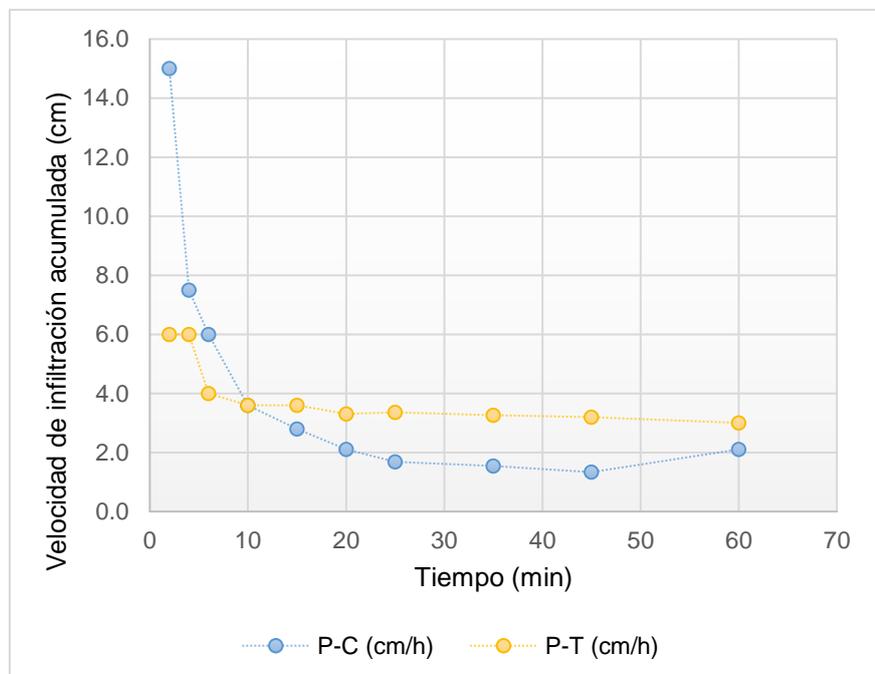


Figura 16: Velocidad de infiltración acumulada en las parcelas.

La Figura 16, muestra las curvas de la velocidad de infiltración acumulada, de las áreas evaluadas. La parcela clausurada (P-C) muestra la tendencia de tener una mayor velocidad de infiltración al inicio y luego con el paso del tiempo va disminuyendo hasta hacerse constante. Mientras la curva de la parcela Testigo (P-T) la velocidad inicial que presentan es menor, pero sigue el mismo comportamiento hasta finalizar la prueba. En general, mínimas velocidades de infiltración por el estado saturado del suelo después de precipitación registrada en ese mes.

No se observa cambio significativo entre las curvas de las parcelas, esto se debe a que las parcelas de investigación se encontraban saturadas después de precipitaciones registradas en el mes de evaluación.

4.3.3.3. Lámina acumulada de la infiltración (época húmeda).

En la Tabla 18 se muestra los valores de la lámina infiltrada acumulada en las parcelas evaluadas mediante la prueba de infiltración con el cilindro infiltrómetro. La lámina se acumula en el suelo y aumenta con el tiempo.

Tabla 18: Lámina acumulada infiltrada (cm) para las parcelas

Tiempo parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Lámina infiltrada acumulada (cm)	
		P-C (cm)	P-T (cm)
2	2	0.5	0.2
2	4	0.5	0.4
2	6	0.6	0.4
4	10	0.6	0.6
5	15	0.7	0.9
5	20	0.7	1.1
5	25	0.7	1.4
10	35	0.9	1.9
10	45	1.0	2.4
15	60	2.1	3.0

Las parcelas presentaron una lámina infiltrada acumulada mínima, ya que la prueba de infiltración fue realizada en época húmeda y por ende el suelo se encontraba saturado.

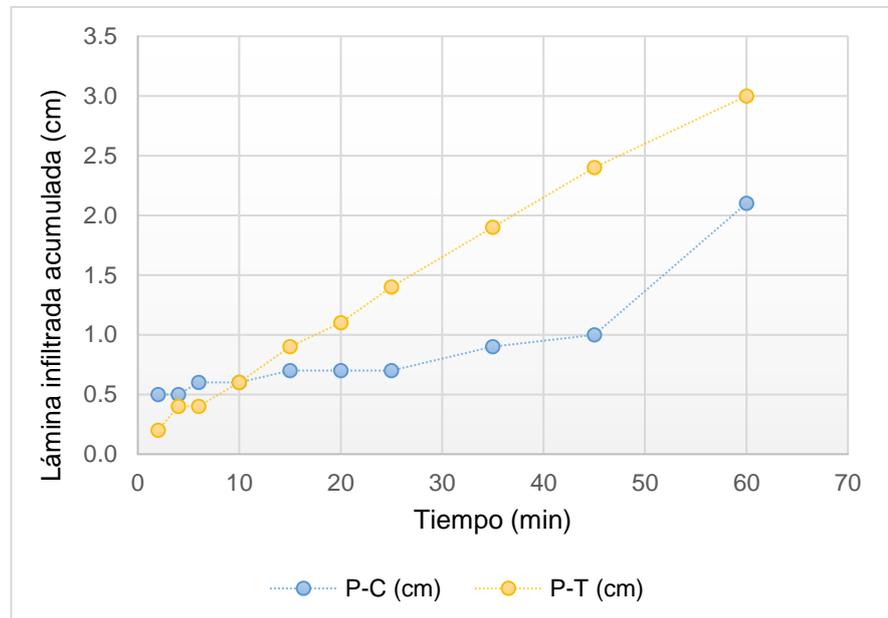


Figura 17: Lámina de infiltración acumulada en las parcelas.

En la Figura 17 se muestra el comportamiento de la lámina infiltrada acumulada para las parcelas evaluadas, en estas se observa que, al inicio del ensayo la parcela clausurada (P-C) tiene el valor más alto (0.5 cm) y la parcela testigo presenta el valor más bajo (0.2 cm). En general la lámina infiltrada es mínima en la parcela clausurada y parcela testigo. La lámina infiltrada y el tiempo tienen una relación directa; es decir, hay un aumento consecutivo de la lámina infiltrada.

4.3.3.4. Velocidad de infiltración instantánea (época seca).

Es la velocidad con la que el agua se infiltra en el suelo. Varía en el tiempo. Al inicio del ensayo, la velocidad será más alta e irá disminuyendo, hasta ser constante.

Tabla 19: Velocidad de infiltración instantánea (cm/h) para las parcelas

Tiempo Parcial (min)	Tiempo Acumulado (min)	Velocidad de infiltración instantánea (cm/h)	
		P-C (cm/h)	P-T (cm/h)
1	1	204.0	90.0
2	2	90.0	66.0
3	3	96.0	72.0
4	4	66.0	60.0
5	5	54.0	60.0
6	6	42.0	30.0
7	7	42.0	18.0
8	8	24.0	24.0
9	9	36.0	24.0
10	10	36.0	36.0
12	12	18.0	33.0
15	15	18.0	26.0
20	20	13.2	4.8

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 19, la velocidad de infiltración en la parcela clausurada (P-C) inicia con una velocidad de infiltración alta en los dos primeros minutos de medición (204 cm/h), baja muy rápido en el segundo minuto de la prueba (90 cm/h). Este cambio tan brusco pudo estar influenciado por la vegetación que se encuentra en el suelo lo cual consume el agua, hasta el final de la prueba (13.2 cm/h). En general alta velocidad de infiltración instantánea esto se debe a que el ensayo fue realizado en el mes de junio de 2017, cuando el suelo se encontraba con poros ocupados por aire después de un período de época seca.

En la parcela testigo (P-T), de igual manera se presenta un cambio brusco de la velocidad de infiltración instantánea (90 cm/h a 66 cm/h).

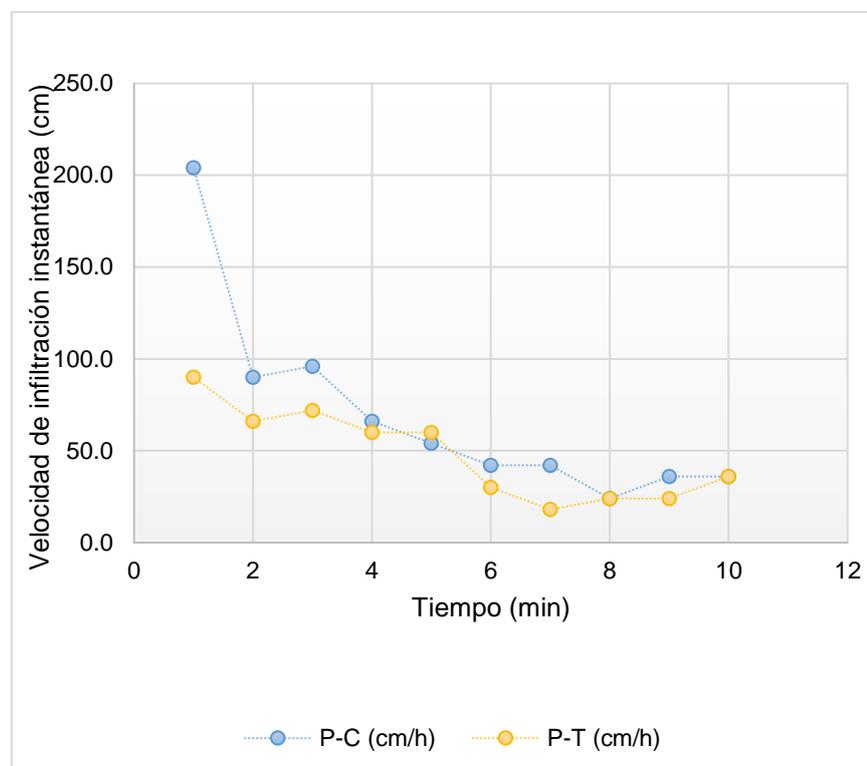


Figura 18: Velocidad de infiltración instantánea en las parcelas.

Existe una mínima diferencia de las velocidades de infiltración instantánea entre las parcelas. Esto puede ser atribuido a la presencia de poros de aire en el suelo de ambas parcelas de pajonal altoandino. La alta velocidad instantánea al inicio de la prueba se debe a la presencia de vegetación la cual consume agua rápidamente y produce variaciones considerables de los resultados en el tiempo de ensayo de infiltración.

Según el reporte de suelo de INAIGEM (2016) el suelo del pajonal altoandino en ambas parcelas, presenta clase textural franco arenoso en los dos horizontes (A y AC) con altos y medios contenidos de materia orgánica, estructura con agregados de forma granular en el horizonte superficial A; clase textural arena franca en el horizonte C con bajos a medios de contenido de materia orgánica y sin agregados. Razón por la cual, ambas parcelas presentan mayor velocidad de infiltración instantánea al inicio de la prueba,

como indica Honorato (2000) citado por Alfaro (2015) los suelos granulares tienen una rápida infiltración. Y según Labrador Moreno (2002) citado por Lozano (2015) refiere que la materia orgánica mejora la infiltración; entonces se puede afirmar que las altas velocidades de infiltración se deben al alto contenido de materia orgánica en el horizonte superficial A. Sin embargo, las altas velocidades de infiltración en ambas parcelas, también se debe al hecho que la prueba fue realizada en un mes de época seca (junio, 2017) los poros del suelo se encontraban ocupados por aire y prestos a ocuparlas con agua.

Según Hillel (1982) citado por Alfaro (2015) la infiltrabilidad del suelo al inicio del proceso es alta y luego tiende a disminuir hasta alcanzar un valor constante. En la Figura 18, la curva de velocidad de infiltración de la parcela clausurada (P-C) muestra la tendencia a tener una mayor velocidad de infiltración al inicio y después de minutos presentan una disminución brusca. El comportamiento de la parcela testigo es similar con la diferencia que inicia con menor velocidad de infiltración. En general, la velocidad de infiltración instantánea presenta un cambio brusco en los primeros minutos, esto debido a la presencia de vegetación en el suelo; este proceso se presenta con mayor frecuencia en la parcela clausurada.

4.3.3.5. Velocidad de infiltración acumulada (época seca)

Es la velocidad que permite determinar la lámina de agua que se infiltra en el tiempo.

Tabla 20: Velocidad de infiltración acumulada (cm/h) para las parcelas

Tiempo Parcial (min)	Tiempo Acumulado (min)	Velocidad de infiltración acumulada (cm/h)	
		P-C (cm/h)	P-T (cm/h)
1	1	204.0	90.0
2	2	147.0	78.0
3	3	130.0	76.0
4	4	114.0	72.0

Van://...

...//Vienen:

5	5	102.0	69.6
6	6	92.0	63.0
7	7	84.9	56.6
8	8	77.3	52.5
9	9	72.7	49.3
10	10	69.0	48.0
12	12	60.5	45.5
15	15	52.0	41.6
20	20	42.3	32.4

Refiere Alfaro (2015) que conforme avanza el tiempo, la velocidad de infiltración disminuye considerablemente, debido a que el agua avanza a capas profundas del suelo, los cuales generan mayor demanda de presión para el ingreso del agua, ya que las partículas del suelo se van saturando. Esto se debe a que el ensayo fue realizado en el mes de junio de 2017, cuando el suelo se encontraba con poros de aire después de una época seca.

El suelo de la parcela clausurada, presenta una mayor velocidad de infiltración frente al suelo de la parcela testigo, ya que, por la clausura, la vegetación abundante tiene una influencia en los primeros minutos del proceso de infiltración.

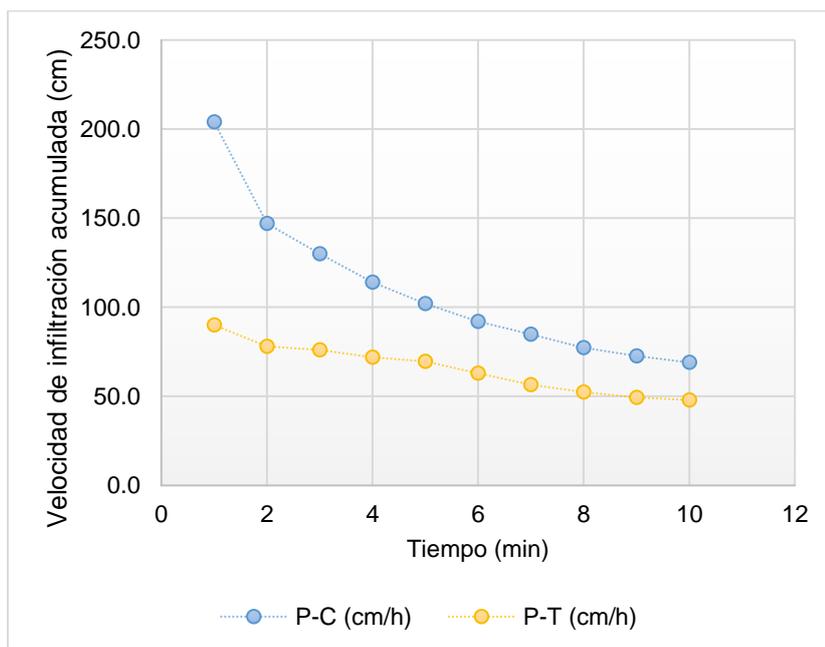


Figura 19: Velocidad de infiltración acumulada en las parcelas.

La Figura 19, muestra las curvas de la velocidad de infiltración acumulada, de las áreas evaluadas. La parcela clausurada (P-C) muestra la tendencia de tener una mayor velocidad de infiltración al inicio y luego con el paso del tiempo va disminuyendo hasta hacerse constante. Mientras la curva de la parcela Testigo (P-T) la velocidad inicial que presentan es menor, pero siguen el mismo comportamiento hasta finalizar la prueba. En general alta velocidad de infiltración en ambas parcelas por la presencia de poros de aire característico de suelos en época seca.

Se observa cambio significativo entre las curvas, la P-C, presenta la mayor velocidad de infiltración acumulada inicial, esto puede estar influenciado por la vegetación que se encuentra en el suelo.

4.3.3.6. Lámina acumulada de la infiltración (época seca).

En la Tabla 21 muestra los valores de la lámina infiltrada acumulada en las áreas evaluadas mediante la prueba de infiltración con el cilindro infiltrómetro. La lámina se acumula en el suelo y aumenta con el tiempo.

Tabla 21: Lámina acumulada infiltrada (cm) para las parcelas

Tiempo Parcial (min)	Tiempo acumulado (min)	Lámina infiltrada acumulada (cm)	
		P-C (cm)	P-T (cm)
1	1	3.4	1.5
2	2	4.9	2.6
3	3	6.5	3.8
4	4	7.6	4.8
5	5	8.5	5.8
6	6	9.2	6.3
7	7	9.9	6.6
8	8	10.3	7.0

Van://...

...//Vienen:

9	9	10.9	7.4
10	10	11.5	8.0
12	12	12.1	9.1
15	15	13.0	10.4
20	20	14.1	10.8

Las parcelas presentaron una lámina infiltrada acumulada elevada, ya que la prueba de infiltración fue realizada en época seca y por ende en suelo no saturado de agua.

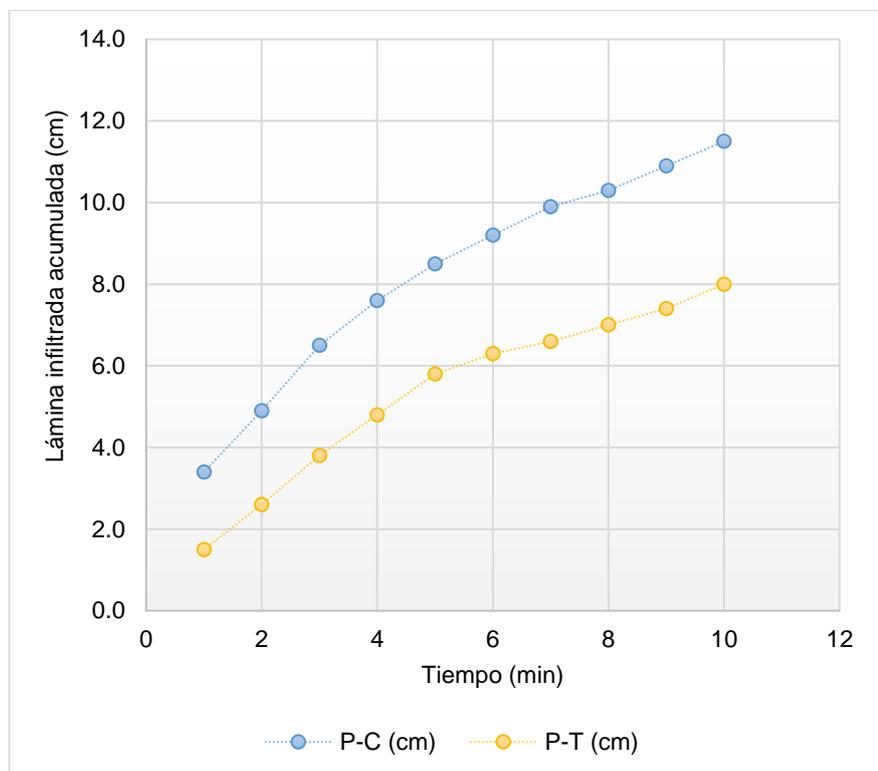


Figura 20: Lámina de infiltración acumulada en las parcelas.

En la Figura 20 muestra el comportamiento de la lámina infiltrada acumulada para las áreas evaluadas, en estas se observa que, al inicio del ensayo, la P-C tiene el valor más alto de lámina infiltrada (3.4) y la P-T presenta el valor más bajo (1.5 cm). En general la lámina infiltrada es elevada en las parcelas de investigación (clausurada y testigo). La lámina infiltrada y el tiempo

tienen una relación directa; es decir, hay un aumento consecutivo de la lámina infiltrada.

4.3.3.7. Lámina infiltrada en las parcelas de investigación

La lámina de infiltración acumulada en las parcelas de investigación se muestran líneas abajo. Para lo cual se promedió el dato de lámina infiltrada obtenida en ambos ensayos y convertidas a milímetros de agua y asumidas para los meses de época húmeda.

Tabla 22: Láminas de infiltración en las parcelas de investigación

Meses	Infiltración en las parcelas de investigación	
	P-C (mm)	P-T (mm)
Septiembre	81	69
Octubre	81	69
Noviembre	81	69
Diciembre	81	69
Enero	81	69
Febrero	81	69
Marzo	81	69
Abril	81	69
Mayo	0	0
Junio	0	0
Julio	0	0
Agosto	0	0

Según la Tabla 22, en los meses de época húmeda se presentan mayores niveles de lámina infiltrada en la parcela clausurada frente a la lámina infiltrada en la parcela testigo, esto se debe a la presencia de vegetación la cual interviene en la infiltración. Así mismo de acuerdo a la clase textural del suelo, el cual es franco arenoso, favorece a la infiltración en ambas parcelas sin embargo el estado de salud (parcialmente compactado) por el

pastoreo en la parcela testigo disminuye la capacidad de infiltración en esta.

Como menciona Davenport et al. (1998) citado por García (2016). “El efecto de perturbaciones continuas altera el umbral abiótico, pues causan el deterioro de la infiltración, incremento de la escorrentía y la erosión del suelo”. La parcela testigo, que evidenció signos de degradación, presentó ligeramente menor lámina de infiltración en comparación con la parcela clausurada.

Como indican Rivera et al. (2014). “La mejora de la condición del pasto natural tiene una relación directa con el incremento de la infiltración”. Hecho que explica la mayor lámina de infiltración en la parcela clausurada.

4.4. Cálculo del almacenamiento de agua mensual en las parcelas de pajonal altoandino

Los resultados de almacenamiento de agua en las parcelas de investigación se muestran a continuación. El almacenamiento de agua en los meses de septiembre 2016 a abril del 2017, fueron determinados a partir del modelo del balance de suelo, los almacenamientos de agua en los meses de época seca, fueron determinados teóricamente a partir de la capacidad de campo de una parcela similar.

Tabla 23: Balance hídrico del suelo en la parcela clausurada (P-C) y parcela testigo (P-T).

Balance hídrico de suelo	Año	2016					2017							Total
	Meses	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	
1	P (mm)	66.22	69.80	113.96	222.21	189.41	115.30	228.90	71.24	0.00	0.00	0.00	0.00	1077.06
2	P-C ETc (mm)	2.46	2.55	2.74	2.48	2.39	2.32	2.54	2.14	1.91	1.71	1.74	1.98	26.96
3	P-T ETc (mm)	1.85	1.91	2.05	1.86	1.79	1.74	1.91	1.60	1.43	1.28	1.31	1.49	20.22
4	P-C ES (mm)	0.00	0.00	0.00	47.86	79.38	31.51	51.18	51.18	0.00	0.00	0.00	0.00	261.11
5	P-T ES (mm)	0.00	0.00	0.00	48.18	79.99	31.81	51.50	51.50	0.00	0.00	0.00	0.00	262.97
6	P-C I (mm)	81	81	81	81	81	81	81	81	0	0	0	0	648
7	P-T I (mm)	69	69	69	69	68	69	69	69	0	0	0	0	551
8	P-C A (mm)	144.76	148.25	192.22	252.86	188.65	162.48	256.18	98.93	104.10	102.39	100.65	98.67	1850.11
9	P-T A (mm)	133.38	136.89	180.91	241.18	175.64	150.76	244.50	87.14	104.57	103.29	101.98	100.50	1760.72

Abreviaturas:

P (mm): Precipitación mensual TRMM 3B43 V7.

P-C ETc (mm): Evapotranspiración de cultivo en la parcela clausurada.

P-T ETc (mm): Evapotranspiración de cultivo en la parcela testigo.

P-C ES (mm): Escorrentía en la parcela clausurada.

P-T ES (mm): Escorrentía en la parcela testigo.

P-C I (mm): Lámina infiltrada en la parcela clausurada.

P-T I (mm): Lámina infiltrada en la parcela testigo.

P-C A (mm): Almacenamiento de agua en la parcela clausurada.

P-T A (mm): Almacenamiento de agua en la parcela testigo.

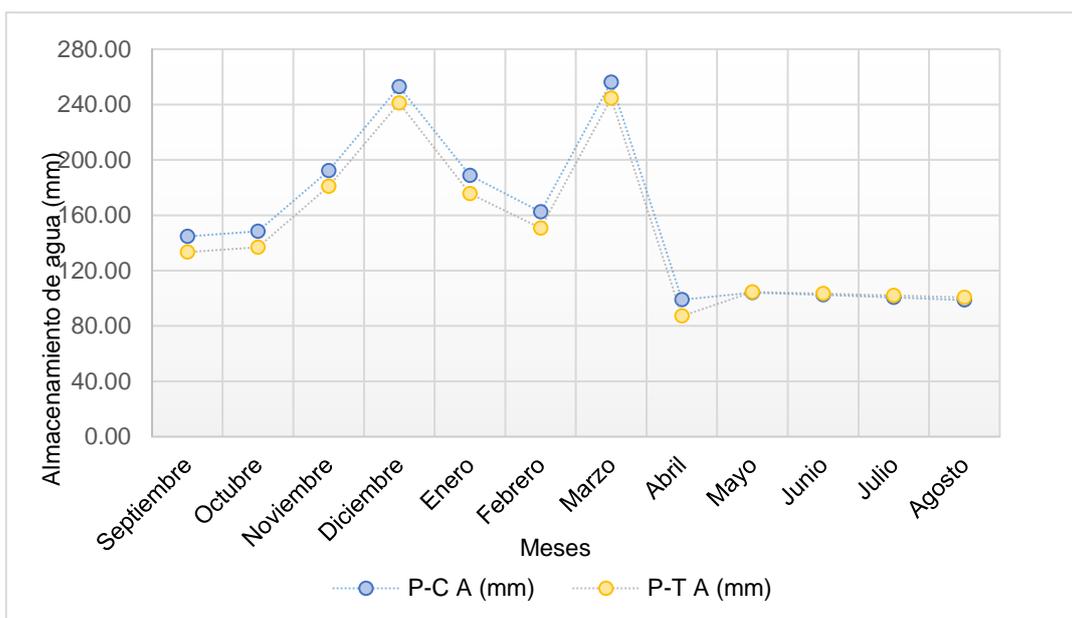


Figura 21: Variación del almacenamiento de agua mensual, 2016-2017

En la Figura 21, se observa los niveles de almacenamiento de agua determinados para el año de evaluación (septiembre del 2016 - agosto del 2017) en la parcela clausurada y parcela testigo.

El almacenamiento de agua en la parcela clausurada oscila entre 98.67 mm y 256.18 mm, el valor mínimo de almacenamiento en la época húmeda se presenta en el mes de abril debido al ingreso a la época seca y por ende disminución de precipitaciones y el valor máximo se presentó en el mes de marzo; esto debido a la presencia máxima de precipitación en ese mes, a partir del mes de mayo a agosto de 2017 el almacenamiento de agua en el suelo se hace constante y depende de la capacidad de campo del suelo. En la parcela testigo el almacenamiento de agua oscila entre 87.14 mm y 244.50 mm. Siendo el mes de abril el que presentó el valor mínimo de almacenamiento de agua y el mes de marzo el valor máximo, en la época seca (mayo-agosto) el almacenamiento de agua depende de la capacidad de campo y disminuye a causa de la evapotranspiración de cultivo.

En general en la parcela clausurada hubo mayor almacenamiento de agua en el suelo (1850.11 mm) en comparación con la parcela testigo (1760.72 mm), esto se debe a la presencia de vegetación recuperada por el efecto clausura lo que favorece al almacenamiento en el ecosistema. Como menciona Azaña (2017), la biomasa forrajera verde en la parcela clausurada fue mayor (2075.88 kg/Ha época húmeda) en comparación con la parcela testigo (973.34 kg/Ha época húmeda) y en

la época seca resultó 1728.10 kg/Ha y 294.99 kg/Ha respectivamente. Es decir, la parcela clausurada influenciado por la recuperación de la vegetación presenta mayor capacidad de absorber el agua disponible en el exterior, disminuyendo así la escorrentía superficial.

Así mismo, según el reporte de suelos del INAIGEM (2016), en ambas parcelas las características del horizonte superficial A, presentan profundidad de 35 cm a 60 cm; clase textural franco arenoso; estructura granular y materia orgánica alta, características del suelo que favorecen el almacenamiento de agua en el ecosistema pajonal.

Además, McIntyre y Marshal, 2010, mencionan que el pastoreo, la degradación de suelo y compactación conducen a un menor almacenamiento de agua en el suelo. La parcela testigo presenta menor biomasa y presencia de suelo desnudo y por ende menor almacenamiento de agua en el suelo.

4.5. Análisis del nivel de agua edáfica diario del bofedal con respecto a la precipitación en las parcelas de investigación

El nivel de agua edáfica en el bofedal se obtuvo mediante el registro de los niveles de agua edáfica con los piezómetros. A continuación, se muestra los datos de precipitación y nivel de agua edáfica en la parcela clausurada (P-C) y parcela testigo (P-T).

Tabla 24: Agua edáfica (mm) y precipitación en el año de evaluación, 2016-2017.

Fecha	Precipitación (mm)	Nivel de agua (mm), P-C	Nivel de agua (mm), P-T
10/09/2016	-	1.77	6.39
11/09/2016	-	1.47	6.27
12/09/2016	-	1.23	6.15
13/09/2016	-	1.61	6.91
14/09/2016	-	1.20	6.42
15/09/2016	-	1.32	6.53
16/09/2016	-	1.99	7.53
17/09/2016	-	1.59	7.13
18/09/2016	-	1.24	6.91
19/09/2016	-	1.17	6.76

Van:///...

...//Vienen:

20/09/2016	-	0.98	6.33
21/09/2016	-	1.41	6.95
22/09/2016	-	1.66	7.45
23/09/2016	-	1.80	7.56
24/09/2016	-	1.44	7.00
25/09/2016	-	1.23	9.49
26/09/2016	-	1.66	43.02
27/09/2016	-	2.56	52.38
28/09/2016	6.35	2.35	55.00
29/09/2016	3.30	2.00	21.17
30/09/2016	1.78	1.72	5.94

Septiembre*	11.43	33.38	289.27
-------------	-------	-------	--------

1/10/2016	1.27	1.66	7.30
2/10/2016	15.24	1.59	16.02
3/10/2016	5.08	1.91	145.46
4/10/2016	11.68	1.52	162.42
5/10/2016	3.30	1.13	78.00
6/10/2016	8.38	1.08	57.58
7/10/2016	6.10	1.12	86.44
8/10/2016	-	1.33	63.55
9/10/2016	-	1.22	20.65
10/10/2016	-	1.28	6.73
11/10/2016	-	0.92	6.18
12/10/2016	-	0.98	6.29

Van:////...

...//Vienen:

13/10/2016	-	1.16	6.37
14/10/2016	-	1.15	6.40
15/10/2016	-	1.42	33.71
16/10/2016	-	2.15	426.10
17/10/2016	-	2.25	1117.22
18/10/2016	-	2.25	1206.67
19/10/2016	-	1.97	966.39
20/10/2016	-	1.98	631.95
21/10/2016	-	1.93	352.39
22/10/2016	-	1.73	205.93
23/10/2016	-	1.34	137.10
24/10/2016	-	1.11	95.44
25/10/2016	-	0.98	63.00
26/10/2016	-	1.00	33.98
27/10/2016	-	1.03	8.90
28/10/2016	-	0.86	5.64
29/10/2016	-	0.84	5.67
30/10/2016	-	0.99	5.72
31/10/2016	-	0.99	5.62
Octubre*	51.05	42.85	5970.82
1/11/2016	-	1.12	5.81
2/11/2016	-	0.99	5.70
3/11/2016	-	0.98	5.53
4/11/2016	-	1.32	6.07

Van://...

...//Vienen:

5/11/2016	-	1.54	6.25
6/11/2016	-	1.28	5.82
7/11/2016	-	1.35	5.92
8/11/2016	-	1.39	5.86
9/11/2016	-	0.99	5.37
10/11/2016	-	0.91	5.35
11/11/2016	-	0.86	5.07
12/11/2016	-	0.79	5.08
13/11/2016	-	0.71	5.02
14/11/2016	-	0.61	4.82
15/11/2016	-	0.61	4.91
16/11/2016	-	0.55	4.72
17/11/2016	-	0.77	5.43
18/11/2016	-	0.79	5.21
19/11/2016	-	0.80	5.00
20/11/2016	-	0.69	4.87
21/11/2016	-	1.00	5.21
22/11/2016	-	0.88	5.04
23/11/2016	-	0.90	5.09
24/11/2016	0.00	0.79	4.92
25/11/2016	0.00	0.74	4.84
26/11/2016	0.00	0.73	4.85
27/11/2016	0.00	0.73	4.63
28/11/2016	0.00	0.63	4.73

Van:///...

...//Vienen:

29/11/2016	0.51	0.55	5.46
30/11/2016	1.02	0.68	17.01
1/12/2016	0.00	0.72	23.79
2/12/2016	8.38	1.09	24.17
3/12/2016	18.03	2.23	42.19
<hr/>			
Noviembre*	27.94	30.75	259.74
<hr/>			
4/12/2016	-	1.25	195.50
5/12/2016	-	1.36	326.67
6/12/2016	-	1.75	290.71
7/12/2016	-	1.77	209.20
8/12/2016	-	2.26	165.12
9/12/2016	-	2.92	324.99
10/12/2016	-	2.72	620.01
11/12/2016	-	2.84	729.52
12/12/2016	-	2.79	747.50
13/12/2016	-	2.52	600.15
14/12/2016	-	2.00	409.28
15/12/2016	0.00	1.52	298.91
16/12/2016	0.00	1.23	238.02
17/12/2016	0.00	1.11	199.55
18/12/2016	0.00	0.86	162.43
19/12/2016	18.03	0.77	134.04
20/12/2016	3.56	0.76	127.28
21/12/2016	18.80	0.99	240.96

Van://...

...//Vienen:

22/12/2016	3.05	0.99	359.80
23/12/2016	6.10	1.41	562.69
24/12/2016	5.08	1.43	566.30
25/12/2016	-	1.39	469.84
26/12/2016	-	1.23	413.29
27/12/2016	-	1.13	338.99
28/12/2016	-	1.20	289.52
29/12/2016	-	1.27	252.57
30/12/2016	-	1.30	238.29
31/12/2016	-	1.34	308.74
<hr/>			
Diciembre*	54.61	44.11	9819.88
<hr/>			
1/01/2017	-	1.55	480.83
2/01/2017	-	1.42	693.95
3/01/2017	-	1.38	813.96
4/01/2017	-	1.62	844.83
5/01/2017	-	1.53	687.19
6/01/2017	-	1.53	538.25
7/01/2017	-	1.37	445.82
8/01/2017	-	1.11	414.81
9/01/2017	-	1.33	476.53
10/01/2017	-	1.56	488.36
11/01/2017	-	1.60	535.24
12/01/2017	-	1.87	630.00
13/01/2017	4.06	1.78	727.09

Van:////...

...//Vienen:

14/01/2017	27.94	1.68	794.93
15/01/2017	14.73	2.06	962.70
16/01/2017	18.80	2.45	1070.72
17/01/2017	0.76	2.55	1071.02
18/01/2017	0.00	2.15	963.97
19/01/2017	7.62	1.41	867.61
20/01/2017	0.25	1.38	723.26
21/01/2017	0.00	1.03	571.17
22/01/2017	7.11	0.72	447.07
23/01/2017	23.11	0.81	363.93
24/01/2017	2.54	1.11	388.34
25/01/2017	-	1.44	505.23
26/01/2017	-	1.38	496.67
27/01/2017	-	1.10	441.86
28/01/2017	-	1.11	380.72
29/01/2017	-	0.66	323.64
30/01/2017	-	0.47	274.78
31/01/2017	-	0.41	233.50
Enero*	106.93	43.58	18657.98
1/02/2017	-	0.40	198.38
2/02/2017	-	0.36	166.47
3/02/2017	-	0.50	136.51
4/02/2017	-	0.53	111.88
5/02/2017	-	0.67	93.67

Van:////...

...//Vienen:

6/02/2017	-	0.55	75.17
7/02/2017	-	0.56	59.59
8/02/2017	-	0.83	52.61
9/02/2017	-	0.88	51.25
10/02/2017	0.25	0.85	54.74
11/02/2017	0.00	0.74	58.41
12/02/2017	0.00	1.09	61.05
13/02/2017	0.00	0.87	60.39
14/02/2017	0.00	1.02	56.67
15/02/2017	0.00	1.79	80.21
16/02/2017	0.00	1.99	149.02
17/02/2017	0.00	1.77	167.06
18/02/2017	0.00	2.07	191.61
19/02/2017	0.00	2.20	238.14
20/02/2017	0.00	2.33	327.27
21/02/2017	0.00	2.71	572.51
22/02/2017	-	2.31	605.23
23/02/2017	-	2.10	620.64
24/02/2017	-	2.03	648.94
25/02/2017	-	4.12	638.84
26/02/2017	-	5.38	694.51
27/02/2017	-	2.65	907.18
28/02/2017	-	1.97	1123.99

Van://...

...//Vienen:

Febrero*	0.25	45.24	8201.96
1/03/2017	-	1.85	1045.28
2/03/2017	-	1.39	883.70
3/03/2017	-	0.93	738.52
4/03/2017	-	0.71	632.36
5/03/2017	-	0.53	558.35
6/03/2017	-	0.47	499.79
7/03/2017	-	0.70	461.87
8/03/2017	-	0.57	475.24
9/03/2017	-	0.62	588.95
10/03/2017	8.64	0.80	631.65
11/03/2017	9.40	0.81	704.35
12/03/2017	1.52	0.71	741.83
13/03/2017	12.70	0.64	712.88
14/03/2017	9.40	0.53	675.74
15/03/2017	13.21	0.46	678.87
16/03/2017	15.24	0.55	762.49
17/03/2017	2.03	0.63	854.05
18/03/2017	24.89	1.35	839.26
19/03/2017	4.32	1.80	886.05
20/03/2017	0.00	0.90	905.89
21/03/2017	-	0.62	814.37
22/03/2017	-	0.43	694.72
23/03/2017	-	0.52	601.70

Van:////...

...//Vienen:

24/03/2017	-	0.51	565.33
25/03/2017	-	0.70	647.01
26/03/2017	-	0.79	717.60
27/03/2017	-	0.76	828.19
28/03/2017	-	0.73	900.06
29/03/2017	-	0.43	802.41
30/03/2017	-	0.54	685.27
31/03/2017	-	2.90	701.77
Marzo*	101.35	25.85	22235.55
1/04/2017	-	0.23	756.36
2/04/2017	-	0.87	731.50
3/04/2017	-	1.41	667.12
4/04/2017	-	2.02	610.58
5/04/2017	-	2.98	574.65
6/04/2017	-	2.43	544.51
7/04/2017	-	0.68	505.23
8/04/2017	-	0.51	458.37
9/04/2017	-	0.61	407.54
10/04/2017	4.32	0.57	360.19
11/04/2017	6.35	0.43	320.56
12/04/2017	1.52	0.44	295.05
13/04/2017	0.25	0.47	275.99
14/04/2017	1.02	0.35	255.98
15/04/2017	0.00	0.39	231.88

Van://...

...//Vienen:

16/04/2017	0.00	0.32	204.63
17/04/2017	0.51	0.25	176.30
18/04/2017	6.86	0.29	150.58
19/04/2017	13.97	0.29	128.23
20/04/2017	12.95	0.48	112.11
21/04/2017	0.00	0.48	104.94
22/04/2017	-	0.69	101.12
23/04/2017	-	0.69	95.50
24/04/2017	-	0.68	87.75
25/04/2017	-	0.72	77.42
26/04/2017	-	0.78	64.43
27/04/2017	-	0.62	52.56
28/04/2017	-	0.65	43.32
29/04/2017	-	0.83	43.75
30/04/2017	-	1.07	97.96
Abril*	47.75	23.22	8536.11
1/05/2017	-	0.85	127.46
2/05/2017	-	0.85	122.69
3/05/2017	-	0.91	112.71
4/05/2017	-	0.79	96.27
5/05/2017	-	0.72	76.18
6/05/2017	-	0.69	54.73
7/05/2017	-	0.53	36.23
8/05/2017	-	0.67	22.70

Van:///...

...//Vienen:

9/05/2017	-	0.73	10.84
10/05/2017	-	0.38	2.28
11/05/2017	-	0.41	2.78
12/05/2017	-	0.61	9.11
13/05/2017	-	0.51	6.15
14/05/2017	-	0.50	0.83
15/05/2017	-	0.41	0.00
16/05/2017	-	0.58	0.00
17/05/2017	-	2.86	8.01
18/05/2017	-	8.21	97.96
19/05/2017	-	4.40	233.37
20/05/2017	-	4.09	364.73
21/05/2017	-	2.40	546.03
22/05/2017	-	2.45	662.79
23/05/2017	-	2.08	613.74
24/05/2017	-	1.46	529.54
25/05/2017	-	1.22	437.58
26/05/2017	-	1.29	354.18
27/05/2017	-	1.26	285.49
28/05/2017	-	1.19	233.10
29/05/2017	-	1.00	188.88
30/05/2017	-	1.13	148.73
31/05/2017	-	1.02	111.77

Van://...

...//Vienen:

Mayo*	-	46.20	5496.83
1/06/2017	-	1.04	81.17
2/06/2017	-	0.97	55.01
3/06/2017	-	0.96	31.92
4/06/2017	-	0.75	10.29
5/06/2017	-	0.71	0.01
6/06/2017	-	0.73	2.53
7/06/2017	-	0.96	5.49
8/06/2017	-	0.69	5.12
9/06/2017	-	0.78	5.19
10/06/2017	-	0.73	5.16
11/06/2017	-	0.70	4.91
12/06/2017	-	0.69	4.83
13/06/2017	-	0.93	5.40
14/06/2017	-	0.96	5.46
15/06/2017	-	0.92	5.19
16/06/2017	-	0.83	4.95
17/06/2017	-	1.07	5.39
18/06/2017	-	1.05	5.23
19/06/2017	-	1.23	5.75
20/06/2017	-	1.33	5.78
21/06/2017	-	1.29	5.59
22/06/2017	-	1.14	5.44
23/06/2017	-	0.98	5.57

Van://...

...//Vienen:

24/06/2017	-	1.08	5.61
25/06/2017	-	1.30	5.78
26/06/2017	-	1.21	5.45
27/06/2017	-	1.35	5.79
28/06/2017	-	1.65	6.27
29/06/2017	-	1.42	5.91
30/06/2017	-	1.26	5.48
<hr/>			
Junio*	-	30.71	311.64
<hr/>			
1/07/2017	-	1.32	5.73
2/07/2017	-	1.31	5.82
3/07/2017	-	1.25	5.38
4/07/2017	-	1.37	5.74
5/07/2017	-	1.43	5.85
6/07/2017	-	1.42	5.77
7/07/2017	-	1.42	5.75
8/07/2017	-	1.38	5.64
9/07/2017	-	1.40	5.56
10/07/2017	-	1.31	5.68
11/07/2017	-	1.42	5.81
12/07/2017	-	1.31	5.59
13/07/2017	-	1.31	5.85
14/07/2017	-	1.15	5.55
15/07/2017	-	1.11	5.09
16/07/2017	-	1.30	5.79

Van://...

...//Vienen:

17/07/2017	-	1.34	5.58
18/07/2017	-	1.35	5.84
19/07/2017	-	1.19	5.28
20/07/2017	-	1.14	5.42
21/07/2017	-	1.14	5.15
22/07/2017	-	1.38	5.76
23/07/2017	-	1.37	5.41
24/07/2017	-	1.38	5.66
25/07/2017	-	1.19	5.40
26/07/2017	-	1.31	5.30
27/07/2017	-	1.09	5.40
28/07/2017	-	1.06	5.38
29/07/2017	-	1.09	5.47
30/07/2017	-	0.90	5.07
31/07/2017	-	0.97	5.00
Julio*	-	39.11	171.72
1/08/2017	-	0.74	4.91
2/08/2017	-	0.75	4.84
3/08/2017	-	0.68	4.77
4/08/2017	-	0.70	4.95
5/08/2017	-	0.67	4.59
6/08/2017	-	0.80	4.70
7/08/2017	-	0.76	4.70
8/08/2017	-	0.86	5.17

Van://...

...//Vienen:

9/08/2017	-	0.89	4.95
10/08/2017	-	0.74	4.78
11/08/2017	-	0.69	4.65
12/08/2017	-	0.78	4.81
13/08/2017	-	0.74	4.75
14/08/2017	-	0.73	4.84
15/08/2017	-	0.59	4.58
16/08/2017	-	0.39	4.44
17/08/2017	-	0.57	4.40
18/08/2017	-	0.53	4.86
19/08/2017	-	0.49	4.29
20/08/2017	-	0.48	4.39
21/08/2017	-	0.39	4.27
22/08/2017	-	0.13	3.68
23/08/2017	-	0.24	3.36
24/08/2017	-	0.13	3.59
25/08/2017	-	0.07	3.52
26/08/2017	-	0.06	3.51
27/08/2017	-	0.06	3.33
28/08/2017	-	0.15	3.39
29/08/2017	-	0.08	3.74
30/08/2017	-	0.08	3.35
31/08/2017	-	0.04	3.26

Van://...

...//Vienen:

Agosto*	-	15.02	133.36
1/09/2017	-	0.10	3.49
2/09/2017	-	0.08	3.48
3/09/2017	-	0.12	3.40
4/09/2017	-	0.09	3.03
5/09/2017	-	0.06	3.39
6/09/2017	-	0.03	3.17
7/09/2017	-	0.06	3.13
8/09/2017	-	0.13	3.32
9/09/2017	-	0.03	3.25
10/09/2017	-	0.10	3.31
11/09/2017	-	0.20	3.49
12/09/2017	-	0.22	3.60
13/09/2017	-	0.25	3.95

*Total

4.5.1. Análisis del nivel de agua edáfica y la precipitación en la parcela clausurada (P-C).

En la Figura 22, se muestra la variación del agua edáfica y precipitación en un año de evaluación (septiembre 2016 - agosto del 2017) en la parcela clausurada (P-C).

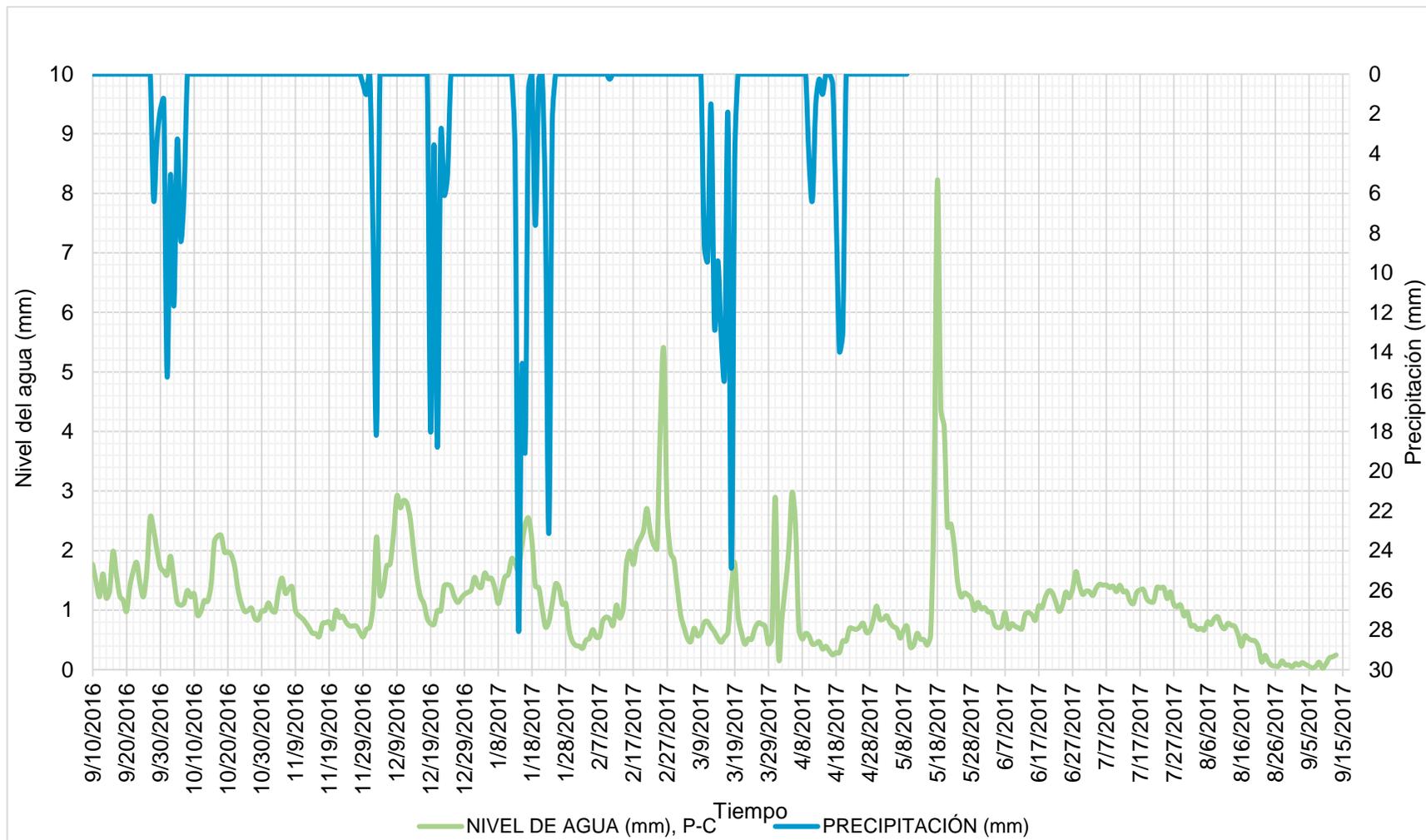


Figura 22: Variación del nivel de agua edáfica y precipitación en la parcela clausurada (P-C), 2016-2017

La Figura 22, representa la variación del nivel de agua edáfica con respecto a la precipitación en la parcela clausurada (P-C) durante un año. En febrero observamos el pico más alto registrado de nivel del agua en la época húmeda con un valor de 5.38 mm, debido a que días antes se registraron precipitaciones altas. A partir de ello el nivel de agua disminuye para luego incrementarse los primeros días de abril con un pico de 2.98 mm a partir de esa fecha hasta los primeros días de mayo el nivel de agua edáfica disminuye para luego tender a incrementarse hasta alcanzar el nivel más alto el 18 de mayo con 8.21 mm. En la época seca los valores de nivel de agua oscilan entre 0.04 mm y 1.65 mm. Entonces, la diferencia de valores de nivel de agua edáfica entre la época húmeda y seca son en relación de 10:1.

A partir de mayo el nivel de agua edáfica tiende a disminuir, esto se debe a la ausencia de las lluvias; es decir, ingreso a la época seca.

En general, era de esperarse que después de días de precipitación y en época húmeda se registre incrementos en el nivel de agua edáfica.

4.5.2. Análisis del nivel de agua edáfica y la precipitación en la parcela testigo (P-T).

En la Figura 23, se muestra la variación del agua edáfica y precipitación en un año de evaluación (septiembre 2016 - agosto del 2017) en la parcela testigo (P-T).

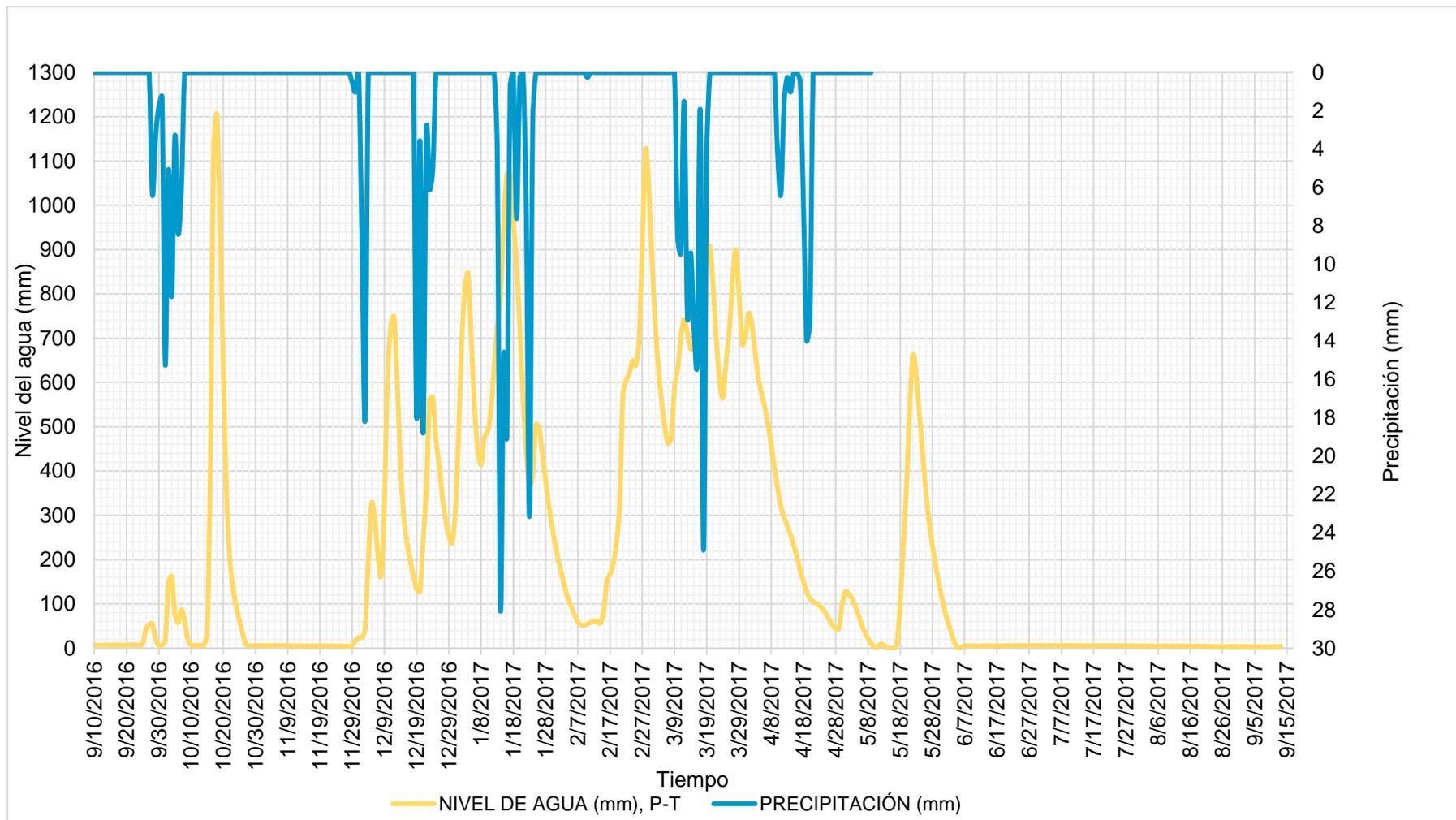


Figura 23: Variación del nivel de agua edáfica y precipitación en la parcela testigo (P-T), 2016-2017

La Figura 23, representa la variación del nivel de agua edáfica con respecto a la precipitación en la parcela testigo (P-T) durante un año. En el mes de octubre observamos el pico más alto registrado de nivel del agua en la época húmeda con un valor de 1206.67 mm. Ello debido a que días antes se registraron máximas precipitaciones. A partir de ello el nivel de agua disminuye para luego incrementarse los primeros días de diciembre con picos de 747.50 mm, 566.30 mm y en el mes de enero se presentaron picos de 844.83 mm y 1070.72 mm, a partir de esa fecha hasta fines de febrero el nivel de agua edáfica disminuye para luego tender a incrementarse hasta alcanzar el nivel más alto de agua edáfica con un valor de 1123.99 mm. Los siguientes meses hasta los primeros días de abril el comportamiento del nivel de agua edáfica mantiene un comportamiento constante. Todo el mes de abril, el nivel de agua edáfica tiende a disminuir hasta la quincena de mayo que nuevamente el nivel de agua se incrementa hasta presentar un pico relativamente alto el 22 de mayo, con 662.79 mm a partir de esa fecha el nivel de agua edáfica disminuye por la ausencia de lluvias. En la época seca los valores de nivel de agua oscilan entre 3.26 mm y 6.27 mm. Entonces, la diferencia de valores de nivel de agua edáfica entre la época húmeda y seca son en relación de 100:1.

A partir de mayo el nivel de agua edáfica tiende a disminuir, esto se debe a la ausencia de las lluvias; es decir, ingreso a la época seca.

En general, era de esperarse que después de días de precipitación y en época húmeda se registre incrementos en el nivel de agua edáfica.

4.5.3. Análisis del nivel de agua edáfica y precipitación en las parcelas de investigación

En la Figura 24, se muestra la variación del nivel de agua edáfica y precipitación en un año de evaluación (septiembre 2016 - agosto del 2017) en la parcela clausurada (P-C) y parcela testigo (P-T).

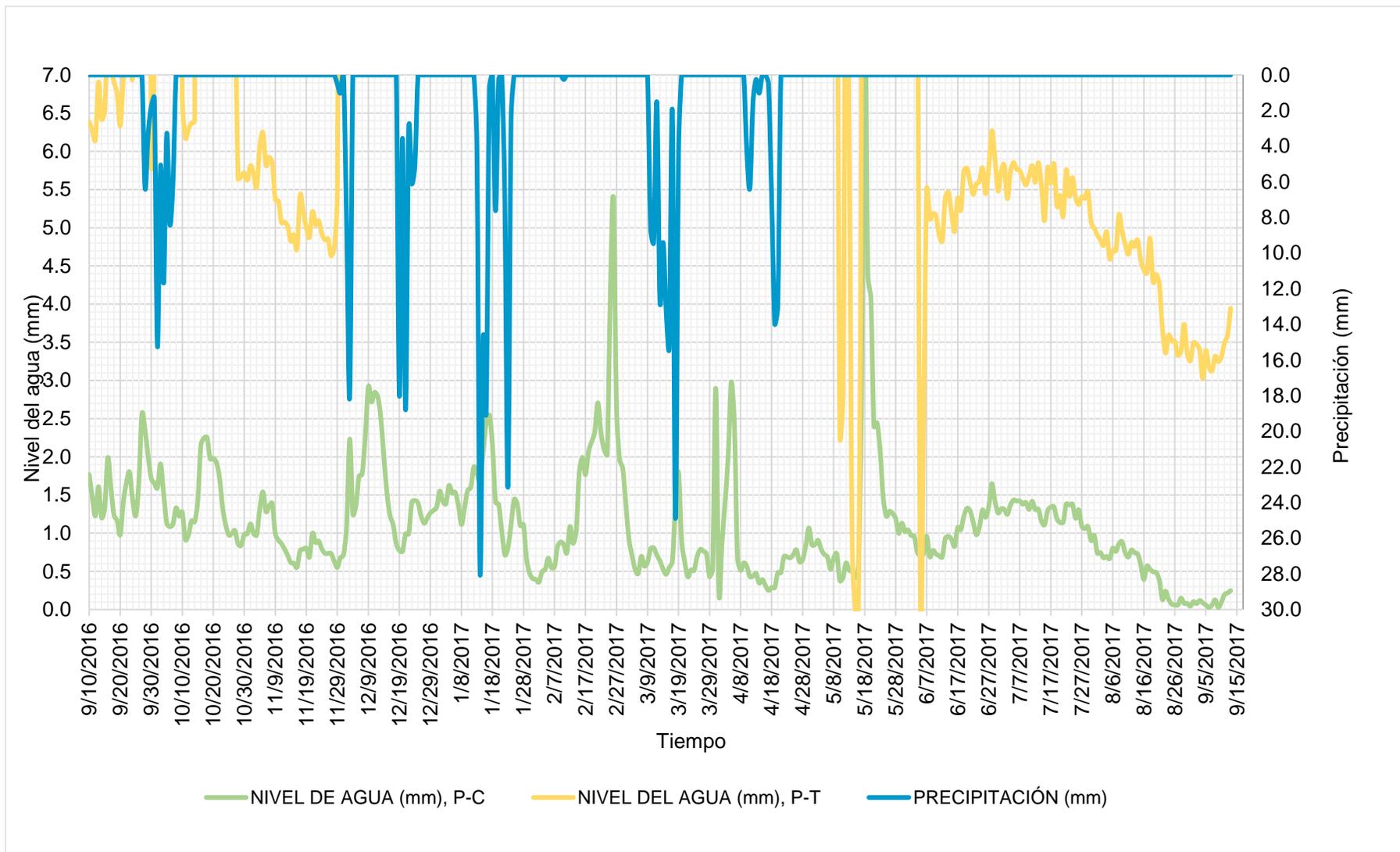


Figura 24: Variación del nivel de agua edáfica y precipitación en la P-C y la P-T, 2016-2017

En la Figura 24, se observa la variación del nivel de agua edáfica con respecto a la precipitación durante un año en las parcelas de investigación. Se observa una clara diferencia entre las curvas de la parcela clausurada (P-C) y parcela testigo (P-T).

Los niveles de agua edáfica menores corresponden a la parcela clausurada (P-C). La parcela testigo (P-T), presenta una curva de nivel de agua alto, con crecidas en la época de lluvia, y alta disminución del nivel de agua en época seca.

Sin embargo, se observa que existe una clarísima diferencia en el comportamiento de la curva de nivel de agua edáfica entre la época húmeda y seca en ambas parcelas. Así, en la parcela clausurada (P-C) la variación de valores de nivel de agua entre la época húmeda y seca son en relación de 10:1 respectivamente y en la parcela testigo (P-T) la variación de valores de nivel de agua edáfica entre la época húmeda y seca son en relación de 100:1.

Como menciona Azaña (2017), la biomasa forrajera verde en la parcela clausurada fue mayor (2075.88 kg/Ha época húmeda) en comparación con la parcela testigo (973.34 kg/Ha época húmeda) y en la época seca resultó 1728.10 kg/Ha y 294.99 kg/Ha respectivamente. Es decir, se puede atribuir a la presencia y recuperación de la vegetación como consecuencia progresiva del efecto clausura, el cual permite que el suelo influenciado por la vegetación presente mayor capacidad de retención de agua en el perfil del suelo.

Así mismo según el reporte de suelos del INAIGEM (2016) para suelo planicie (bofedal), en ambas parcelas las características del horizonte superficial A (espesor de 25 cm) presenta textura (franco arenoso), estructura (granular fino) y contenido medio de materia orgánica; el horizonte C1 y C2 (espesor 45 cm para el C1 y >20 cm para el C2) con textura (franco limoso), estructura (sin agregados) y contenido bajo de materia orgánica. Estas características de suelo de planicie de ambas parcelas favorecen a la retención de humedad que según la Tabla 1 la clase textural franco arenosa y franco limoso poseen regular y buena retención de la humedad respectivamente. Es decir, en ambas parcelas la clase textural franco limoso del horizonte C1 y C2 favorece a la retención de la humedad (para nuestro

estudio niveles de agua edáfica), sin embargo los altos valores que presenta la parcela testigo es influenciado por el movimiento lateral del agua del río que alcanza los sensores Levellogger (ubicados al pie de ladera con pendiente menor a 5%), lo cual no sucede con la parcela clausurada ya que el piezómetro está ubicada al pie de ladera pero con una pendiente del 5%. Así mismo, la variación tan marcada de los valores de nivel de agua entre época húmeda y seca en la parcela testigo es atribuida a la ausencia de vegetación uniforme y presencia suelo desnudo el cual incrementa la evaporación del agua contenida en el suelo. Lo cual no ocurre en la parcela clausurada, ya que existe una mínima variación de los niveles de agua edáfica por estacionalidad, lo que significa que aparte de las características del suelo de planicie, así mismo también favorece la presencia uniforme de vegetación y recuperación del ecosistema como consecuencia del efecto clausura.

Como menciona Pinzón (1993) citado por Daza et al. (2014). “Las actividades ganaderas pueden afectar la capacidad de retención y almacenamiento de agua en el suelo debido al pisoteo del ganado que compacta y deja menos espacio poroso”. La parcela intervenida por el INAIGEM fue clausurada en el mes de febrero del 2016, de ahí que cuenta con un corto período de tiempo de recuperación. En el PMPNH 2017-2021 indican que los pajonales y bofedales sufren por presión del sobrepastoreo, el cual puede afectar la capacidad de retención y almacenamiento de agua en los bofedales. Afirmación que queda demostrado al realizar el análisis de la variación del nivel de agua edáfica en la parcela testigo.

4.6. Análisis estadístico

Teniendo presente la formulación de la hipótesis: “Los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino influyen directamente en la dinámica del agua edáfica de un bofedal en la Quebrada Llaca”.

Teniendo en cuenta la siguiente relación:

Y: Nivel de agua edáfica

X₁: Precipitación (TRMM 3B43 V7)

X₂: Evapotranspiración

X₃: Escorrentía

X₄: Infiltración

Entonces el modelo de regresión lineal múltiple está expresado de la siguiente manera:

$$Y = \alpha_0 + \alpha_1 X_1 + \alpha_2 X_2 + \alpha_3 X_3 + \alpha_4 X_4$$

- **Se redacta la siguiente hipótesis:**

H₀ = No hay influencia directa significativa de los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino en la dinámica del agua edáfica de un bofedal.

H₁ = Hay una influencia directa significativa de los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino en la dinámica del agua edáfica de un bofedal.

- **Significancia:** $\alpha = 0.05$

- **Elección de la prueba:** Regresión lineal múltiple (coeficiente de determinación R²)

- **Criterio de decisión mediante intervalos de confianza y pruebas de hipótesis relativas a los coeficientes de regresión**

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_k = 0$$

$$H_1: \text{al menos una de las } \beta_j \neq 0$$

Donde:

β : Varianza

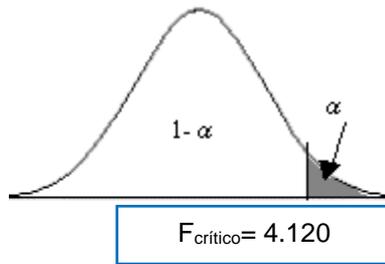
- **Estadístico de prueba:** Prueba F de Fisher

$$F = S_1^2 / S_2^2 \sim F(k, n-k, n-k-1)$$

- **Regla de decisión**

Donde $\alpha = 0.05$

$$F_{\text{crítico}} = F(1-\alpha, k, n-k-1) = F(0.95, 4, 7) = 4.120$$



Se rechaza H_0 , si $F_{\text{cal}} > 4.120$

Se acepta H_0 , si $F_{\text{cal}} \leq 4.120$

4.6.1. Análisis estadístico de la influencia de los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino en la dinámica del agua edáfica de un bofedal.

De la prueba estadística de regresión lineal múltiple realizada en SPSS se tiene (Ver el anexo 1):

4.6.1.1. Análisis de correlación en la parcela clausurada.

El coeficiente de determinación $R^2 = -0.440$ y como:

$F_{\text{cal}} = 0.160 \leq 4.120$, entonces se acepta la H_0 , es decir;

H_0 = No hay influencia directa significativa de los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino en la dinámica del agua edáfica de un bofedal. Por lo que se concluye:

- Que, con un nivel de significancia del 5%, se puede afirmar que en la parcela clausurada (P-C), los componentes del balance hídrico determinados en el ecosistema pajonal altoandino no están relacionados con la dinámica de los niveles de agua edáfica en el bofedal.

Es decir, las características propias de la parcela clausurada podrían estar interviniendo en el comportamiento que se ha observado y podrían ser: La pendiente, la vegetación y el tipo de suelo. Ya que los métodos aplicados para la determinación de los componentes del balance hídrico se han basado en el uso de coeficientes para ecosistemas similares.

4.6.1.2. Análisis de correlación en la parcela testigo

El coeficiente de determinación $R^2=0.700$ y como:

$F_{cal}= 7.417 > 4.120$, entonces se rechaza la H_0 , y se acepta la H_1 , es decir;

H_1 = Hay una influencia directa significativa de los componentes del balance hídrico de un pajonal altoandino en la dinámica del agua edáfica de un bofedal.

Por lo que se concluye:

- Que, con un nivel de significancia del 5%, se puede afirmar que en la parcela testigo (P-T), los componentes del balance hídrico determinados en el ecosistema pajonal altoandino están relacionados con la dinámica de los niveles de agua edáfica en el bofedal.

Entonces la ecuación de regresión lineal múltiple es:

$$Y = -9879.517 + 26.872X_1 + 8281.600X_2 + 194.564X_3 - 88.630X_4$$

Vale mencionar que como indica “Coeficiente de correlación lineal de Pearson” (s.f.) la correlación entre dos variables sólo significa que ambas variables comparten variabilidad y no implica necesariamente causalidad entre ambas. Es decir, la correlación existente entre los componentes del balance hídrico en el pajonal y la dinámica del agua edáfica en el bofedal en la parcela testigo comparten variabilidad, pero no implica necesariamente causalidad entre ellas.

4.6.2. Diagrama de cajas de nivel de agua edáfica en las parcelas

En el diagrama de cajas (Figura 25) se ve la distribución de nivel de agua edáfica por época en la parcela clausurada (P-C). Se observa que, los niveles de agua edáfica en la época húmeda presentan menor rango de datos frente a los niveles de agua edáfica en la época seca; así mismo muestran menor dispersión en la distribución de los niveles de agua edáfica dentro de cada época y entre época.

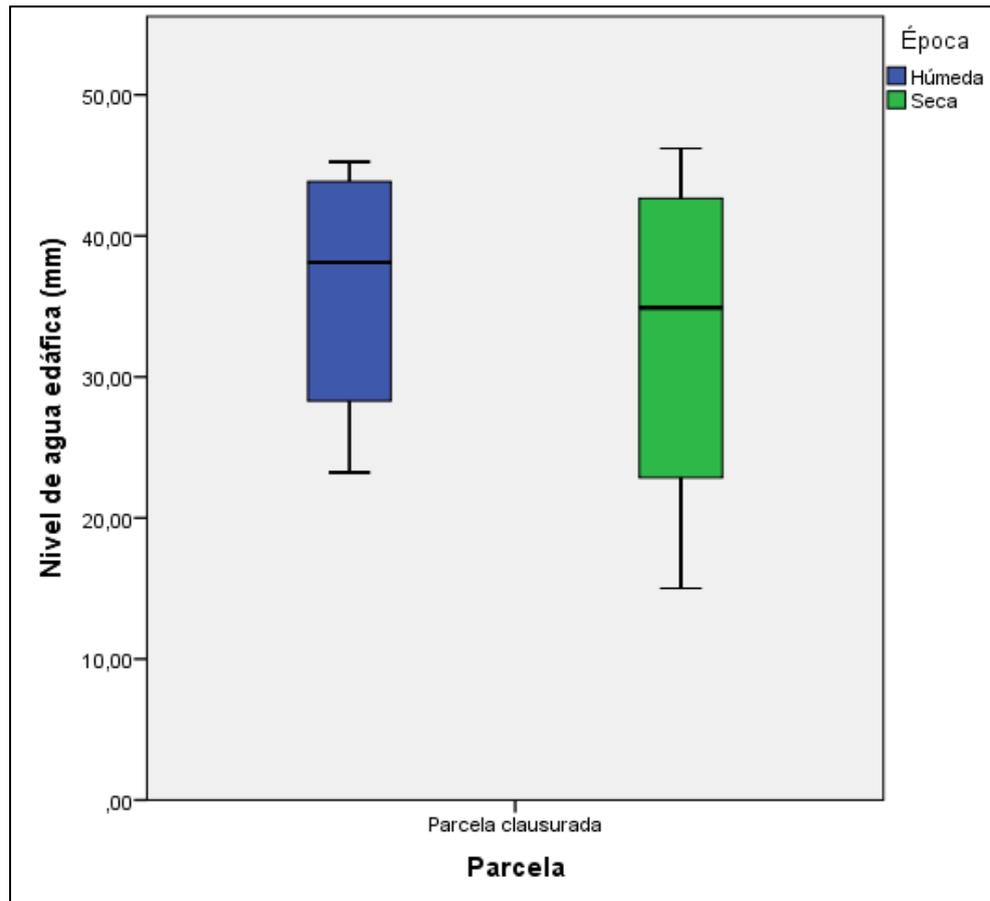


Figura 25: Diagrama de cajas de Nivel de agua edáfica (mm) en la parcela clausurada.

En el diagrama de cajas (Figura 26) se ve la distribución de nivel de agua edáfica por época en la parcela testigo (P-T). Se observa que, los niveles de agua edáfica presentan mayor rango de datos en la época húmeda; así mismo muestran mayor dispersión en la distribución de los niveles de agua edáfica dentro de la época húmeda y entre época.

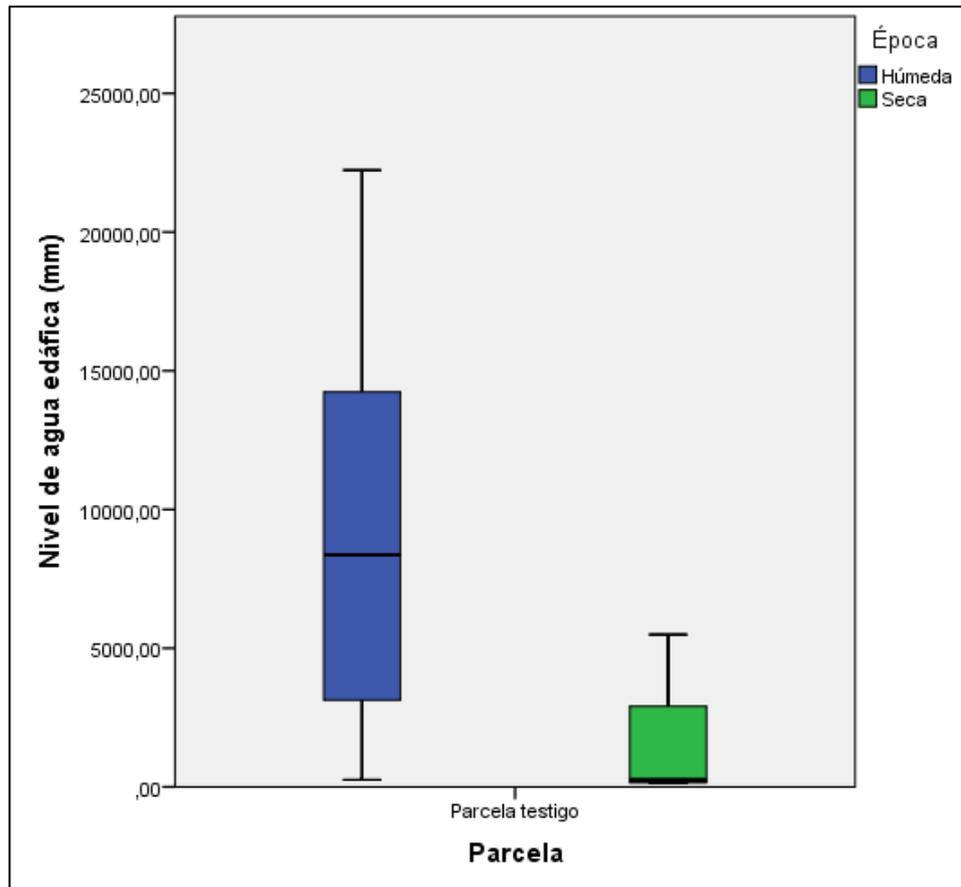


Figura 26: Diagrama de cajas de Nivel de agua edáfica (mm) en la parcela testigo.

En el diagrama de cajas (Figura 27) se ve la distribución de nivel de agua edáfica por época en las parcelas. Se observa que la parcela clausurada presenta un menor rango de datos, lo que indica que sus datos son homogéneos y presentan menor dispersión en la distribución de los niveles de agua edáfica. Mientras que en la parcela testigo, presentan mayor rango de datos y por lo tanto los valores son menos homogéneos dentro de cada época; especialmente entre los datos de la época húmeda y seca existen diferencias significativas con respecto a la dispersión en la distribución de los niveles de agua edáfica

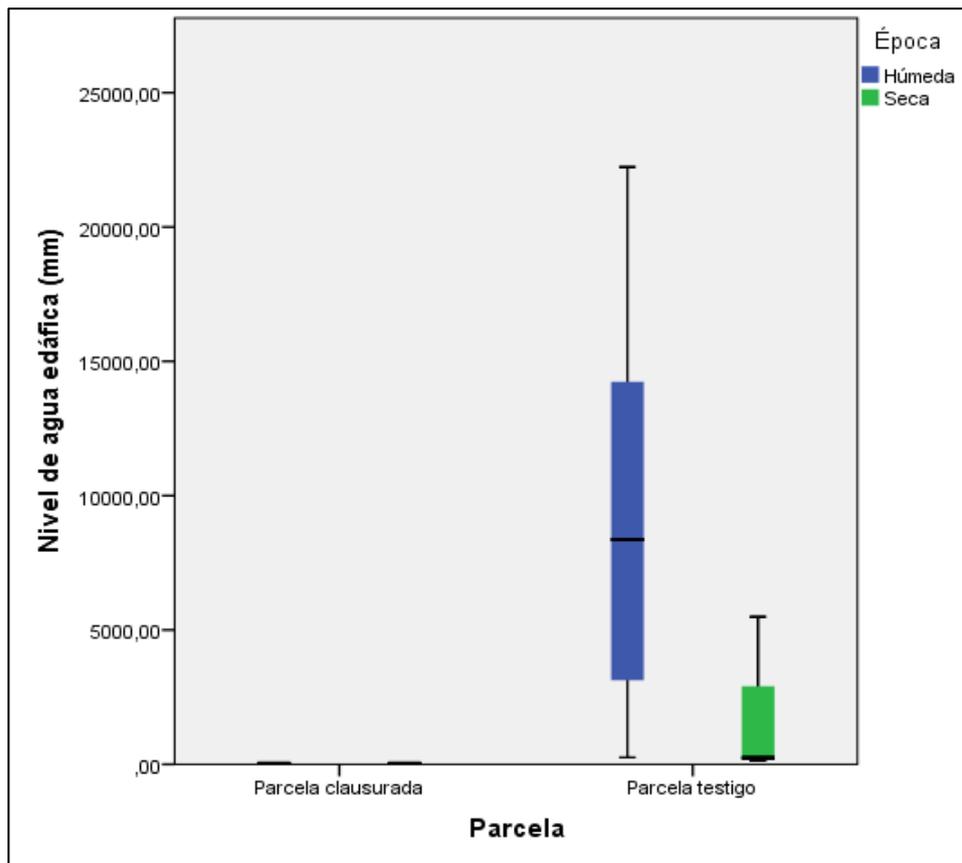


Figura 27: Diagrama de cajas de Nivel de agua edáfica (mm) en las parcelas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El total de precipitación anual registrada fue de 1077.04 mm, lo cual es característico de estas zonas altoandinas. Según el mapa de zonas de vida del Parque Nacional Huascarán, la parcela de investigación se encuentra bajo la zona de vida Tundra Pluvial Andino Tropical (tp-AT).

La parcela clausurada presenta mayor biomasa forrajera verde en la época seca en comparación con la parcela testigo, esta última bajo perturbaciones, las cuales afectan los umbrales bióticos en términos de cambios en la distribución de las especies e incremento de suelo desnudo.

Se presentaron mayores valores de evapotranspiración de cultivo en la parcela clausurada el cual oscila entre 1.71 mm y 2.72 mm frente a la parcela testigo que oscila entre 1.28 mm y 2.05 mm, así mismo se presentaron mayores valores de evapotranspiración en los meses de época húmeda.

La parcela testigo presenta ligeramente mayores valores de escorrentía superficial frente a la parcela clausurada. Así mismo en ambas parcelas los mayores valores de escorrentía superficial se presentan en la época húmeda.

La parcela clausurada presentó una lámina de infiltración acumulada de 81 mm de agua, la cual es mayor en comparación con la parcela testigo que presentó 69 mm de agua.

El almacenamiento de agua mensual en la época húmeda (septiembre de 2016 a abril de 2017) en la parcela clausurada oscila entre 98.93 mm y 256.18 mm

y en la parcela testigo oscila entre 87.46 mm y 244.82 mm. Así, los resultados demostraron que, en la parcela clausurada hubo mayor almacenamiento de agua anual en el suelo (1850.11 mm) en comparación con la parcela testigo (1760.72 mm).

La dinámica del nivel de agua edáfica en el bofedal dentro de la parcela clausurada (P-C) entre la época húmeda y seca son en relación de 10:1 y en la parcela testigo (P-T) son en relación de 100:1. El cual indica una mayor capacidad de retención de agua edáfica en la parcela clausurada.

La práctica de manejo instalada en la parcela de investigación tiene efecto positivo sobre la dinámica del agua edáfica en el bofedal y el almacenamiento de agua en el pajonal altoandino, ya que la recuperación de la vegetación en la parcela favorece el almacenamiento de agua en el suelo y disminuye las escorrentías superficiales, además de mantener mínima variación de niveles de agua edáfica en los cambios de estacionalidad.

Se ha determinado en la parcela clausurada (P-C) con un nivel de significancia del 5% y coeficiente de determinación $R^2 = -0.440$ que no existe relación entre los componentes del balance hídrico del pajonal altoandino y la dinámica del nivel de agua edáfica en el bofedal.

Se ha determinado en la parcela testigo (P-T) con un nivel de significancia del 5% y coeficiente de determinación $R^2 = 0.700$ que existe relación entre los componentes del balance hídrico del pajonal altoandino y la dinámica del nivel de agua edáfica en el bofedal.

5.2. RECOMENDACIONES

Realizar trabajos de este tipo para conocer cualitativamente y cuantitativamente los servicios ambientales de los ecosistemas de montaña puesto que son necesarios para la planificación y ejecución de proyectos como soluciones basadas en ecosistemas.

Considerar la instalación de un pluviómetro permanente para el registro de datos, y poder determinar la escorrentía superficial que se podría generar en eventos de máximas precipitaciones, monitorear la humedad del suelo de manera continua y así mismo analizar mejor el comportamiento de los niveles de agua en el suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agua edáfica. (11 de octubre, 2017). Recuperado de <https://diccionario.geotecnia.online/diccionario/agua-edafica/>
- Alfaro, C. (2015). *Caracterización de la infiltración en bosques plantados con *Polylepis spp.*, de 11 y 29 años, Parque Nacional Huascarán, quebrada Quillcayhuanca, Huaraz, Ancash* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- Aparicio, F. (1997). *Fundamentos de hidrología de superficie*. Recuperado de http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoreno/HIDRO/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.pdf
- Amat y León, C. (Ed.). (2014). *Los andes y el agua*. Lima., Perú: Edición General por el Ministerio del Ambiente.
- Ávalos, O. y Rosito, J. C. (2007). *Evaluación hidrológica de las subcuencas Pasabién y Pueblo Viejo*. Recuperado de <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/imported/evaluacion-hidrologica-pdf.pdf>
- Azaña, Y. (2017). *Evaluación del efecto de clausura sobre la recuperación de pastizales nativos en la quebrada Llaca, Parque Nacional Huascarán-Ancash* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Huaraz.
- Centro de Investigación para el Desarrollo [CIAD] (s.f.). *Estaciones meteorológicas*. Recuperado de <http://ciad.org/estaciones-meteorologicas>
- Coaquira, Y. (2018). *Análisis comparativo de precipitaciones medias mensuales, utilizando datos satelitales TRMM y estaciones meteorológicas en la cuenca Huancané-Puno* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Recuperado de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7193/Coaquira_Qui_spe_Yessica.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Coeficiente de correlación lineal de Pearson (s.f.). Recuperado de <https://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>

- Daza, M.; Hernández, F. y Triana, F. (2014). Efecto del uso del suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 67(1), 7189-7200. doi: <https://doi.org/10.15446/rfnam.v67n1.42642>
- Egan, P. y Price, M. (2014). *Las montañas como torres de agua del mundo: Protegiendo el agua y los servicios ecosistémicos de montaña ante el cambio climático*. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002308/230850s.pdf>
- Flores, E.; Tácuna, R. y Calvo, V. (2014). *Marco conceptual y metodológico para estimar el estado de salud de los bofedales*. Recuperado de https://mountain.pe/wp-content/uploads/2015/05/HIMAP-TMI_MINAM-BID_IMACC_Bofedales__Nota-tecnica-10-04-2015.pdf
- García, G. (2016). *Influencia de la revegetación con Festuca Humillior y la incorporación de fertilizantes en la recuperación de pastizales degradados* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2626/F04-G3725-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Gil, R. (s.f.). *Agua del suelo*. Recuperado de <https://www.profertilnutrientes.com.ar/archivos/agua-edafica>
- Hernández, L., Gómez, J. y Monterroso, A. (2007). *Estimación del balance de humedad para la Cuenca de Amajac que incluye la Reserva de la Biosfera Barranca de Metztlán bajo condiciones actuales y escenario de cambio climático*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (Tesis de pregrado). Recuperado de <https://es.scribd.com/document/174713175/Tesis-Final>
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM). (s.f.). *Propósito de creación del INAIGEM*. Recuperado de <http://www.inaigem.gob.pe/Institucional/Presentacion>.
- Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña (INAIGEM). (2016). *Reporte de suelos*. Huaraz.
- Levellogger Edge (s.f.). Recuperado de <https://www.solinst.com/espanol/productos/ds/3001-levellogger.php>

- Lozano, F. (2015). *Dinámica del agua edáfica en dehesas y su relación con el clima y la vegetación*. (Tesis doctoral). Universidad de Extremadura. Recuperado de <http://dehesa.unex.es/handle/10662/2820>
- Maldonado, M. (2010). *Comportamiento de la vegetación de bofedales influenciados por actividades antrópicas* (Tesis de posgrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/7400>
- Ministerio del Ambiente. (2012). *Memoria descriptiva del mapa de cobertura vegetal del Perú*. Lima, Perú
- Muñoz, C. (2016). *Determinación del efecto del tipo de cobertura vegetal en la capacidad de retención de agua del páramo de Pulinguí San Pablo, Chimborazo-Ecuador* (Tesis de pregrado). Universidad de Las Américas. Recuperado de <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/5496>
- National Aeronautics and Space Administration (NASA). (s.f.). *Earthdata*. Recovered from <https://earthdata.nasa.gov/>
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP). (2011). *Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán (PMPNH) período 2010-2015. (1a ed.)*, Lima.
- Ordoñez, J. (2011). Cartilla Técnica: *Balance Hídrico Superficial*. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/balance_hidrico.pdf
- Programa Mundial de las Naciones Unidad de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP)/ONU-Agua. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. Recuperado de <http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261494s.pdf>
- Rivera, J., Valer, F., Pérez, J., Sierra, L. y Bustinza, V. (2014). Manual técnico: *Manejo de pastos naturales altoandinos*. Recuperado de <http://www.paccperu.org.pe/publicaciones/pdf/147.pdf>
- Schosinsky, G. (2006). Cálculo de la recarga potencial de acuíferos mediante un balance hídrico de suelos. *Revista Geológica de América Central*, 34(35), 13-30. Recuperado de <http://universitaria.p.redalyc.org/articulo.oa?id=45437342002>

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP). (2011) Plan Maestro del Parque Nacional Huascarán PMPNH periodo 2010 - 2015. (1a ed.) Lima. Perú.

Sociedad Peruana de Derecho Ambiental [SPDA] (s.f.). *#SinPajonalesNoHayAgua*. Recuperado de <http://www.actualidadambiental.pe/pajonales/>

Solinst (s.f.). *3001 Levellogger Edge*. Recuperado de <https://www.solinst.com/espanol/productos/ds/3001-levellogger.php>.

Vélez, M. (s/f). *Métodos para determinar la recarga en acuíferos*. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/4442/1/EA3760.pdf>

ANEXO

ANEXO 1

PRUEBAS ESTADÍSTICAS

Regresión lineal múltiple: Influencia de los componentes del balance hídrico de la parcela clausurada (P-C) en la dinámica del agua edáfica en el bofedal.

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Infiltración, Escorrentía, Precipitación (TRMM 3B43 V7), Evapotranspiración ^b	.	Intro

a. Variable dependiente: Nivel de agua edáfica.

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,290 ^a	,084	-,440	12,14046

a. Predictores: (Constante), Infiltración, Escorrentía, Precipitación (TRMM 3B43 V7), Evapotranspiración.

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.	
1	Regresión	94,468	4	23,617	,160	,952 ^b
	Residuo	1031,735	7	147,391		
	Total	1126,203	11			

a. Variable dependiente: Nivel de agua edáfica.

b. Predictores: (Constante), Infiltración, Escorrentía, Precipitación (TRMM 3B43 V7), Evapotranspiración.

Coefficientes^a

Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados	t
	B	Error estándar	Beta	
(Constante)	73,254	70,812		1,034
Precipitación (TRMM 3B43 V7)	,082	,129	,696	,635
1 Evapotranspiración	-22,068	38,448	-,746	-,574
Escorrentía	-,179	,329	-,510	-,544
Infiltración	,146	,282	,576	,518

Coefficientes^a

Modelo	Sig.
(Constante)	,335
Precipitación (TRMM 3B43 V7)	,545
1 Evapotranspiración	,584
Escorrentía	,603
Infiltración	,620

a. Variable dependiente: Nivel de agua edáfica.

Regresión múltiple: Influencia de los componentes del balance hídrico de la parcela testigo (P-T) en la dinámica del agua edáfica en el bofedal.

Variables entradas/eliminadas^a

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Infiltración, Escorrentía, Precipitación (TRMM 3B43 V7), Evapotranspiración ^b	.	Intro

a. Variable dependiente: Nivel de agua edáfica.

b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Resumen del modelo

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	,899 ^a	,809	,700	4081,47114

a. Predictores: (Constante), Infiltración, Escorrentía, Precipitación (TRMM 3B43 V7), Evapotranspiración.

ANOVA^a

Modelo	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.	
1	Regresión	494194385,441	4	123548596,360	7,417	,012 ^b
	Residuo	116608846,588	7	16658406,655		
	Total	610803232,029	11			

a. Variable dependiente: Nivel de agua edáfica.

b. Predictores: (Constante), Infiltración, Escorrentía, Precipitación (TRMM 3B43 V7), Evapotranspiración.

Coefficientes^a

Modelo	Coefficients no estandarizados		Coefficients estandarizados	t
	B	Error estándar	Beta	
(Constante)	-9879,517	24033,179		-,411
Precipitación (TRMM 3B43 V7)	26,872	43,868	,311	,613
1 Evapotranspiración	8281,600	17383,941	,285	,476
Escorrentía	194,564	111,216	,758	1,749
Infiltración	-88,630	110,988	-,404	-,799

Coefficientes^a

Modelo	Sig.
(Constante)	,693
Precipitación (TRMM 3B43 V7)	,560
1 Evapotranspiración	,648
Escorrentía	,124
Infiltración	,451

a. Variable dependiente: Nivel de agua edáfica.

ANEXO 2
GALERÍA FOTOGRÁFICA



Fotografía 1. Elección de parcelas de investigación con el equipo de profesionales de la DIEM-INAIGEM.



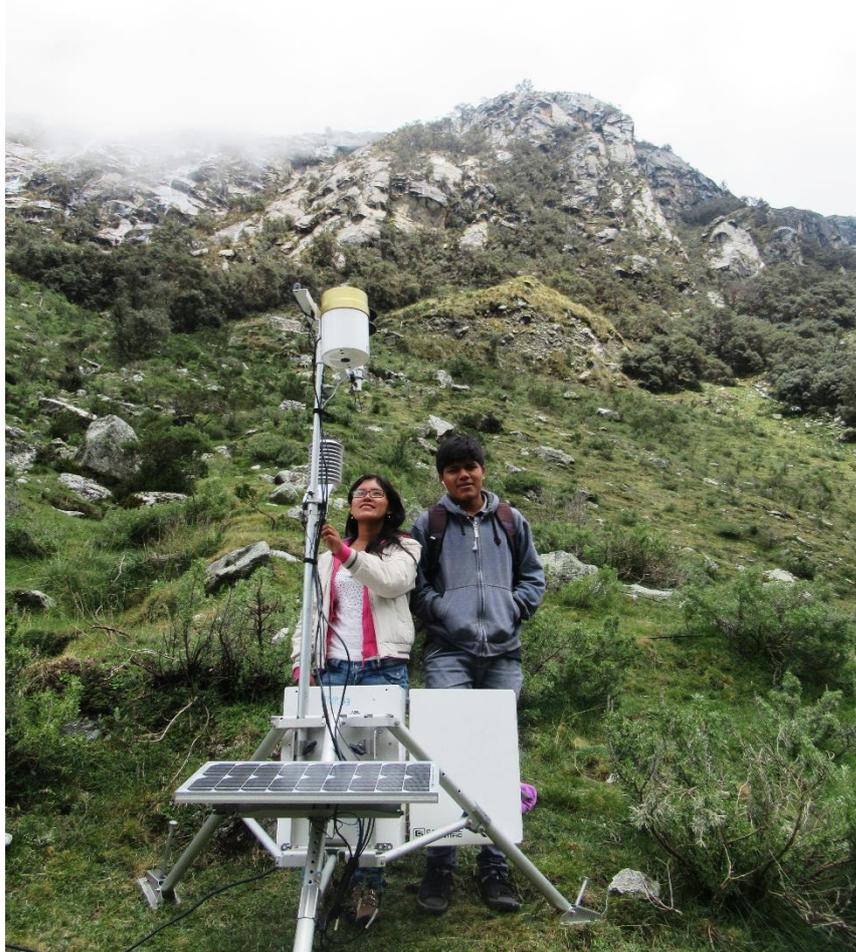
Fotografía 2. Cerco perimétrico en la parcela clausurada.



Fotografía 3. Colocación de cuadrantes para evaluar biomasa forrajera verde en la parcela clausurada



Fotografía 4. Colocación de cuadrantes para evaluar biomasa forrajera verde en la parcela testigo.



Fotografía 5. Instalación de Estación meteorológica portátil.



Fotografía 6. Instalación de Estación meteorológica portátil.



Fotografía 7. Ensayo de infiltración en época húmeda en la parcela clausurada.



Fotografía 8. Ensayo de infiltración en época seca en la parcela testigo.



Fotografía 9. Descarga de datos de piezómetro ubicado en la parcela testigo.



Fotografía 10. Sacando el seguro para descargar datos de piezómetro ubicado en la parcela clausurada.



Fotografía 11. Presencia de ganado equino en la quebrada de Llaca.



Fotografía 12. Presencia de excremento de ganado vacuno en la parcela testigo.