

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**CARACTERIZACIÓN DE LA  
INFILTRACIÓN EN BOSQUES  
PLANTADOS CON *POLYLEPIS SPP.*, DE  
11 Y 29 AÑOS, PARQUE NACIONAL  
HUASCARÁN, QUEBRADA  
QUILCAYHUANCA, HUARAZ, ANCASH**

Presentado por:

**Gersom Juver Gonzalez Alfaro**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO FORESTAL**

---

Lima - Perú  
2015

## *DEDICATORIA*

*A mi amada madre Gregoria Alfaro, por ser mi mayor motivación a seguir adelante, por todo el amor y apoyo infinito que me brinda día a día.*

*A mi hermano Cesar, que siempre ha estado a mi lado brindándome su apoyo, inculcándome las bases de la responsabilidad y deseos de superación, muchas veces poniéndose en el papel de padre.*

*A mi padre Cesar Gonzalez, por brindarme su apoyo incondicional en cada momento de mi vida.*

*A mis hermanos, Alexander, Rafael, Irma, Maritza y Erika, quienes han sido fuente de apoyo para llegar a este camino de mi carrera.*

## AGRADECIMIENTOS

*Quiero expresar mi más sincero agradecimiento en primer lugar, a Dios, por estar conmigo en cada momento, por guiarme y rodearme de personas tan queridas y darme una familia maravillosa.*

*Agradezco de manera especial y sincera a mi patrocinadora la Ing. Rosa María Hermoza Espezuía, por haberme dado la oportunidad de trabajar con ella, su apoyo y confianza en mi trabajo y su capacidad para guiar mis ideas ha sido un aporte invaluable.*

*Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento al Dr. Julio Alegre por su importante aporte y participación en el desarrollo de esta tesis.*

*A mis Jurados, los Ingenieros, Carlos Llerena, Ignacio Lombardi y Fernando Bulnes, quienes con sus valiosas observaciones y aportes me ayudaron a enriquecer el presente trabajo.*

*Agradezco profundamente a mis amigos, que me han apoyado incondicionalmente para los trabajos de campo. Sin ellos no habría podido llegar a este punto: Júnior Suarez Franco, Jimmy Hidalgo Morales y Jessenia Polack Huamán.*

*Agradezco al Ing. David Ocaña Vidal, por haberme brindado información valiosa de las plantaciones realizadas dentro de la quebrada Quilcayhuanca y porque siempre estuvo dispuesto a apoyarme en esta investigación.*

*Doy gracias a la institución CARE – PERU, sede Ancash, por haber financiado gran parte de esta investigación. Sin su apoyo no hubiese sido posible el desarrollo de esta investigación.*

*Agradezco a la institución SERNANP, sede Huaraz, por permitirme trabajar en el PNH, y brindarme las facilidades para el desarrollo de esta investigación.*

*Quiero agradecer de manera especial al Ing. Martin Salvador Poma, especialista del SERNANP, por sus valiosos aportes durante las innumerables visitas a la zona de estudio. Su paciencia y experiencia nos permitió obtener resultados muy satisfactorios.*

*Agradezco al personal de guarda parques del SERNANP de la estación Quilcayhuanca, quienes me brindaron su apoyo incondicional para realizar una correcta toma de información.*

*Doy gracias al Ing. Alfredo Reyes Nolasco, Profesor de la UNASAM, por sus valiosas aportaciones y sugerencias, en lo que concierne a la interpretación del análisis de suelo.*

*Agradezco al Ing. Ricardo Reyes Pires, por facilitarme su investigación de tesis sobre Sortividad.*

*Finalmente agradezco a mi amada familia Gonzalez Alfaro, sin ellos no hubiese sido posible realizar esta investigación. Mil gracias.*

## RESUMEN

La investigación aborda la caracterización de infiltración en bosques plantados con *Polylepis spp.*, de 11 y 29 años, dentro de la quebrada Quilcayhuanca, Parque Nacional Huascarán; para ello se evaluaron 12 parcelas de 100 m<sup>2</sup> cada una, distribuidas de la siguiente manera: tres parcelas de Bosque plantado con *Polylepis spp.*, de 29 años (BP\_29); tres parcelas de Bosque plantado con *Polylepis racemosa* manejado, de 11 años (BM\_11); tres parcelas de Bosque plantado con *Polylepis racemosa* sin manejo, de 11 años (BSM\_11) y tres parcelas Testigo (T) sin especies arbóreas ni arbustivas.

Para medir la infiltración se empleó el método de cilindros infiltrómetros, el cual permitió determinar la velocidad y lámina de infiltración durante el tiempo de evaluación. Paralelamente se analizó la influencia que tienen las propiedades físico-químicas del suelo, así como la humedad inicial, la cantidad de la hojarasca presente, está según el grado de descomposición.

Los resultados obtenidos nos permitieron, interpretar el comportamiento de la infiltración, para ello se trabajó en base al promedio de los resultados de las parcelas de cada área estudiada, esto para un análisis estadístico y comparaciones cuantitativas.

La investigación demuestra, que al inicio de las pruebas, los bosques plantados con *Polylepis spp.* tienen una alta tasa de infiltración (BP\_29 (278 cm/h); BM\_11 (204 cm/h); BSM\_11 (160 cm/h) en comparación al área Testigo (117 cm/h). También se concluye, que los suelos de los bosques plantados, presentan una lámina infiltrada superior al de suelos sin cobertura arbórea: BM\_11 (15,8 cm); BP\_29 (12,6 cm); BSM\_11 (12 cm) y el Testigo con (10,5 cm).

Esta investigación es un paso inicial, que debe ser complementada con estudios similares, para poder incrementar los conocimientos, sobre la importancia de los bosques plantados en las cabeceras de cuencas altoandinas y su influencia en el régimen hídrico y agua disponible

Palabras claves: Velocidad de infiltración; lámina infiltrada; Biomasa; hojarasca; escorrentía; cilindros infiltrómetros.

# ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>I. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>II. Revisión de Literatura .....</b>	<b>5</b>
<b>1. El Parque Nacional Huascarán (PNH) .....</b>	<b>5</b>
1.1. El PNH en el Contexto Institucional Internacional .....	6
<b>2. Funcionamiento y servicios ambientales de los bosques.....</b>	<b>7</b>
2.1. Vegetación de ribera .....	8
2.2. Importancia de la conservación del agua, suelo y bosque .....	9
<b>3. Ecología de los bosques de <i>Polylepis</i> .....</b>	<b>10</b>
3.1. Características vegetativas y distribución del <i>Polylepis racemosa</i> .....	10
3.2. Importancia de los bosques de <i>Polylepis</i> .....	11
3.3. Amenazas de los bosques <i>Polylepis</i> .....	11
<b>4. Suelos.....</b>	<b>12</b>
4.1. Características Físicas de los suelos .....	12
4.1.1. Textura .....	12
4.1.2. Estructura .....	14
4.1.3. Densidad Aparente.....	15
4.1.4. Humedad del suelo.....	15
4.1.5. Color.....	16
4.2. Propiedades químicas de los suelos .....	17
4.2.1. La capacidad de intercambio catiónico .....	17
4.2.2. Capacidad de intercambio iónico .....	17
4.2.3. Acidez del suelo .....	17
4.3. Materia Orgánica .....	18
<b>5. La hojarasca.....</b>	<b>19</b>
<b>6. El agua en el suelo .....</b>	<b>20</b>
<b>7. El ciclo hidrológico.....</b>	<b>21</b>
7.1. La Escorrentía.....	22
7.2. Infiltración .....	23
7.2.1. Factores que rigen la infiltración .....	24
7.2.2. La capacidad de infiltración.....	28
7.2.3. Velocidad o tasa de infiltración .....	28
7.2.4. Métodos para medir la infiltración básica .....	30
<b>III. Materiales y Métodos.....</b>	<b>33</b>
<b>1. Materiales.....</b>	<b>33</b>
1.1. Área de estudio.....	35
1.1.1. Ubicación.....	35
1.1.2. Accesibilidad .....	36
1.1.3. Clima .....	36
1.1.4. Ecología.....	37
1.1.5. Fisiografía .....	38
1.1.6. Hidrografía .....	38
1.1.7. Vegetación .....	38
1.1.8. Actividad económica.....	39
1.2. Descripción de la zona de estudio.....	40
1.2.1. Descripción del área de bosque plantado con <i>Polylepis racemosa</i> sin manejo, de 11 años (BSM_11).....	42

1.2.2.	Descripción del área de bosque plantado con <i>Polylepis racemosa</i> manejo, de 11 años (BM_11).....	44
1.2.3.	Descripción del área de bosque plantado con <i>Polylepis spp.</i> , 29 años (BP_29) .....	46
1.2.4.	Descripción del área Testigo (T).....	48
<b>2.</b>	<b>Metodología para el levantamiento de la información.....</b>	<b>50</b>
2.1.	Obtención de muestras de suelo de las áreas evaluadas.....	50
2.2.	Evaluación del perfil del suelo .....	52
2.3.	Determinación del estado de descomposición de la hojarasca y biomasa seca .....	53
2.4.	Determinación de la humedad inicial del suelo por el Método de bloques de yeso ....	55
2.5.	Tomas de muestras de la infiltración.....	58
2.6.	Determinación de características edáficas.....	60
2.6.1.	Caracterización del suelo .....	60
2.6.2.	Determinación de la densidad aparente .....	60
2.7.	Análisis estadístico de la información .....	61
2.7.1.	La Prueba T-Student.....	61
2.7.2.	El Diagrama de cajas o Boxplot.....	62
<b>IV.</b>	<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>63</b>
<b>1.</b>	<b>Caracterización del suelo .....</b>	<b>63</b>
1.1.	Humedad inicial del suelo .....	63
1.2.	Colores del suelo presentes en las calicatas .....	64
1.3.	Características físicas y químicas del suelo.....	65
1.3.1.	Características de la textura del suelo .....	66
1.3.2.	Características del pH del suelo .....	67
1.3.3.	Características de la materia orgánica del suelo .....	68
1.3.4.	La densidad aparente. ....	69
<b>2.</b>	<b>Biomasa de hojarasca en el suelo .....</b>	<b>69</b>
<b>3.</b>	<b>Infiltración .....</b>	<b>72</b>
3.1.	Velocidad de infiltración instantanea .....	72
3.2.	Velocidad de infiltración acumulada.....	76
3.3.	Lámina acumulada de la infiltración .....	79
<b>4.</b>	<b>Análisis estadístico .....</b>	<b>82</b>
4.1.	Análisis estadísticas de la velocidad de infiltración acumulada en bosques plantados con <i>Polylepis spp</i> y área testigo.....	83
4.2.	Análisis estadísticas de la lámina infiltrada acumulada en bosques plantados con <i>Polylepis spp</i> y área testigo.....	83
4.3.	Diagrama de cajas de velocidad de infiltración.....	83
4.4.	Diagrama de cajas de la lámina infiltrada acumulada. ....	84
<b>V.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>87</b>
<b>VI.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>89</b>
<b>VII.</b>	<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>91</b>
<b>VIII.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>99</b>

## *Índice de tablas*

	Página
Tabla 1: Superficie de la Reserva de Biosfera Huascarán.....	7
Tabla 2: Partículas primarias del suelo y su diámetro .....	13
Tabla 3: Comparación de propiedades del suelo según su textura.....	14
Tabla 4: Materiales de campo 1 .....	33
Tabla 5: Materiales de laboratorio para la determinación de Biomasa seca de hojarasca .....	34
Tabla 6: Materiales campo 2 .....	34
Tabla 7: Zonas de vida de Holdridge para las áreas de estudio.....	37
Tabla 8: Coordenadas UTM de las parcelas del BSM_11 y número de individuos...	43
Tabla 9: Coordenadas UTM de las parcelas del BM_11 y número de individuos ....	45
Tabla 10: Coordenadas UTM de las parcelas del BP_29 y número de individuos .....	46
Tabla 11: Coordenadas UTM de las parcelas del BP_29 .....	49
Tabla 12: Tabla resumen de las áreas evaluadas .....	50
Tabla 13: Resultados de humedad inicial del suelo por método de bloques de yeso ...	63
Tabla 14: Colores representativos de los horizontes del suelo.....	64
Tabla 15: Descripción de capas en el perfil del suelo.....	65
Tabla 16: Características físicas y químicas del suelo, de las áreas evaluadas.....	66
Tabla 17: Características texturales de los suelos evaluados .....	67
Tabla 18: Registro las características de pH de suelos evaluados.....	67
Tabla 19: Registro de las características de materia orgánica de los suelos evaluados.	68
Tabla 20: Densidad aparente de los suelos evaluados .....	69
Tabla 21: Resultado de la masa de hojarasca de las áreas de estudio .....	70
Tabla 22: Velocidad de infiltración instantánea (cm/h) para las áreas evaluadas .....	72
Tabla 23: Promedio de la velocidad de infiltración instantánea (cm/h) en tiempo parciales .....	73
Tabla 24: Velocidad de infiltración acumulada (cm/h) de las áreas evaluadas .....	76
Tabla 25: Lámina acumulada infiltrada (cm) de las áreas evaluadas.....	79

## Índice de figuras

	Página
Figura 1:	Clasificación de los suelos por su pH. .... 18
Figura 2:	Diferentes formas de expresar la infiltración de un suelo. .... 29
Figura 3:	A) Vista frontal del funcionamiento del doble anillo B) Instalación de los cilindros infiltrómetros en campo. .... 31
Figura 4:	Mapa de ubicación de las áreas estudiadas. .... 35
Figura 5:	Temperatura mínima de la estación Quilcayhuanca – UNASAM. .... 36
Figura 6:	Temperatura máxima de la estación Quilcayhuanca - UNASAM. .... 36
Figura 7:	Precipitación Mensual de la Estación Quilcayhuanca - UNASAM. .... 37
Figura 8:	A) Zona de estudio B) Estación meteorológica C) Camas a raíz desnuda de <i>Polylepis spp.</i> ..... 40
Figura 9:	A) Quebrada Quilcayhuanca B) Estación de control del SERNANP C) Rio Quilcayhuanca. .... 41
Figura 10:	Mapa de distribución de las parcelas en las áreas evaluadas. .... 41
Figura 11:	Parcelas de la plantación con <i>Polylepis racemosa</i> sin manejo. .... 42
Figura 12:	Mapa de ubicación de las parcelas del BSM_11. .... 43
Figura 13:	Parcela de Bosque plantado con <i>Polylepis racemosa</i> , de manejo de 11 años. .... 44
Figura 14:	Mapa de las parcelas de BM_11. .... 45
Figura 15:	Parcela de Bosque plantado con <i>Polylepis sp.</i> , de 29 años. .... 46
Figura 16:	Mapa de ubicación de las parcelas del BP_29. .... 47
Figura 17:	A) Área Testigo B) Delimitación de parcelas Testigo C) Capa superficial del suelo Testigo. .... 48
Figura 18:	Mapa de ubicación de las parcelas Testigo. .... 49
Figura 19:	Distribución de la toma de submuestras de suelo. .... 50
Figura 20:	A) Retiro de la hojarasca y capa superficial B) Obtención de la submuestra. .... 51
Figura 21:	A) Mezcla homogénea de las submuestras B) Selección de una porción de suelo. .... 51
Figura 22:	A) Limpieza de la superficie B) Formación C) Medida e identificación de colores. .... 52
Figura 23:	Secado de muestras de suelo para la identificación del color. .... 53
Figura 24:	A) Instalación de la cuadrícula de 0,25 m <sup>2</sup> B) Disgregación de muestras C) Embolsado y etiquetado. .... 54

Figura 25:	A) Peso de muestras de hojarasca B) Secado de muestras, por 75 horas.....	55
Figura 26:	A) Formación de hoyos B) Profundidad del hoyo C) Instalación de los bloques de yeso. ....	56
Figura 27:	A) Cerrado de los hoyos B) Lectura de la humedad C) Retiro de los yesos.	57
Figura 28:	A) lectura en metros versus tensión de la humedad del suelo y resistencia eléctrica B) Humedad del suelo disponible. ....	57
Figura 29:	Puntos donde se tomó la infiltración en cada área evaluada.....	58
Figura 30:	A) Instalación de los cilindros B) Instalación de la regla graduada. ....	59
Figura 31:	A) Instalación de plástico B) Llenado de agua en el cilindro de menor diámetro C) Llenado de agua en cilindro de mayor diámetro. ....	59
Figura 32:	A) Toma de medida del descenso de agua B) Retiro de los cilindros infiltrómetros. ....	60
Figura 33:	Toma de muestra mediante el uso del cilindro metálico.....	61
Figura 34:	Contenido de Biomasa seca de hojarasca. ....	71
Figura 35:	Velocidad de infiltración instantánea de tres tipos de bosques plantados y área Testigo. ....	74
Figura 36:	Gráfica de dispersión de la velocidad de infiltración instantánea en las áreas de estudio. ....	75
Figura 37:	Velocidad de infiltración acumulada para las áreas evaluadas. ....	77
Figura 38:	Velocidad de infiltración acumulada de las áreas evaluadas. ....	77
Figura 39:	Histogramas de frecuencias de los bosques plantados con <i>Polylepis spp.</i> , y área Testigo. ....	78
Figura 40:	Gráfico de dispersión de datos de la lámina infiltrada, en las áreas evaluadas. ....	80
Figura 41:	Gráfica de dispersión de datos de la lámina infiltrada, para las áreas evaluadas ....	81
Figura 42:	Diagrama de Cajas o Boxplot de velocidad de infiltración acumulada en las áreas de estudio.....	84
Figura 43:	Diagrama de Cajas o Boxplot de la lámina infiltrada acumulada en las áreas de estudio.....	85

## Índice de anexos

	Página
ANEXO 1 .....	100
CARTILLA DE LA INFILTRACIÓN DE LAS PARCELAS EVALUADAS .....	100
ANEXO 2 .....	111
GRAFICAS DE DISPERSION DE DATOS DE LA INFILTRACIÓN DE LAS PARCELAS EVALUADAS.....	111
ANEXO 3 .....	113
RESULTADOS DE HUMEDAD INICIAL DEL SUELO, DE LAS PARCELAS EVALUADAS.....	113
ANEXO 4 .....	114
RESULTADOS DE LA BIOMASA SECA DE HOJARASCA, PRESENTE EN LAS PARCELAS EVALUADAS .....	114
ANEXO 5 .....	115
PRUEBAS ESTADÍSTICAS.....	115
RESUMEN DEL PROCESAMIENTOS DE LOS CASOS DE LOS BOSQUES PLANTADOS CON <i>POLYLEPIS SPP</i> Y ÁREA TESTIGO.....	115
PRUEBAS DE NORMALIDAD DE LA VELOCIDAD, PARA LOS BOSQUES PLANTADOS CON <i>POLYLEPIS SPP</i> Y ÁREA TESTIGO.....	115
RELACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LA VELOCIDAD, PARA LOS BOSQUES PLANTADOS CON <i>POLYLEPIS SPP</i> Y ÁREA TESTIGO .....	116
ESTADÍSTICOS DE GRUPO, PARA LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN, DEL TESTIGO Y LAS PLANTACIONES CON <i>POLYLEPIS SPP</i> .....	116
PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN ACUMULADA EN BOSQUES PLANTADOS CON <i>POLYLEPIS SPP</i> Y ÁREA TESTIGO .....	116
PRUEBA T-STUDENT PARA LA PARCELA TESTIGO Y EL BP_29.....	117
PRUEBA T-STUDENT PARA EL TESTIGO Y EL BM_11 .....	118
PRUEBA T-STUDENT PARA EL TESTIGO Y EL BSM_11.....	119
PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE LA LÁMINA INFILTRADA ACUMULADA EN BOSQUES PLANTADOS CON <i>POLYLEPIS SPP</i> Y ÁREA TESTIGO.....	119
RELACIÓN DE LA NORMALIDAD PARA LOS BOSQUES PLANTADOS CON <i>POLYLEPIS SPP</i> Y ÁREA TESTIGO .....	120
ESTADÍSTICOS DE GRUPO DEL TESTIGO Y LAS PLANTACIONES CON <i>POLYLEPIS SPP</i> .....	120
PRUEBA T-STUDENT PARA EL TESTIGO Y EL BP_29.....	121
PRUEBA T-STUDENT PARA EL TESTIGO Y EL BM_11 .....	122
PRUEBA T-STUDENT PARA EL TESTIGO Y EL BSM_11.....	123

## ABREVIATURAS

<b>ANP</b>	Área Natural Protegida
<b>BSM_11</b>	Bosque plantado con <i>Polylepis racemosa</i> manejado, de 11 años.
<b>BSM_11</b>	Bosque plantado con <i>Polylepis racemosa</i> sin manejo, de 11 años.
<b>BP_29</b>	Bosque plantado de <i>Polylepis spp.</i> , de 29 años.
<b>DRNR</b>	Dirección de Recursos Naturales Renovables.
<b>ECOAN</b>	Asociación Ecosistemas Andinos.
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
<b>PDANP</b>	Plan Director de Áreas Naturales Protegidas.
<b>PNH</b>	Parque Nacional Huascarán.
<b>UNALM</b>	Universidad Nacional Agraria La Molina.
<b>UNASAM</b>	Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
<b>UNESCO</b>	Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
<b>T</b>	Área Testigo.

## I. INTRODUCCIÓN

El género *Polylepis* se encuentra en los bosques montanos y altoandinos de la cordillera de los Andes, distribuidos desde Venezuela hasta el norte de Chile y Argentina. Se han reportado a la fecha 19 especies de *Polylepis* para el Perú, de las 27 especies que se encuentran en todos los Andes. La mayor diversidad de especies se encuentra en el rango de 3000 a 4000 metros de altitud (Mendoza, 2012). Sin embargo, durante milenios las actividades humanas en los Andes han destruido a más del 95% de estos bosques, restringiéndolos a hábitats especiales y modificando su composición florística y faunística (Kessler, 2006).

Ecológicamente los bosques de *Polylepis spp.*, funcionan como depósitos de agua, almacenando una gran cantidad de humedad proveniente de la lluvia y de las densas nieblas a las que están sometidas, sin embargo existen lugares donde la precipitación y la niebla son escasas, en esta situación el bosque depende de la humedad disponible en el período de lluvias y eventualmente de acuíferos (ECOAN, 2007).

Otra función que desempeñan es el de protección del suelo contra el proceso de erosión, rol que viene siendo afectado debido a la presión antrópica, el efecto directo en el suelo se refleja en la pérdida de la capacidad de retención, si a esto se añade el calentamiento global cuya evidencia real es el retroceso glaciar, es cada vez es más creciente la escasez de agua y la generación de conflictos social por el agua y la minería (PNH, 2011).

Estos bosques naturales de *Polylepis*, son considerados básicamente de protección estricta; por ser ecosistemas que albergan especies singulares de la biodiversidad que en ellas se sostienen. En el país, son parte del entorno, paisaje y generación de ingresos en la zona altoandina, básicamente producto del pastoreo de ganado ovino, vacuno, camélidos (PNH, 2011).

Ocaña (2014) Menciona, que los bosques altoandinos, específicamente en el Parque Nacional Huascarán, se encuentran en deterioro por la tala indiscriminada del recurso forestal, sin su reposición; lo que ha llevado a una limitada cobertura vegetal y como consecuencia a la degradación del suelo, así como la pérdida de la biodiversidad. Por otra parte la zona

altoandina, se encuentra en situación de pobre a muy pobre, producto de un sobrepastoreo que lleva a la erosión de los suelos con poca capacidad de retención de agua por falta de cobertura tanto en el estrato bajo (pradera nativa) medio (arbusto) y alto (árboles).

Debido a la importancia que tienen los bosques de *Polylepis* en el ciclo hidrológico, biodiversidad y la conservación del suelo, el Parque Nacional Huascarán, en coordinación con la Dirección de Investigación Forestal del Instituto Nacional Forestal sede Ancash, inicia en el año 1985, la implementación del proyecto de plantaciones con *Polylepis weberbaueri*, *Polylepis incana* y *Polylepis racemosa*, con el objetivo de recuperación y protección del ecosistema de la quebrada Quilcayhuanca (Ocaña, 2014).

Posteriormente en el año 2003, se reajusta el objetivo del proyecto, incorporando además plantaciones densas de *Polylepis racemosa*, con distanciamiento entre planta a planta de 1 m por 1 m, con el objetivo de obtener beneficios ambientales y económicos a la población local. La investigación proponía hacer un manejo silvicultural, raleo y poda a partir del quinto año de la plantación y llevar un registro de los efectos en la recuperación de la pradera; capacidad de retención de humedad en el suelo, recuperación del suelo, crecimiento de especies forrajeras en comparación de áreas de pradera similares pero que no han sido forestadas.

El primer tratamiento sería raleo de plantas para dejarlos con un distanciamiento de 2 m por 2 m, con el segundo tratamiento tendrían un distanciamiento entre ellas de 3 m por 3 m, y con el tercer tratamiento se dejaría a un distanciamiento entre plantas de 4 m por 4 m. La hipótesis es que con la aplicación de este manejo se logre dar condiciones favorables para el crecimiento y desarrollo del pastizal aptas para el consumo animal, luego los resultados serían comparados con el testigo (parcelas sin plantación). (Ocaña, 2014).

El proceso de infiltración es un componente importante dentro del ciclo hidrológico y se define como el flujo de agua a través de la superficie del suelo, interviniendo para ello factores como: la textura y estructura del suelo, el grado de compactación, la cubierta vegetal, el contenido de humedad, la densidad aparente, presencia de materia orgánica, entre otros.

En el ámbito nacional y local son muy pocas las evaluaciones que se han realizado, de las tasa de infiltración de agua, a pesar de que la generación de esta información es muy valiosa para plantear y recomendar usos con fines de recarga hídrica, tecnificación de riego, incorporación de enmiendas al suelo y tipo de cubierta vegetal que se debe realizar, posiblemente debido a

que la medición directa de la infiltración es una tarea muy compleja, por ser laboriosa, lenta y muchas veces costosa. (Guillermo et al., 2014).

La siguiente investigación se realizó, con la finalidad de contribuir en la generación de conocimiento a través de los siguientes objetivos: determinar la influencia de los bosques plantados de *Polylepis spp.*, de 11 y 29 años en el proceso de infiltración; calcular la tasa de infiltración a través de los cilindros infiltrómetros; realizar la caracterización del suelo, a través de calicatas y análisis de muestras en laboratorio; y determinar el grado de descomposición de las hojarascas en las tres condiciones de Bosque (BP\_29, BSM\_11, BM\_11).



## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 1. EL PARQUE NACIONAL HUASCARÁN (PNH)

El Parque Nacional Huascarán, integrante del Sistema Nacional de Áreas Protegidas por el Estado (SINAMPE), fue creado el 1 de julio de 1975 mediante D.S. No. 0622-75-AG con la finalidad de proteger la Cordillera Blanca, considerada la cadena de montañas tropical más extensa del mundo. El Parque abarca una extensión de 340,000 hectáreas y cuenta con un perímetro de 431,424 metros lineales y un ancho promedio de 20 km., comprende parte de las provincias de Huaylas, Yungay, Carhuaz, Huaraz, Recuay, Bolognesi, Huari, Asunción, Mariscal de Luzuriaga y Pomabamba, en el departamento de Ancash (PNH, 2011).

En la parte considerativa del Decreto Supremo N° 0622-75-AG del 1 de julio de 1975 se indican los objetivos de creación del PNH:

«Que, por los estudios realizados por la Dirección General Forestal y de Fauna y por la Zona Agraria III-Huaraz, se ha determinado la necesidad de establecer un Parque Nacional en la Cordillera Blanca, considerando que es la cordillera tropical más extensa del mundo y posee gran riqueza de flora y fauna, formaciones geológicas, nevados y bellezas escénicas.»

«Que, los variados ecosistemas de la Cordillera Blanca deben ser conservados por el Estado ya que constituyen patrimonio natural, científico y cultural de la Nación.»

«Que asimismo, en la Cordillera Blanca se encuentran monumentos arqueológicos que dan testimonio del magnífico pasado histórico del Perú.»

«Que el establecimiento del Parque Nacional en la zona citada permitirá desarrollar actividades de turismo que redundará directamente en beneficio socio-económico del poblador local.»

El Parque Nacional Huascarán, presenta una superficie predominantemente de pastizal (41,50 %) que alterna con fuertes pendientes con proyecciones de zonas rocosas (34,55 %). Destacan también los bosques nativos, principalmente de *Polylepis spp.*, (3,40%) y los matorrales (20,65 %), entre los que se desarrolla una biodiversidad muy singular y de importancia, como:

plantas alimenticias, orquídeas, avifauna, venados, tarucas y otros mamíferos de importancia (UNESCO, 2011).

En el PNH se encuentran una diversidad de especies de flora y fauna: Población de vicuña (*Vicugna vicugna*); población de oso de anteojos (*Tremarctos ornatus*) y de cóndor andino (*Vultur gryphus*); bosques relictos de puyas (*Puya raimondi*), queñual (*Polylepis spp*) y quisuar (*Buddleia coreacea*). Otras especies de importancia son el venado gris (*Odocoileus virginianus*), el puma (*Puma concolor incarum*), la vizcacha (*Lagidium peruanum*), el zorro andino (*Pseudalopex culpaeus*), entre otros.

PNH está sujeto a una serie de amenazas que lo ponen en situación vulnerable, entre las cuales destacan la pérdida de cobertura vegetal, presencia de ganado en su interior, presión del turismo, actividades mineras, caza furtiva, proyectos de hidroenergía, limitaciones en la gestión del área y la reducción de glaciares por efecto del calentamiento global (PNH, 2011).

### **1.1. EL PNH EN EL CONTEXTO INSTITUCIONAL INTERNACIONAL**

**Reserva de Biosfera Huascarán:** El Parque Nacional Huascarán y su entorno mantienen características excepcionales tanto biológicas, paisajísticas, sociales y culturales, lo que le ha hecho merecedor a ser reconocido como Reserva de Biosfera por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) el 01 de marzo de 1977, cuyo objetivo principal es la conservación del capital genético vegetal y animal que poseen, así como crear espacios para la investigación, monitoreo, capacitación y entrenamiento de especialistas. La Reserva de Biosfera Huascarán abarca el parque y su zona de amortiguamiento, que incluye varios poblados y asentamientos rurales (PNH, 2011).

“Las Reservas de Biosfera son ecosistemas terrestres o marinos, o una combinación de ambos, reconocidos internacionalmente por la UNESCO en el marco del Programa sobre el Hombre y la Biosfera (MAB). En tal sentido, deben satisfacer una serie de criterios y cumplir un mínimo de condiciones para ser reconocidos como parte integrante de la Red Internacional de Reservas de Biosfera” (PDANP, 2009; citado por PNH, 2011).

Tabla 1: **Superficie de la Reserva de Biosfera Huascarán**

<b>zonas</b>	<b>Hectáreas</b>	<b>% Respecto al área de la región Ancash</b>
<b>Núcleo (PNH)</b>	340, 000	10%
<b>Zona de amortiguamiento</b>	170, 200	5%
<b>Zona de Transición</b>	645, 600	18%
<b>Total</b>	1 155, 800	32%

FUENTE: SERNANP – PNH, 2009.

**Patrimonio Natural de la Humanidad:** Importante reconocimiento que le fue conferido el 14 de diciembre de 1985 por la UNESCO bajo el concepto de conservar y dar a conocer la importancia natural tan excepcional de este espacio andino y que debe asegurarse su conservación como herencia común de la humanidad.

“Los Sitios del Patrimonio Mundial son aquellos lugares que constituyen ejemplos sobresalientes, únicos e irremplazables de la diversidad biológica y la riqueza natural del mundo, por tanto tienen valor universal excepcional y pertenece a todos los pueblos del mundo, sin perjuicio de la soberanía del país y de los derechos previstos en la legislación nacional vigente; por tanto, merecen una protección especial contra los peligros crecientes que los amenazan. Por ello son incluidos en la Lista del Patrimonio Mundial establecida en el marco de la Convención para la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural” (PDANP, 2009; citado por PNH, 2011).

## **2. FUNCIONAMIENTO Y SERVICIOS AMBIENTALES DE LOS BOSQUES**

La cobertura forestal es de vital importancia para captación de agua y el buen funcionamiento de los sistemas ecológicos del mundo. Esta cobertura es la que alberga una enorme cantidad de biodiversidad de especies de flora y fauna y es la que protege y preserva a las cuencas hidrográficas por su capacidad de retener y proveer agua de alta calidad, haciendo del ecosistema un recurso natural interesante y atractivo (Price, 1998; citado por Peraza, 2009).

Los bosques regulan el ciclo hidrológico, eso se produce cuando el ecosistema almacena agua en los periodos lluviosos y la libera lentamente en los periodos secos o de estiaje. Es decir, el ecosistema proporciona un balance natural entre caudales de época lluviosa con caudales de

época seca. Así mismo, los caudales de crecida estarán controlados hasta un cierto grado. Por esto se puede decir que al mantener un ecosistema natural todos los servicios hidrológicos están en equilibrio (Célleri, 2009)

Las plantas y su mantillo protegen el suelo de la fuerza destructiva de las gotas de lluvia y lo mantienen en su lugar. Cuando los paisajes son deforestados, la lluvia compacta la superficie y convierte rápidamente el suelo en barro. El barro tapa los poros del suelo, reduce la infiltración del agua y aumenta el escurrimiento, acentuando aún más la obstrucción. Las partículas de suelo desprendidas son arrastradas pendientes abajo con el agua de escurrimiento. La erosión no sólo ocasiona costos en el sitio donde se pierde el suelo sino también en los sistemas acuáticos naturales y artificiales donde el barro se acumula. (Gretchen et al., 1997; citado por DRNR, 2011).

García et al., (2003) menciona que parte del agua de las lluvias que cae en un bosque es retenida temporalmente por las ramas y hojas de los árboles o arbustos, retornando a la atmósfera como vapor de agua, el resto alcanza el piso del suelo pasando directamente por los espacios vacíos de las copas de los árboles o escurre por los troncos.

## **2.1. VEGETACIÓN DE RIBERA**

La vegetación de ribera es capaz a través de su sistema radical, de modificar la composición química de las aguas que llegan al río. La tupida red de raíces de las plantas ribereñas absorbe los nutrientes disueltos en el agua para su propio beneficio y con ello disminuye la carga orgánica del ecosistema acuático, frenando los fenómenos de eutrofización” (Arcos y Messerli, 2008; citado por Peraza, 2009).

Esta vegetación, está conformado por una mezcla enmarañada de hierbas, arbustos y árboles, cuya función primordial consiste en controlar la calidad y el volumen de agua. Esta vegetación protege las orillas, la abundancia de sus raíces estructura el suelo, lo airea e impide los desprendimientos (Beauford, 2003).

Los bosques ribereños, sirven como una barrera contra los sedimentos, ya que tienen la capacidad de retenerlos y evitar que lleguen a las fuentes de agua. Esto se debe a la rugosidad y a la resistencia de la cobertura vegetal, muchas especies que sirven como filtros por su capacidad radicular. “El nitrógeno en el escurrimiento del agua subterránea superficial puede ser reducido en un 80% después de pasar por un bosque ribereño” (Ceccon, 2003; citado por Pedraza, 2009).

## **2.2. IMPORTANCIA DE LA CONSERVACIÓN DEL AGUA, SUELO Y BOSQUE**

Para entender la importancia de este trinomio, cabe resaltar que los suelos de bosques y selvas absorben cuatro veces más el agua de lluvia si se compara con suelo cubierto por pastos naturales o cultivados y 18 veces más lo que absorben, respecto a un suelo desnudo. Los bosques son los ecosistemas que más agua producen, siendo este el líquido conductor, regulador y portador de la vida, a medida que se pierden los bosques se disminuye la capacidad de captura de agua (Peraza, 2009).

Existe una correlación positiva a mayor cubierta vegetal (bosques, selvas), mayor presencia de lluvia, cuando se condensa la humedad (baja altura), como sucede en zonas boscosas y selváticas, se incrementa la precipitación si se compara con una zona deforestada donde las nubes se forman a mayor altura y son movidas por el viento, lo que modifica la precipitación en la zona (Peraza, 2009).

El suelo tiene capacidad para almacenar agua dependiente de las características del mismo, tales como su textura y estructura, contenido de materia orgánica, profundidad del perfil hasta un máximo en cada tipo de suelo que es conocido como la capacidad de campo (CC). Al finalizar la época lluviosa generalmente el almacenamiento está cercano al máximo, y durante el verano o en las épocas de sequía evoluciona al mínimo (Pérez, 2007).

El agua de lluvia que cae sobre el terreno es absorbida por el suelo y luego entregada gradualmente a las raíces de las plantas o a los acuíferos y arroyos superficiales. De esta manera el suelo retrasa la fuerte corriente de agua que de otro modo produciría inundaciones o aluviones (Gretchen et al., 1997; citado por DRNR, 2011).

En condiciones de precipitaciones abundantes, y cuando el suelo es incapaz de infiltrar parcial o totalmente las lluvias, se produce la escorrentía o drenaje externo, desplazándose el agua por encima de la superficie del suelo hacia las depresiones del relieve, y luego a los cursos más significativos, riachuelos, arroyos, ríos. La escorrentía dependerá del tipo de suelo, de la cubierta vegetal que tenga ese suelo, del relieve, de la intensidad de las precipitaciones, entre otros (Pérez, 2007).

### **3. ECOLOGÍA DE LOS BOSQUES DE *POLYLEPIS***

El género *Polylepis* generalmente se encuentra distribuido en el Perú entre los 2800 a los 4800 msnm. Es una de las pocas especies forestales de tipo arbóreo que se encuentran en la puna, a veces cerca de las nieves perpetuas de la cordillera de los Andes, marcando así el límite absoluto de la altitud en la distribución de las especies altoandinas. En consecuencia, es capaz de continuar su función biológica a temperatura tan baja como 4°C en el suelo. Por lo general vive en laderas poco expuestas, con presencia de neblina. En el caso de bosques residuales lo usual es que sean masas puras y ocupen suelos con alto contenido de materia orgánica formada de los mismos árboles. Su rango de precipitación es bastante amplio; desde 250 hasta 2000 mm anuales distribuidos durante 6-7 meses, lo que significa que el género *Polylepis* es bastante resistente a la sequía (Lao et al., 1990).

Los suelos en el cual se desarrolla este género pueden ser superficiales con afloramiento de roca, en laderas pedregosas protegidas, hasta en fondo de valles y quebradas que son profundos. Se desarrolla en suelos residuales a partir de areniscas, de topografía quebrada. Su rusticidad es tal que puede llegar a crecer hasta en las grietas de las rocas. Prefiere suelos ligeramente ácidos y de textura media (León, 2009).

#### **3.1. CARACTERÍSTICAS VEGETATIVAS Y DISTRIBUCION DEL *POLYLEPIS RACEMOSA***

Según Reynel y Felipe-Morales (1987) *Polylepis racemosa*, es una especie de crecimiento rápido que alcanza 12 m de altura, posee ramas gruesas con corteza exfoliante en láminas *Papironaceas* rojizas. Los peciolos de sus hojas son de 1,5-2 cm de largo, posee tres pares de foliolos escasamente coriáceos anchamente lanceolados, con margen entero, haz glabro o brillante, en envés con varios tipos de indumento, los foliolos son aproximadamente de 3 cm y 1,5 de largo y ancho respectivamente. Tiene flores en racimos de aproximadamente 10 cm a más de largo con pocas flores, el raquis es cortante piloso, las brácteas son lanceoladas, largamente acuminados, tiene sépalos verduzcos desiguales, pétalos ausentes, estambres de 10 a 20 y tiene ovario supero. Así mismo, tiene frutos de forma cónica pubescentes de color verdoso, cada uno de los cuatro ángulos termina en una espina corta.

Está distribuida desde los 2900 – 4000 metros de altitud en los departamentos de Ancash, Apurímac, Ayacucho, Cajamarca, Cusco, Huánuco, Junín, La Libertad, Lima y Pasco, esta especie es endémica del Perú: sin embargo ha sido introducida a Ecuador, esta especie ha sido

muy utilizada en los programas de reforestación en los andes del Perú. Se encuentran protegidos dentro del PNH (Mendoza, 2012).

### **3.2. IMPORTANCIA DE LOS BOSQUES DE *POLYLEPIS***

Los bosques de *Polylepis* con su limitada extensión actual juegan un rol importante en los ecosistemas altoandinos, estos bosques que están localizadas en áreas de frecuente neblina son especialmente importantes para las formaciones de suelos por que albergan gran cantidad de humedad. Estas zonas como receptoras de lluvias captan agua y a veces más la presencia de Bofedales hace de estos lugares fuentes de importantes para la producción de agua. La desaparición de los rodales de *Polylepis* puede causar problemas como son la alteración del microclima y del régimen hídrico, erosión y sedimentación (Arce y Toivonen, 2002).

Estos bosques proporcionan una cobertura protectora compuesta por el dosel foliar, arbustos bajos, hierbas y restos superficiales, los que se combinan para proteger la superficie del suelo de la pérdida de porosidad causada por el impacto directo de la lluvia. Los residuos también sirven como fuente de alimentos y energía a los organismos del suelo, lo cual favorece la formación de materia orgánica y canales subterráneos de la fauna que conducen a altas tasas de infiltración (Shaxson y Barber, 2005).

Además, mantienen numerosas plantas silvestres de importancia económico-social, como las plantas medicinales y arbustos aromáticos que pueden ser cosechados. El dosel del bosque reduce la radicación nocturna manteniendo el interior de los bosques más cálido y libre de heladas. Además son hábitat y refugio de muchas especies de fauna como aves, pequeños mamíferos e insectos (Fjeldsa y Kessler; 1996; citado por Palabral, 2012).

Debido a la importante extensión vertical que tiene el sistema radicular de los árboles, les permite aprovechar el agua edáfica hasta una mayor profundidad que los otros vegetales. Esta característica aumenta la transpiración, porque los mayores consumos de agua se registran en cubiertas vegetales que tienen un sistema radicular más profundo y mejor desarrollado (Kramer 1974, Le 1980; citado por Antonio, 2007).

### **3.3. AMENAZAS DE LOS BOSQUES *POLYLEPIS***

Entre las principales amenazas identificadas están: deforestación para agricultura y pastoreo, tala de árboles y arbustos para leña y la producción de carbón vegetal, ramoneo y pisoteo por ganado, propagación incontrolada de quemas de pajonales por el uso regular del fuego para estimular el rebrote de los pastos, apertura de carreteras en áreas cercanas a los bosques y

plagas y enfermedades, los cuales podría provocar la extinción de especies de flora y fauna que se encuentran asociadas a estos bosques (Fjeldsa y Kessler 1996; citado por Palabral, 2012).

La quema de pastizales se da para incentivar el rebrote, pero esta una actividad poco rentable a largo plazo, ya que produce una declinación en la calidad de los pastizales; además, causa grandes pérdidas dejando solamente remantes de bosques (Fjeldsa y Kessler, 2004; citado por Palabral, 2012).

Los árboles maduros de *Polylepis* generalmente sobreviven a las quemadas de los pastos que crecen debajo, pero no ocurre lo mismo con las plántulas y árboles juveniles de *Polylepis*, los cuales mueren. Como resultado de quemadas frecuentes, hay menor regeneración de los bosques, y en el transcurso del tiempo los bosques podrían desaparecer (Kessler y Driesch, 1993; citado por Palabral, 2012).

Como consecuencia de estas actividades, la extensión de los bosques de *Polylepis* se ha reducido, ha disminuido su regeneración y se han producido cambios en la estructura y composición de las especies de la vegetación asociada (Fjeldsa y Kessler, 1996; citado por Palabral, 2012).

## **4. SUELOS**

La calidad del suelo es la habilidad o capacidad del mismo para cumplir varias funciones y se puede representar por una serie de propiedades físicas, químicas y biológicas que a su vez promueven un medio para el crecimiento de las plantas y para la actividad biológica, regulan el flujo y el almacenamiento del agua en el ambiente y sirven como buffer en la formación y destrucción de compuestos ambientalmente riesgosos (Wilson et al., 2008; citado por Jamioy, 2011).

### **4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS**

#### **4.1.1. TEXTURA**

La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla. Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Rucks et al., 2004).

Tabla 2: **Partículas primarias del suelo y su diámetro**

<b>Partícula</b>	<b>Diámetro (mm)</b>
<b>Arena</b>	0,02 – 2,0
<b>Arena fina</b>	0,05 – 0,5
<b>Arena gruesa</b>	0,5-0,2
<b>Limo</b>	0,002 – 0,05
<b>Arcilla</b>	< 0,002

*FUENTE: Antonio, 2007.*

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 (Antonio, 2007).

También Antonio (2007) sostiene que la textura de un suelo afecta en gran medida a su productividad. Los suelos con un porcentaje muy elevado de arena pueden almacenar poca agua y pierden grandes cantidades de minerales nutrientes por lixiviación hacia el subsuelo. Los suelos que contienen una proporción mayor de partículas pequeñas, por ejemplo las arcillas y los limos, son depósitos excelentes de agua y encierran minerales que pueden ser utilizados con facilidad. Sin embargo, los suelos muy arcillosos tienden a contener un exceso de agua y tienen una textura arcillo-limoso que los hace resistentes al cultivo y que impide, con frecuencia una aireación suficiente para el crecimiento normal de las plantas.

Tabla 3: Comparación de propiedades del suelo según su textura

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

FUENTE: Reyes, 2009.

#### 4.1.2. ESTRUCTURA

Se define como el arreglo de las partículas del suelo. Las partículas, no solo son las fracciones granulométricas (arena, arcilla y limo), sino también los agregados o elementos estructurales que se forman por la agregación de las fracciones granulométricas, por lo tanto, «partícula» designa a toda unidad componente del suelo, ya sea primaria (arena, limo, arcilla) o secundaria (agregado o unidad estructural) (Rucks et al., 2004).

Las partículas del suelo no se encuentran aisladas, forman unos agregados estructurales que se llaman peds, estos agregados (o terrones) por repetición dan el suelo. Los agregados están formados por partículas individuales (minerales, materia orgánica y huecos) y le confieren al suelo una determinada estructura (Ipial, 2013).

El arreglo entre las partículas del suelo, determina el espacio entre las mismas, que son predominantemente macroporosos. Según el nivel de observación, se puede hablar de macroestructura o microestructura. La macroestructura, es el arreglo de las partículas secundarias y primarias visibles a simple vista. La microestructura es el arreglo de las partículas primarias para formar las secundarias; de ella depende en alto grado la

macroestructura. Al atender a la microestructura, se observa que los componentes coloidales del suelo (plasma) actúan como cemento de los granos más gruesos (esqueleto) (Rucks et al, 2004).

Honorato (2000) menciona los siguientes tipos de estructura: granular, prismático, masiva, grano suelto, blocosa y Láminar; también indica 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 Láminares y masivos tienen baja velocidad de infiltración.

#### **4.1.3. DENSIDAD APARENTE**

Es la relación entre el peso en gramos del suelo seco en la estufa y el volumen en centímetros cúbicos que ocupa el mismo suelo. La densidad aparente varía con el contenido de espacios porosos, si disminuye el espacio poroso, la densidad aumenta (Zavaleta, 1992).

Gutiérrez (2010) menciona que los valores que puede tomar la densidad aparente dependen de muchos factores, incluyendo la textura e estructura y contenido de materia orgánica del suelo, así como del manejo del mismo. En contraste con la densidad real, que es más o menos constante, la densidad aparente es altamente variable debido a variaciones en la cantidad y calidad del espacio poroso. Los suelos de textura fina, bien estructurados y con altos contenidos de materia orgánica presentan valores más bajos de densidad aparente que los suelos de textura gruesa, poco estructurados y con bajos contenidos de materia orgánica.

Los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las mismas. Los valores altos de densidad aparente son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y que las raíces tengan dificultades para elongarse y penetrar hasta alcanzar el agua y los nutrientes necesarios. En estas condiciones, el desarrollo y crecimiento de las plantas es impedido o retardado consistentemente (Donoso, 1992).

#### **4.1.4. HUMEDAD DEL SUELO**

Forsythe (1975) menciona que la humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas, tales como la densidad aparente, el espacio aéreo, la compactibilidad, la penetrabilidad, la consistencia, la succión total del agua y en color del suelo; además influye en algunas propiedades químicas y bioquímicas del suelo y en la actividad microbiana y también en el

crecimiento de las plantas. La humedad del suelo es muy dinámica y depende del clima, de las plantas, de la profundidad del suelo y de las características físicas del perfil.

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

#### **4.1.5. COLOR**

El color del suelo refleja la composición así como las condiciones pasadas y presentes de óxido-reducción del suelo. Está determinado generalmente por el revestimiento de partículas muy finas de materia orgánica humificada (oscuro), óxidos de fierro (amarillo, pardo, anaranjado y rojo), óxidos de manganeso (negro) y otros, o puede ser debido al color de la roca parental (FAO, 2009).

##### **a. Los elementos del color del suelo**

Rucks et al (2004) menciona que las principales sustancias que confieren al suelo su color son el humus, compuesto minerales como los óxidos, sulfuros, sulfatos, carbonatos. También los mismos autores describen lo siguiente:

- Los colores claros, es decir, el blanco y blancuzco, son debidos a la abundancia de minerales blancos o incoloros. Los minerales que tienden a provocar estas coloraciones claras son la sílice, el calcáreo en un grado elevado de pureza, el yeso, los cloruros o la arcilla, también desprovista de impurezas
- Los colores negros o pardo muy oscuro son provocados por el humus, manganeso, o por los sulfuros de hierro.
- Toda la gama de coloraciones que van por una parte; desde el rojo y a veces del granate, al beige, pasando por el amarillo, el anaranjado y el pardo, y por otra parte del gris al verde pasando por los diferentes matices del gris, son casi siempre debidas a los compuestos del hierro, sea que intervengan prácticamente solos, o que se asocien a otros elementos coloreados del suelo para dar el tinte resultante.

##### **b. color del suelo y su relación con la fertilidad**

Los suelos muestran gran variedad de aspectos, fertilidad y características químicas, que varían en función de los materiales minerales y orgánicos que lo forman. Antonio (2007) también describe lo siguiente:

- La regla general, aunque con excepciones, es que los suelos oscuros son más fértiles que los claros. La oscuridad suele ser resultado de la presencia de grandes cantidades de humus. A veces, sin embargo, los suelos oscuros o negros deben su tono a la materia mineral o a humedad excesiva. En estos casos, el color oscuro no es un indicador de fertilidad
- Los suelos rojos o castaño-rojizos suelen contener una gran proporción de óxidos de hierro (derivados de las rocas primigenias) que no han sido sometidos a humedad excesiva. Por tanto, el color rojo es, en general, un indicio de que el suelo está bien drenado, no es húmedo en exceso y es fértil.
- Los suelos amarillos o amarillentos tienen escasa fertilidad. Deben su color a óxidos de hierro que han reaccionado con agua e indican de este modo un terreno mal drenado. Los suelos grisáceos pueden tener deficiencias de hierro u oxígeno, o un exceso de sales alcalinas, como carbonato de calcio.

## **4.2. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS SUELOS**

Arias (2007) describe algunas de las principales propiedades químicas del suelo, como la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y aniónico (CIA), y el pH del suelo.

### **4.2.1. LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO**

Está regida principalmente por la cantidad y tipo de arcilla presente en un determinado suelo, así como la cantidad de materia orgánica descompuesta (humus), porque ambas partículas presentan cargas negativas que logran retener en ellas iones con cargas positivas (cationes).

### **4.2.2. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO ANIONICO**

Las arcillas tienen cargas electrostáticas negativas que absorben iones de la solución suelo (nutrientes disueltos e agua). Los iones se dividen en cationes los cuales tienen cargas positivas y aniones, que son las que tienen cargas negativas.

Los cationes pueden ser: potasio ( $K^+$ ), calcio ( $Ca^{++}$ ), magnesio ( $Mg^{++}$ ), hierro ( $Fe^{++}$  o  $Fe^{+++}$ ), aluminio ( $Al^{+++}$ ), entre otros. Los aniones pueden ser: Cloro ( $Cl_2$ ), sulfatos ( $SO_4$ )<sup>-2</sup>, carbonatos ( $CO_3$ )<sup>-</sup>, hidróxido ( $OH^-$ ), entre otros.

### **4.2.3. ACIDEZ DEL SUELO**

En el trópico predominan suelos ácidos. La reacción del suelo está en función con la concentración de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) y de iones de hidroxilos ( $OH^-$ ). Si hay mayor

concentración de iones de hidrógeno, se dice que la reacción es ácido, y si hay más iones hidroxilos, la reacción es alcalina; pero si la concentración de iones de  $H^+$  es igual a la de los iones  $OH^-$ , la reacción es neutra.

La acidez del suelo se representa como pH, p minúscula de potencial y H mayúscula del símbolo químico del hidrógeno. El valor del pH varía entre 0 y 14.

El pH del suelo también es un factor importante que condiciona la abundancia de las lombrices de tierra. La población de lombrices es escasa en pH inferiores a 4.0, siendo que la mayoría de las lombrices prefieren un pH de 6 a 7 (Burns y Martin, 1986; citado por Isos, 2003). Estas lombrices mejoran las propiedades químicas y biológicas al ingerir y mezclar con el suelo desechos de origen animal y vegetal que se incorporan a la materia orgánica del suelo distribuyéndolos a lo largo del perfil (Syers y Springett, 1984; citado por Isos, 2003).

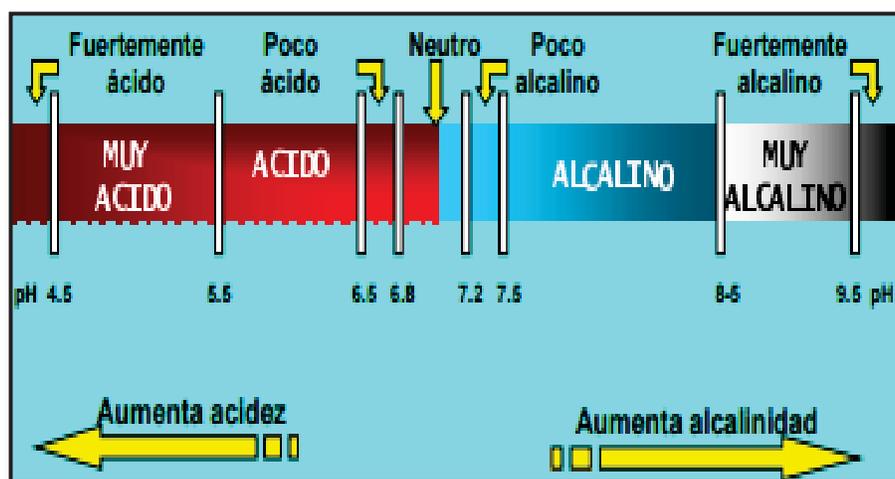


Figura 1: Clasificación de los suelos por su pH.

FUENTE: Biblioteca virtual de Ciencias (Ing. Javier Ávila Vega).

### 4.3. MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica se puede definir como la totalidad de las sustancias orgánicas presentes en el suelo, que proceden de restos de plantas (hojas, troncos, ramas, flores, frutos, semillas, material radicular) y animales en diferentes estados de descomposición, exudados radicales, aportes orgánicos externos (estiércol, compost) y productos xenobióticos; así como organismos edáficos y productos de su senescencia y metabolismo (Clark, 2001; Labrador, 1996).

El proceso de descomposición de la materia orgánica permite el ingreso de nutrientes al suelo, éste puede iniciarse inmediatamente, como también puede tardar años o siglos en descomponerse, dependiendo principalmente de los factores abióticos en un ecosistema (Evans, 2008).

La materia orgánica y la actividad biológica que esta genera tienen gran influencia sobre las propiedades químicas y físicas de los suelos. La agregación y la estabilidad estructural del suelo aumentan con el contenido de materia orgánica. Estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo así como la resistencia contra la erosión hídrica y eólica. La materia orgánica del suelo también mejora la dinámica y la biodisponibilidad de los principales nutrientes de las plantas (FAO, 2002).

El rol de la materia orgánica es fundamental en la protección del suelo y es, a su vez, indicador de la calidad del mismo al ser muy sensible a los cambios que se puedan producir (Carter, 2002; citado por Von, 2004). El contenido de materia orgánica del suelo disminuye la susceptibilidad a la formación de costras (Lado et al., 2000; citado por Von, 2004), tiene gran implicancia en la estructura del suelo ya que interviene como agente cementante en la formación de agregados estables, favorece la infiltración y permite controlar la lixiviación, erosión y disponibilidad de agua para las plantas (Six et al., 2002; citado por Von, 2004).

## **5. LA HOJARASCA**

Por hojarasca, Pedraza (1989) identifica a todo material orgánico muerto presente sobre el suelo mineral, compuesto por residuos vegetales en distinto grado de descomposición pero que siguen siendo reconocibles. Arévalo et al., (2000) menciona que la hojarasca incluye hojas, ramas, flores, frutos y semillas en diferentes estados de descomposición.

Sánchez et al., (2009) señala que la descomposición de la hojarasca constituye la vía principal de entrada de los nutrientes en el suelo y es uno de los puntos clave del reciclaje de materia orgánica, energía y nutrientes, pues su contenido depende del balance entre los procesos de acumulación y descomposición, lo cual está determinado por las características propias de cada lugar, teniendo en cuenta el uso anterior de la tierra, el grado o intensidad de la intervención así como también las características del suelo.

La hojarasca no solo juega un rol fundamental en el reciclado de los nutrientes (Martín et al., 1996; citado por Morellto et al. 2005) también, actúa como un estrato aislante protegiendo al

suelo de cambios extremos de temperatura y humedad, disminuyendo la erosión y favoreciendo la infiltración del agua (Schutz, 1990; citado por Morelto et al. 2005).

Su nombre se debe a que las hojas representan la mayor fracción, con valores porcentuales promedios de 50-60 %, mientras que las ramillas ocupan un 15-18 % y las partes reproductivas solo contribuyen con un 3,5-10 %. Cabe destacar que estas proporciones varían conforme la edad del sistema se va incrementando, pues la proporción de ramas tiende a incrementarse (Moraes, 2001).

El conjunto de hojas, ramillas, frutos y flores, llega a determinar la estabilidad y el funcionamiento del ecosistema, pues aunque las plantas extraigan algunos nutrientes de sus hojas antes de que mueran, la hojarasca constituye la fuente principal de circulación de materia orgánica, energía y nutrientes entre las plantas y el suelo; su contenido depende del balance entre los procesos de acumulación y descomposición, lo cual está determinado por la especie de planta, su composición química, entre otros factores (Sánchez et al.,2009).

## **6. EL AGUA EN EL SUELO**

El contenido de agua en el suelo es indispensable para la nutrición de las plantas y actúa como vehículo de los elementos nutritivos disueltos. Por otra parte, es uno de los principales condicionantes de los procesos de formación del suelo. Las fuentes principales que proveen de agua al suelo son las lluvias y la presencia de napas subterráneas (Dorrnsoro 2007; citado por Antonio, 2007).

El agua de escorrentía es la que circula sobre el suelo o en el interior de los horizontes superiores, paralelamente a la superficie. Se presenta por tanto en terrenos con pendiente y, en el caso de lluvias violentas, es causa de empobrecimiento de los suelos por arrastre de partículas finas y nutrientes. La cantidad de agua de lluvia que se infiltra está gobernada por las relaciones que se dan entre la intensidad de la lluvia y la tasa de infiltración del suelo. Cuando el agua que llega al suelo es mayor que la que puede infiltrar, tiene lugar la escorrentía con el consecuente desperdicio de agua y lavado del suelo (Antonio, 2007).

Cavelier, (1991); citado por Tobón et al., (2009) menciona que los suelos en los ecosistemas altoandinos son generalmente derivados de cenizas volcánicas y, como se ha dicho, son andisoles, caracterizados por un alto contenido de materia orgánica. Esto y la presencia de lluvia continua o niebla hacen que los suelos permanezcan húmedos (cerca de la saturación)

durante casi todo el año. Una vez que el agua infiltra la superficie del suelo, los flujos principales son:

- Drenaje vertical o percolación profunda: la excesiva agua en el suelo sale de la zona de raíces y fluye verticalmente hasta encontrar el nivel freático: este flujo alimenta quebradas y ríos y estabiliza su caudal, aun en períodos de sequía, cuando las reservas del agua del suelo disminuyen drásticamente.
- Drenaje horizontal o subsuperficial a través de la pendiente: en la alta montaña este proceso está condicionado especialmente por la superficialidad del estrato rocoso. Esta cantidad de agua sale rápidamente de los ecosistemas, bien sea durante los eventos de precipitación o algunas horas después de estos.
- Absorción de agua por las raíces de la vegetación y su intercambio con la atmósfera a través de la evapotranspiración: en la mayoría de los bosques andinos, la evapotranspiración es inferior a la de otros, debido a la frecuencia de nubes bajas o niebla, la baja radiación, las bajas temperaturas y la alta humedad relativa.

Velazco (1979) menciona que debido al campo gravitacional terrestre; el agua (como cualquier cosa sobre la superficie terrestre) tiene una tendencia natural a ser “jalada” hacia abajo en la dirección general al centro de la tierra. Esta fuerza no es la única que actúa sobre el agua en el perfil del suelo. El agua en la superficie del suelo, especialmente después del riego o lluvia, puede dejar el perfil por evaporación. Otra forma por la que el agua se mueve en el suelo es por la diferencia de presiones (del agua del suelo) entre dos puntos. El agua también se mueve como un resultado de la remoción de agua por las raíces.

Al movimiento del agua en la tierra, Prieto (2004) lo define como el orden de sucesión de los acontecimientos debidos al comportamiento del agua en la atmósfera, en la superficie del suelo y el subsuelo. Este movimiento del agua es influenciado por los suelos y la vegetación natural, ya que esta refleja todos los factores climáticos y edáficos.

## **7. EL CICLO HIDROLÓGICO**

Es la sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera 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 (Campos, 1998).

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento) (Campos, 1998).

Una vez que la lluvia llega a la superficie de la tierra se puede infiltrar, correr como flujo sobre la superficie de la tierra o acumularse en las hojas de las plantas o encharcarse, desde donde se evapora nuevamente hacia la atmósfera. Por lo general ocurre una combinación de estos procesos. La lluvia que se infiltra integra el agua del suelo parte de la cual puede ser usada por las plantas para la transpiración, otra parte vuelve a la atmósfera a través de la evaporación desde la superficie del suelo y otra, si hay suficiente infiltración puede pasar más abajo de la zona radical como agua subterránea (FAO, 2005).

### **7.1. LA ESCORRENTÍA**

López y Mintegui (1986) mencionan que la escorrentía es la parte de la precipitación que llega a alimentar a las corrientes superficiales, continuas o intermitentes, de una cuenca. Existen distintos tipos de escorrentías dependiendo de su procedencia: escorrentía superficial o directa, escorrentía hipodérmica o subsuperficial y escorrentía subterránea.

- Escorrentía superficial o directa. Es la precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por la acción de la gravedad. Corresponde a la precipitación que no queda tampoco detenida en las depresiones del suelo, y que escapa a los fenómenos de evapotranspiración.
- Escorrentía hipodérmica o subsuperficial. Es el agua de precipitación que, habiéndose infiltrado en el suelo, se mueve subhorizontalmente por los horizontes superiores para reaparecer súbitamente al aire libre como manantial e incorporarse a microsurcos superficiales que la conducirán a la red de drenaje.
- Escorrentía subterránea. Es la precipitación que se infiltra hasta el nivel freático, desde donde circula hasta alcanzar la red de drenaje. La Escorrentía superficial es la más rápida de todas y la Escorrentía subterránea la más lenta (del orden del m/h).

## 7.2. INFILTRACIÓN

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 atmosfera 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).

Campos (1984) define la infiltración como el flujo de agua a través de la superficie del suelo; de una forma más amplia se puede decir que la infiltración es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo a través de su superficie y queda retenida en él o alcanza un manto acuífero incrementando el volumen de este, acumulado anteriormente.

Martínez y Navarro (1996) señala que de las precipitaciones que llegan al suelo una parte se infiltra y otra escurre por la red de drenaje superficial de la cuenca, también, Junes (1987) sostiene que aunque el movimiento del agua involucra dos o tres direcciones, el flujo dominante es en dirección vertical es por ello que se considera como flujo unidimensional.

También, López y Mintegui (1986) señalan que la precipitación que alcanza el suelo una parte se infiltra y la otra se mueve por la superficie del terreno, hasta integrarse a la red hidrográfica. La fracción infiltrada normalmente se mueve hacia la profundidad del suelo y sub suelo, donde queda retenida para después ser devuelta a la atmósfera por evapotranspiración o moverse a la profundidad alcanzando la capa freática e incorporándose a las corrientes subterráneas.

Por otro lado, Forsythe (1985) menciona que el conocimiento de la infiltración permite evaluar la lluvia efectiva infiltrada y el escurrimiento causado por la misma, así como el tiempo de estancamiento de agua sobre la superficie del suelo. Además Maderey (2005) argumenta que del agua infiltrada se proveen casi todas las plantas terrestres y muchos animales, alimenta al agua subterránea y a la mayoría de las corrientes en el periodo de estiaje, reduce las inundaciones y la erosión del suelo. También Jaramillo (2002) sostiene que la infiltración tiene gran importancia en la irrigación y el comportamiento del ciclo hidrológico, debido a que la disponibilidad del agua en el suelo integra todo el sistema climático y determina la dinámica de producción de los cultivos.

Así mismo Forsythe (1985) señala que la importancia de la infiltración radica en su utilidad para escoger y diseñar los sistemas de riego adecuados en un determinado suelo. Por ejemplo, la longitud del recorrido del agua guarda relación con la pendiente y el flujo disponible en un sistema de aplicación por gravedad y la tasa máxima de la aplicación de agua permisible, esto puede no causar un escurrimiento durante un riego de aspersión.

Hillel (1982) añade el término infiltrabilidad para designar la infiltración resultante cuando el agua está totalmente disponible para la superficie del suelo a una atmosfera de presión, sin problemas de abastecimiento.

La infiltrabilidad del suelo es alta al inicio del proceso la 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).

### **7.2.1. FACTORES QUE RIGEN LA INFILTRACIÓN**

Hillel (1982) dice que la infiltración del suelo y su variación con el tiempo dependen de la humedad inicial, la capacidad de succión, así como la textura, la estructura y la uniformidad del perfil. Además López y Mintegui (1986) dan un aporte más amplio en la descripción de los factores que rigen la infiltración en los Items (a; b; c; d).

#### **a. Características de la precipitación**

Cuando la intensidad de la precipitación es inferior a la capacidad de infiltración, todo el agua que cae se introduce en el suelo; en este supuesto la precipitación es un factor limitante de la infiltración. Sin embargo si la capacidad de infiltración es inferior, la intensidad de introducir el agua en el suelo puede estar en razón inversa con la intensidad del aguacero, ya que cuanto mayor sea estas gotas de lluvia poseen más energía cinética y en consecuencia el impacto con el suelo y la consiguiente compactación dificultaran la penetración del agua.

También, Martínez y Navarro (1996) señalan que cuanto mayor es la duración e intensidad de las precipitaciones, el terreno no es capaz de absorber toda el agua que cae produciéndose el encharcamiento y la escorrentía superficial

#### **b. Estado de la superficie del suelo**

Al ser la infiltración el paso de agua a través de la superficie del suelo, El estado de esta ejercerá una influencia preponderante, hasta el punto ser en muchas casos un factor limitante.

El grado de compactación de la superficie del suelo es una de las circunstancias que percutirá notablemente en la infiltración. Contribuyen a la compactación las gotas de lluvia cuando caen sobre el suelo desprovisto de vegetación; este efecto es más sensible en los suelos de naturaleza arcillosa que en los arenosos. Producen igualmente compactación las pisadas del ganado al pasar, entre otras.

Otro factor de la infiltración es la pendiente del terreno. Cuanto más acentuada sea, menor tiempo permanece el agua sobre la superficie y por consiguiente es menor el tiempo de que dispone para infiltrarse. En igualdad a otras circunstancias, la infiltración es máxima en zonas llanas o en aquellos otros sitios donde el agua se llegue a estancar.

Otra circunstancia que reduce la infiltración es el taponamiento de los poros de la capa superior del suelo con pequeñas partículas de tierra. Están abundan en los periodos secos o si precipitación, y cuando llueve son transportadas en suspensión por las aguas y detenidas en la capa superior del suelo al producirse la infiltración. El impacto de las gotas de lluvia favorece este efecto, ya que al disgregar partículas de tierra y dar origen a otras más pequeños espacios por donde el agua no podrá penetrar.

**c. Cubierta vegetal**

La implantación de la vegetación en un suelo desnudo o con escasa cobertura vegetal, incrementa la infiltración. En menor o mayor grado, y con carácter general, los efectos de la cubierta vegetal son estos: disminuye la velocidad de las aguas al escurrir por la superficie; reduce e incluso elimina el impacto de la gotas de las lluvias, evitando así la compactación del suelo; y finalmente el desarrollo del sistema radical, al incrementar la permeabilidad de los horizontes del suelo, facilita el movimiento en profundidad del agua.

**d. Facilidad de movimiento del agua en el interior del suelo. Permeabilidad y contenido de humedad**

La infiltración suele estar condicionada por la mayor o menor facilidad con que el agua desciende o se transmite a través del perfil del suelo. En general la capacidad de transmisión es variable para los distintos horizontes de perfil, lo que da lugar a que una vez alcanzada la saturación (estados de transmisibilidad mínima) el descenso del agua este regido exclusivamente por el horizonte de más baja transmisibilidad.

Conforme la humedad penetra en el suelo y satura las capas superiores, su velocidad disminuye debido a la mayor resistencia del suelo y a la reducción en el diámetro de los poros

hasta llegar a un valor constante denominado infiltración básica, que se usa para calcular el tiempo de aplicación de agua al suelo (Valverde, 2007).

Los factores fundamentales que intervienen en la transmisión son la permeabilidad y el contenido de humedad del suelo. La permeabilidad está definida por los grandes poros no capilares a través de los cuales el agua puede moverse por acción de la gravedad. La distribución de esos grandes poros, así como su estabilidad ante el agua hacen que el suelo sea más o menos permeable.

La permeabilidad es función de la textura del suelo, de la estructura y estabilidad estructural, de la actividad de determinados animales y de la vegetación.

En los suelos arenosos los poros son relativamente estables, ya que las partículas que los forman no se desintegran fácilmente ni experimentan hinchazón cuando se humedecen. Lo contrario ocurre en aquellos suelos de naturaleza limosa o arcillosa especialmente si su contenido de coloides es elevada: los agregados de limo o arcilla suelen desintegrarse al entrar en contacto con el agua, reduciendo así la porosidad; y si el contenido coloidal es alto, experimenta grandes variaciones estructurales debido a que los coloides se hinchan cuando se humedecen y se retrae cuando se secan.

Respecto a la actividad animal, Fenwick citado por López y Mintegui (1986) llamo la atención cerca a la importancia de los canalillos formados en el suelo por los gusanos de tierra, especialmente en los pastizales, donde estos animales podrían alcanzar densidades del orden de dos millones por ha. Igualmente pueden tener importancia las madrigueras producidas por ciertos animales como conejos, topos, etc.

La vegetación favorece la permeabilidad por un doble motivo: por incorporar materia orgánica al suelo y por los canalillos que originan las raíces cuando una vez perdida su actividad se descomponen. La incorporación de materia orgánica, contribuye a que la estructura sea más granular y, en consecuencia, a que sea mayores los espacios libres por donde el agua pueda circular. Cuanto más compacta sea la estructura, el efecto de la materia orgánica será más acentuada. En lo que respecta al sistema radical, especialmente si se trata de vegetación arbórea, al descomponerse las raíces crea innumerable canalillos, más o menos vacíos o rellenos con material sumamente permeable, por donde las aguas circulan con relativa facilidad. Para hacerse una idea de la densidad que pueden alcanzar esos canalillos, se hace referencia al dato aportado por Gaiser, 1952; citado por López y Mintegui (1986) quien

encontró más de 8000 canales verticales por ha. En un monte de frondosas sobre un suelo franco limoso.

Y por último se hace referencia al contenido de humedad del suelo, que es otro de los factores que influyen el movimiento del agua a través del suelo y en consecuencia la infiltración. En general podemos decir que a medida que el suelo se aproxime a la saturación, la capacidad de infiltración disminuye. Las razones son estas.

- Al incrementar el contenido de humedad, se reduce el espacio de que dispone el suelo para almacenar agua, y si la permeabilidad es baja una vez que se llegue a la saturación la infiltración será más pequeña.
- Cuando las aguas comiencen a humedecer un suelo seco, se originan fuerzas capilares cuya succión hace descender el agua con mayor intensidad, quizás, que la acción de la gravedad. Este efecto prácticamente no existe cuando el agua se pone en contacto con el suelo ya humedecido.
- En los suelos coloidales la presencia de agua origina una hinchazón de los coloides y consecuentemente una reducción de grandes poros.

#### **e. Las características del agua**

Martínez y Navarro (1996) señalan que las características del agua influyen principalmente a través de tres características (turbidez, contenido de sales, conductividad y temperatura).

- **La turbidez del agua**, afecta principalmente por la materia en suspensión transportada. En zonas donde sedimente el material arrastrado, se taponean los poros del suelo favoreciendo el encharcamiento.
- **La conductividad**, está determinado por contenido de sales, el cual influye, produciendo en ocasiones la formación de flóculos con los coloides del suelo y reduciendo la intensidad de infiltración. En suelos salinos (formación de costras salinas), tras largas lluvias puede suceder lo contrario: el progresivo lavado del suelo facilita la desaparición de las sales y el aumento de poros.
- **La temperatura del agua**, afecta a su viscosidad y en consecuencia, a la facilidad con que atravesará el perfil edáfico, Musgrave (1964) citado por Martínez y Navarro (1996), encontró tasas de infiltración diferentes en un mismo suelo, en invierno y en verano. Si

las temperaturas son muy bajas ( $T^{\circ}$  edáfica), el agua se puede helar produciendo la impermeabilidad del horizonte superficial.

Por tanto conviene mencionar que la **carga del agua** existente sobre el suelo también influye en el proceso de infiltración. A mayor presión hidrostática del agua en la superficie del suelo mayor será la tasa de infiltración.

### **7.2.2. LA CAPACIDAD DE INFILTRACIÓN**

Martínez y Navarro (1996) mencionan que la capacidad de infiltración se refiere a la cantidad máxima de agua que puede introducirse en un suelo por unidad de tiempo y en un instante dado. Depende de la naturaleza del terreno y de su contenido de humedad. Así mismo Horton (1940) citado por Hillel (1982) menciona que en el caso especial donde la lluvia supera la capacidad de absorción del suelo, la infiltración es máxima, a la cual llama “capacidad de infiltración” del suelo.

También, Martínez y Navarro (1996) sostienen que a mayor humedad en el suelo menor es su capacidad de infiltración. Cuando el suelo se encuentra saturado de humedad, entonces la capacidad de infiltración coincide con lo que se denomina “Permeabilidad”. La infiltración constituye un proceso, mientras que la permeabilidad es una propiedad de un material poroso.

Molina (1975) señala que es de vital importancia para que se forme la escorrentía ya que a mayor capacidad de infiltración habrá menos rapidez para la formación de la escorrentía superficial y viceversa. Esta varía en el suelo de acuerdo al curso de una tormenta y presenta un máximo valor al comienzo de ella, luego va disminuyendo hasta hacerse una recta en un momento dado de acuerdo con la naturaleza de suelo y con la intensidad de la lluvia.

“**Capacidad de infiltración inicial**” es la tasa de la infiltración que se obtiene al principio del proceso del proceso de medición. El valor de esta tasa depende de la humedad inicial del suelo y de la lluvia anterior (Horton, 1940; citado por Blanco 2008).

Valverde (1998) menciona que la “**Infiltración acumulada**” es la lámina que se acumula en el suelo durante un tiempo y aumenta con el tiempo.

### **7.2.3. VELOCIDAD O TASA DE INFILTRACIÓN**

La tasa de infiltración se define como el “volumen de flujo” o “agua que fluye” dentro del perfil de suelo por unidad de área de la superficie. Este flujo, expresado con unidades de velocidad, se conoce como “velocidad de infiltración”.

Molina (1975) afirma que la velocidad o tasa de infiltración es la rapidez con la que el agua se infiltra en el suelo. Esta varía durante el transcurso de una tormenta ya que en un comienzo, la velocidad será más grande e irá disminuyendo en el transcurso de la precipitación. Lo que ocurre es que al comienzo de la tormenta, el suelo seco absorbe inmediatamente toda el agua caída, sin embargo con el transcurrir del tiempo se irá llenando los intersticios ocasionando una disminución en su circulación, haciendo que al final adopte un valor constante. Entonces si la intensidad de la precipitación es menor que la capacidad de infiltración, la velocidad de infiltración será suficiente para que no haya escorrentía y viceversa.

El decrecimiento de la velocidad de infiltración puede resultar de un deterioro a la estructura del suelo o de la formación de costras superficiales (Hillel, 2003; Lado et al., 2004, citado por Von, 2004).

Valverde (1998) menciona que se denomina “**Infiltración básica**” cuando la velocidad de infiltración alcanza un valor constante. Se considera que ha alcanzado esta constante, cuando la disminución es del 10% en una hora. También sostiene que cuando la velocidad de infiltración durante un tiempo acumulado; disminuye con el tiempo se denomina “**Infiltración media**”.

También, Valverde (1998) señala que la “**Infiltración instantánea**”, es la velocidad con la que el suelo absorbe el agua en un momento determinado; disminuye con el tiempo hasta alcanzar un valor constante.

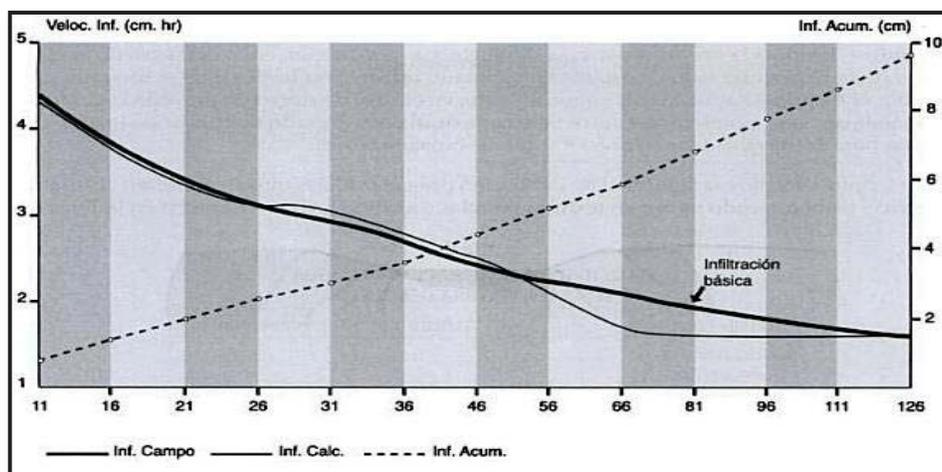


Figura 2: **Diferentes formas de expresar la infiltración de un suelo.**

FUENTE: Valverde, 2007.

#### **7.2.4. MÉTODOS PARA MEDIR LA INFILTRACIÓN BÁSICA**

Existen un sinnúmero de métodos que se utilizan para medir la infiltración en el campo, sin embargo la decisión del método a usar va a depender de las condiciones físicas del suelo y de la disponibilidad de equipo, materiales y servicios adecuados; según Gurovich (1985) todos los métodos para medir la infiltración en condiciones de campo se basan en aplicación de agua por aspersion e inundación y estancamiento de agua en la superficie.

**Uso de infiltrómetros.** Los infiltrómetros permiten determinar la capacidad de infiltración en pequeñas áreas cerradas, aplicando artificialmente agua al terreno. Sus medidas son locales y debe de tomarse con reservas, los resultados obtenidos se pueden aplicar a cuencas pequeñas homogéneas. Cuando la cuenca es grande y no homogénea el suelo o vegetación, debe ser subdividirse en áreas parciales que aproximadamente lo sean y utilizar los infiltrómetros en cada uno de ellos. Los infiltrómetros se dividen en dos grandes grupos: tipo inundador y simuladores de lluvia (Campos, 1998).

##### **a. Infiltrómetros tipo simulador de lluvia**

Con este tipo de aparatos se intenta reproducir lo más exacto posible la forma natural del fenómeno de la infiltración y pretenden evitar las fallas o efectos de los infiltrómetros tipo inundador. Según Blanco (1999) el simulador de lluvia es en la actualidad es un método frecuentemente usado. Que consiste en aplicar sobre el suelo una cantidad conocida de agua, obteniéndose la tasa de infiltración por la diferencia entre la cantidad de agua aplicada y el agua que se pierde por escorrentía. Su utilidad por lo tanto, es doble ya que suministra información, tanto sobre las tasas de escorrentía como sobre el agua de infiltración.

El método de la lluvia simulada no es del todo confiable y sobre él se argumentan diversos hechos que hacen que los resultados obtenidos no se correspondan a la realidad. Destaca que el factor tamaño de la gotas. En una lluvia natural, el tamaño de las gotas puede ser muy variable, cuanto mayor sea la intensidad de la lluvia mayor será el tamaño de las gotas; sin embargo, cuando se usa el simulador de lluvia no se da la variedad de tamaños de gotas que ordinariamente se obtienen en las lluvias naturales (Horton. 1940; citado por Blanco, 1999).

##### **b. Infiltrómetros tipo inundador**

La capacidad de infiltración se deduce del volumen de agua que es necesario agregar para mantener un tirante constante sobre el área. Los cilindros infiltrómetros se encuentran en este grupo y existen muy diferentes tipos tantos cilindros simples o dobles.

### c. Infiltrómetro de cilindro simple

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 (Blanco, 1999).

### d. Cilindros infiltrómetros (cilindros concéntricos)

Es usado para realizar mediciones puntuales. El movimiento de agua desde el cilindro se produce en dirección descendente a causa de la aplicación de una lámina de agua que es medida a diferentes tiempos. Para su aplicación se emplean dos anillos concéntricos de 30 cm y 45 cm de diámetro y 45 cm de altura, el anillo exterior sirve para controlar el mojado del borde del suelo bajo estudio reduciendo los errores que puedan surgir si un borde de suelo seco provoca el flujo horizontal del agua que penetra en el suelo del cilindro interior (Valverde, 2007).

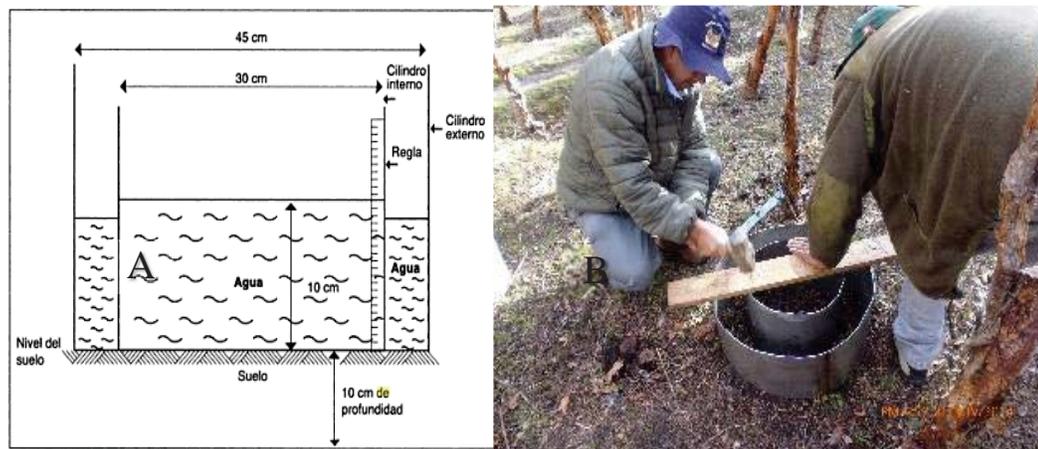


Figura 3: A) Vista frontal del funcionamiento del doble anillo B) Instalación de los cilindros infiltrómetros en campo.

FUENTE: Valverde, 2007.

El objetivo real de un infiltrómetro de cilindro doble es de disminuir el flujo lateral del agua en el cilindro interior, por lo que la infiltración de este deberá ser una medida real de la capacidad de infiltración vertical del suelo, suponiéndose que el cilindro exterior absorba las divergencias laterales. Es decir la razón de ser del cilindro doble es que el cilindro interior mida la capacidad de infiltración real y el exterior impida que el agua del cilindro interior, una vez que haya sobrepasado el tubo, se extienda lateralmente (Blanco, 1999)

Este método presenta dos limitaciones importantes, la primera es que altera en cierto grado las condiciones naturales (destrucción de estructura o compactación) y la segunda, es el aire tapado que tiene no puede ser liberado creando un impedimento para el movimiento vertical del agua (Gurovich, 1985).

El cilindro infiltrómetro de doble anillo es el que vamos a utilizar para medir la infiltración. Este método se ha empleado y se sigue empleando por su sencillez, bajo costo y fácil manejo, además proporcionan resultados confiables de la infiltración real en el suelo.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 1. MATERIALES

El levantamiento de la información en campo se llevó a cabo entre los meses de octubre a diciembre del 2014. Los materiales e instrumentos usados para determinar la humedad inicial y caracterización del suelo, cuantificación del grado de descomposición de la hojarasca y para calcular la velocidad y lámina infiltrada fueron:

Tabla 4: **Materiales de campo 1**

<i>Trabajo de campo</i>		
<i>Toma de muestras de suelo para la caracterización</i>	<i>Realización de calicatas</i>	<i>Determinación del grado de descomposición de hojarasca</i>
Bolsas impermeables ziploc	Pico	Bolsas impermeables ziploc
Pala recta	Pala recta	Cuadrante de fierro de 50 cm de lado
Cuchillo	Bolsas impermeables ziploc	Etiquetas y marcadores
Etiquetas y marcadores	Etiquetas y marcadores	Balanza romana
Costal	Regla graduada de 60 cm.	Libreta de campo
Libreta de campo	Wincha de 5 m.	Lápiz y borrador
Portaminas y borrador	Libreta de campo	Cámara fotográfica
Cámara fotográfica	Lápiz y borrador	
	Cámara fotográfica	

*FUENTE: Elaboración propia.*

Tabla 5: **Materiales de laboratorio para la determinación de Biomasa seca de hojarasca**

<b>Trabajo de laboratorio</b>	
Peso de muestras	Secado de muestras
Balanza de precisión	Estufa
Lápiz y libreta de campo	Papel de aluminio
	Marcador indeleble
	Lápiz y libreta de campo

FUENTE: *Elaboración propia.*

Tabla 6: **Materiales campo 2**

<b>Trabajo de campo</b>		
<b>Delimitación de parcelas</b>	<b>Medida de la humedad inicial del suelo in situ</b>	<b>Pruebas de infiltración</b>
Cintra métrica de 30 m	Bloques de yeso	Cilindros infiltrómetros (doble anillo)
GPS	Medidor de resistencia eléctrica modelo KS-1	Cronómetro
Estacas de madera	Batería de 9 v	Cinta adhesiva
Comba de 2 kg.	Barreta	Bolsa de plástico
Rafias de colores	Tubo de aluminio de 3 cm de diámetro y 30 cm de largo.	Regla graduada de 60 cm
Libreta de campo	Libreta de campo	Baldes de 20 litros
Portaminas y borrador	Portaminas y borrador	Comba de 2 kg
Cámara fotográfica	Cámara fotográfica	Tabla de madera para instalar el cilindro
		Libreta de campo
		Lápiz y borrador
		Cámara fotográfica

FUENTE: *Elaboración propia.*

## 1.1. ÁREA DE ESTUDIO

### 1.1.1. UBICACIÓN

La quebrada Quilcayhuanca tiene una extensión aproximada de 1484,8 ha se ubica a una altitud que varía entre los 3800 a 4460 msnm., la quebrada se encuentra en el Distrito de Independencia, provincia de Huaraz, Departamento de Ancash, jurisdicción del Área Natural Protegida del Parque Nacional Huascarán. (Ver mapa de ubicación, Figura 4). Geográficamente el área está ubicada entre las coordenadas UTM siguientes:

18 L	UTM	Altitud (msnm)
234564	8949076	3800 a 4460

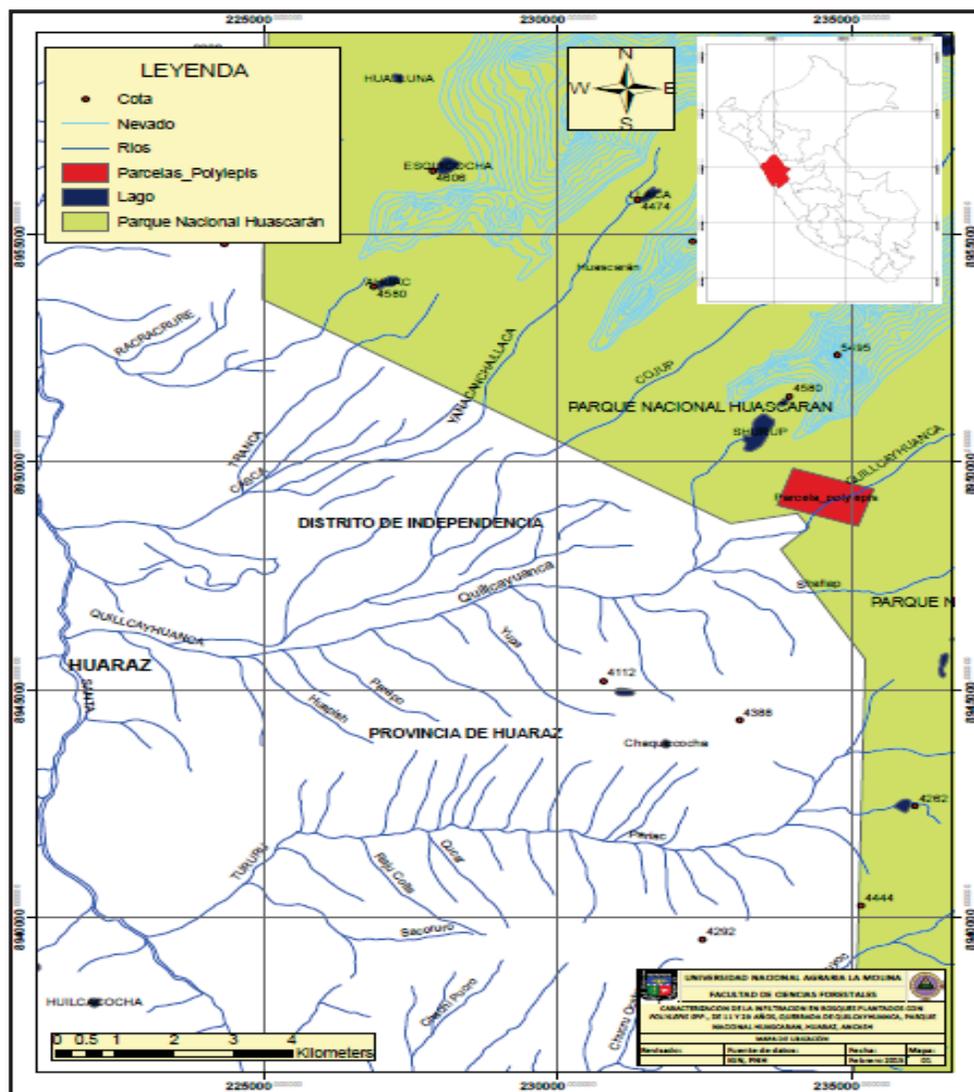


Figura 4: Mapa de ubicación de las áreas estudiadas.

FUENTE: Elaboración propia.

### 1.1.2. ACCESIBILIDAD

El acceso a la quebrada de Quilcayhuanca es por vía terrestre. De Huaraz a la portada de la quebrada es aproximadamente 28 km, se puede llegar a través de tres rutas: Huaraz – Paria – Willcahuawin – Quilcayhuanca; Huaraz – Pinar – Quilcayhuanca y Huaraz – Llupa – Quilcayhuanca.

### 1.1.3. CLIMA

De acuerdo de los datos registrados en la estación meteorológica Quilcayhuanca de la Facultad Ambiental de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, la zona de estudio presenta un clima frio, con el rango de temperaturas máximas de 7,7 y 9,5 °C y tiene un promedio anual de 8,5 °C. Mientras para las temperaturas mínimas varían entre los 5,8 y 7,8 °C con promedio anual de 6,9 °C (Figura 5 y 6).



Figura 5: Temperatura mínima de la estación Quilcayhuanca – UNASAM.

FUENTE: Facultad de Ing. Ambiental – UNASAM

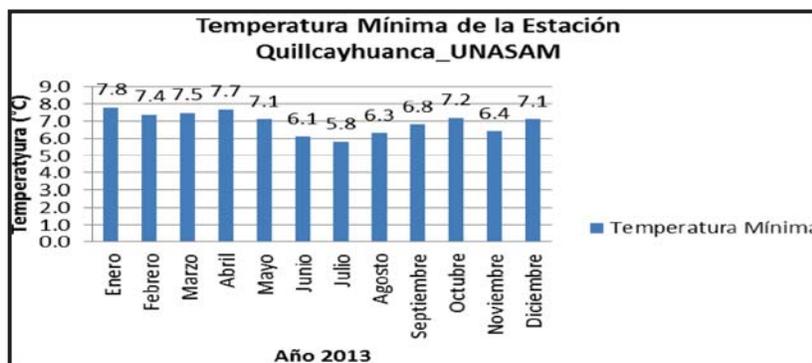


Figura 6: Temperatura máxima de la estación Quilcayhuanca - UNASAM.

FUENTE: Facultad de Ing. Ambiental - UNASAM

La estación lluviosa comienza entre los meses de octubre y noviembre. Alcanza su mayor incidencia en el mes diciembre y tiene una disminución en enero, luego se incrementa en febrero y marzo. La media de precipitación máxima y mínima anual es (155,9 y 0,1 mm) respectivamente, por encima de los 3850 msnm, también se presentan precipitaciones en forma de nieve (Figura 7).

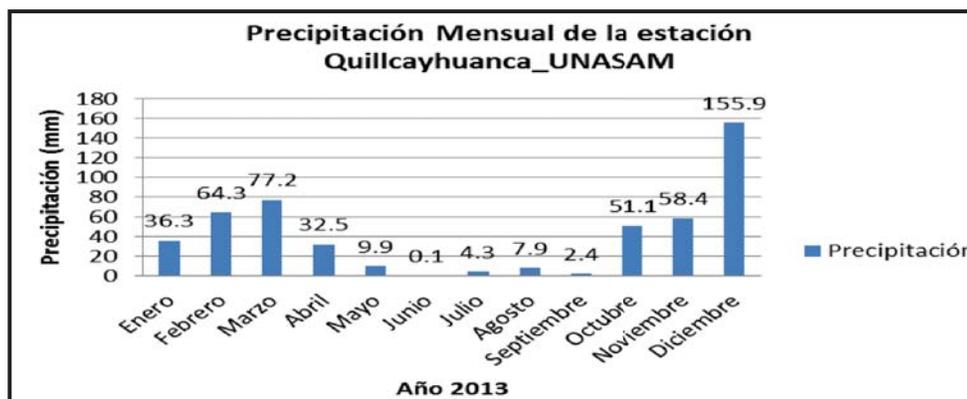


Figura 7: Precipitación Mensual de la Estación Quillcayhuanca - UNASAM.

FUENTE: Facultad de Ing. Ambiental - UNASAM

#### 1.1.4. ECOLOGÍA

De acuerdo a la clasificación propuesta por Holdridge, quien establece una clasificación de diferentes áreas terrestres teniendo en cuenta el comportamiento Bioclimático en la zona, y esto depende de la ubicación latitudinal y altitudinal, se ha determinado, que el lugar donde se realizó el estudio abarco dos zonas de Vida: bosque muy húmedo Montano Tropical (bmh-MT) y páramo muy húmedo Subalpino Tropical (pmh-SaT) (PNH, 2011).

Tabla 7: Zonas de vida de Holdridge para las áreas de estudio

Zona de Vida	Abreviatura	Altitud (m.s.n.m)	Biotemperatura media anual (°C)	Promedio de precipitación al año (mm/año)
bosque muy húmedo Montano Tropical	bmh-MT	2800 - 3800	6,5 – 10,9	838,4 – 1722
páramo muy húmedo Subalpino Tropical	pmh-SaT	3900 - 4500	5	900

FUENTE: Plan Maestro 2010 – 2015 del PNH.

### 1.1.5. FISIOGRAFÍA

Las geoformas existentes en la quebrada Quilcayhuanca, son el resultado de la interacción de factores tectónicos, litológicos y climáticos, los cuales han dado lugar a procesos erosivos y deposicionales, dentro de ellas podemos mencionar: Cimas, laderas, valles estrechos, morrenas y conos aluviales. El área estudiada, se encuentra ubicada en el fondo de valle con una topografía uniforme suave y colinada, rodeada por montañas (PNH, 2011).

### 1.1.6. HIDROGRAFÍA

En la quebrada Quilcayhuanca se ubican las lagunas Cuchillococha y Tullparraju, alimentadas por los deshielos de los nevados San Juan, Pucaraju y Andaville. Las aguas de las lagunas drenan por el río Quilcayhuanca. Cabe mencionar que en quebrada Quilcayhuanca, se encuentra una importante extensión de Bofedales (aproximadamente 400,7 ha) ubicados sobre los 3858 a 4199 msnm (PNH, 2011).

### 1.1.7. VEGETACIÓN

Las formaciones vegetales que predominan en el la quebrada Quilcayhuanca, son, el Bosque de *Polylpepis spp.*, Pastizales y Bofedales.

#### a. Las formaciones boscosas

Abiertas son más comunes en el PNH. Se observan, estos bosques en zonas rocosas. Las especies asociadas son determinadas por la vegetación subyacente, que usualmente son arbustos secos. Los bosques densos se encuentran sobre los 3800 msnm (PNH, 2011).

#### b. Pastizales

Este tipo de vegetación es la más importante del PNH. Más del 50% de las especies conocidas en el PNH son pastizales que tienen una composición heterogénea muy rica. Sin embargo, hay áreas donde se presentan homogéneos los cuales se denominan manchas, por ejemplo chilliguas y ocshas, predominantemente con los géneros *Festuca* (*F. dolichophylla*, *F. weberbauerii*) y *Calamagrostis* (*C. eminens*, *C. heterophylla*), que prefieren suelos húmedos, poco pedregosos y planos o de laderas con pendientes moderados (PNH, 2011).

Entre los pastizales, se pueden observar herbáceas postradas y de tallo alto. Entre estas últimas, destacan representantes de las familias **Polygonaceae**: *Muehlenbeckia volcánica* (Mullaca), *Rumex sp* (Chuchuqora). **Rosaceae**: *Alchemilla pinnata* (Sillupilli) **Solanaceae**: *Salpichroa hirsuta* (Shupllac) y *Salpichora glandulosa* (Hook.), **Asteraceae**: *Bidens andicola* Kunth (Shilco), *Tagetes multiflora* (Shinsho), *Taraxacum officinale* Weber (Diente de león).

**Fabaceae:** *Astragalus Garbancillo* (Garbancillo), *Lupinus sp.* (Tauri), *Trifolium repens L.* (Trébol blanco) y *Trifolium pratense L.* (Trébol rojo). (PNH, 2011).

### **c. Bofedales**

Predominan miembros de las familias *Cyperaceae*, *Juncaceae*, *Poaceae*, *Plantaginaceae*, Briofitos y algunas *Asteraceae*. Entre las especies flotantes tenemos a *Azolla filliculoides* (Azollaceae). Es importante destacar que varias de estas formaciones se observan en cuerpos de agua con drenajes ácidos. Por las características del efluente del sistema del bofedal, podríamos especular que juegan un papel importante en la mejora de la calidad del agua por su capacidad de secuestrar metales pesados y mejorar el pH (PNH, 2011).

### **1.1.8. ACTIVIDAD ECONÓMICA**

PNH, (2011) describe las principales actividades económicas dentro del área de estudio de la siguiente manera:

- Hacia la zona de amortiguamiento y muy próximo al Área Natural Protegida se observa diversidad de áreas de cultivos, destacando entre cereales y papas. Los rendimientos de los cultivos son bajos y vulnerables a las plagas y enfermedades, debido a que las técnicas de producción empleadas, son simples y tradicionales, propias de una actividad agrícola de subsistencia, usando fuentes de energía humana y animal (yuntas) principalmente.
- La actividad pecuaria, si bien existe en la zona de amortiguamiento, la mayor incidencia se da al interior del ANP, y esta es básicamente una crianza de estilo extensiva y son animales de muy baja calidad, con efectos de sobrepastoreo, producto de esta crianza, afectando los atributos u objetos de conservación del PNH; esta actividad actualmente es muy importante en las poblaciones o usuarios locales que hacen uso del recurso pasto.
- Otra actividad de importancia dentro de la quebrada Quilcayhuanca, es la práctica de turismo de aventura, con la participación de los pobladores locales, beneficiándose directamente del turismo.

## 1.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Las áreas evaluadas están sobre los 3850 msnm, en la parte llana de la quebrada Quilcayhuanca (la pendiente oscila entre 3 a 10 por ciento) dentro de la jurisdicción del Parque Nacional Huascarán. Los bosques de *Polylepis* de 11 y 29 años, se encuentran separados por una zona de transición entre un Bofedal y la ribera del río Quilcayhuanca. Muy cerca de estos bosques, se encuentra una estación meteorológica de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, también una caseta de control del SERNANP.

A la fecha se tiene 20 parcelas de *Polylepis racemosa*, plantados a alta densidad. En enero y febrero del 2014, se realizaron podas y raleos en cinco parcelas, esto con la finalidad de seleccionar ejemplares de buena de calidad en germoplasma y descartar las especies con pocas cualidades o deficientes. Dentro del bosque de 29 años, se han instalado 20 camas para la producción de *Polylepis racemosa* y *Polylepis incana* a raíz desnuda.

El área de estudio está constituida por 12 parcelas de 10 m x 10 m, distribuidas de la siguiente manera: seis parcelas de bosque plantado con *Polylepis racemosa*, de 11 años de edad (tres parcelas sin manejo y tres con manejo (poda y raleo)); tres parcelas de bosque plantado con *Polylepis spp.*, de 29 años y tres parcelas Testigo.

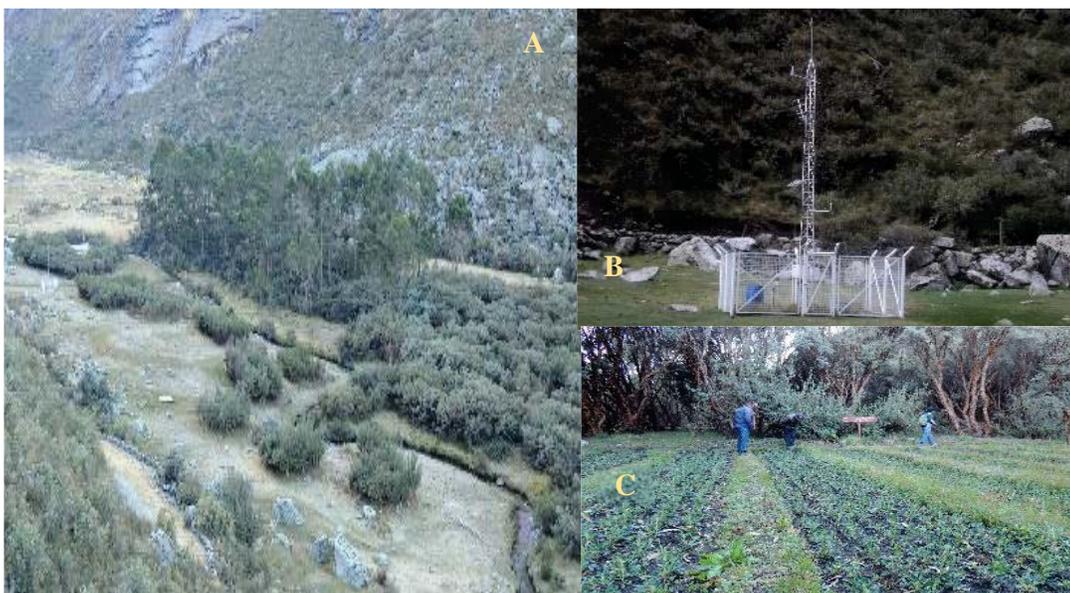


Figura 8: A) Zona de estudio B) Estación meteorológica C) Camas a raíz desnuda de *Polylepis spp.*

FUENTE: Elaboración propia.



Figura 9: A) Quebrada Quilcayhuanca B) Estación de control del SERNANP C) Río Quilcayhuanca.

FUENTE: Elaboración propia.

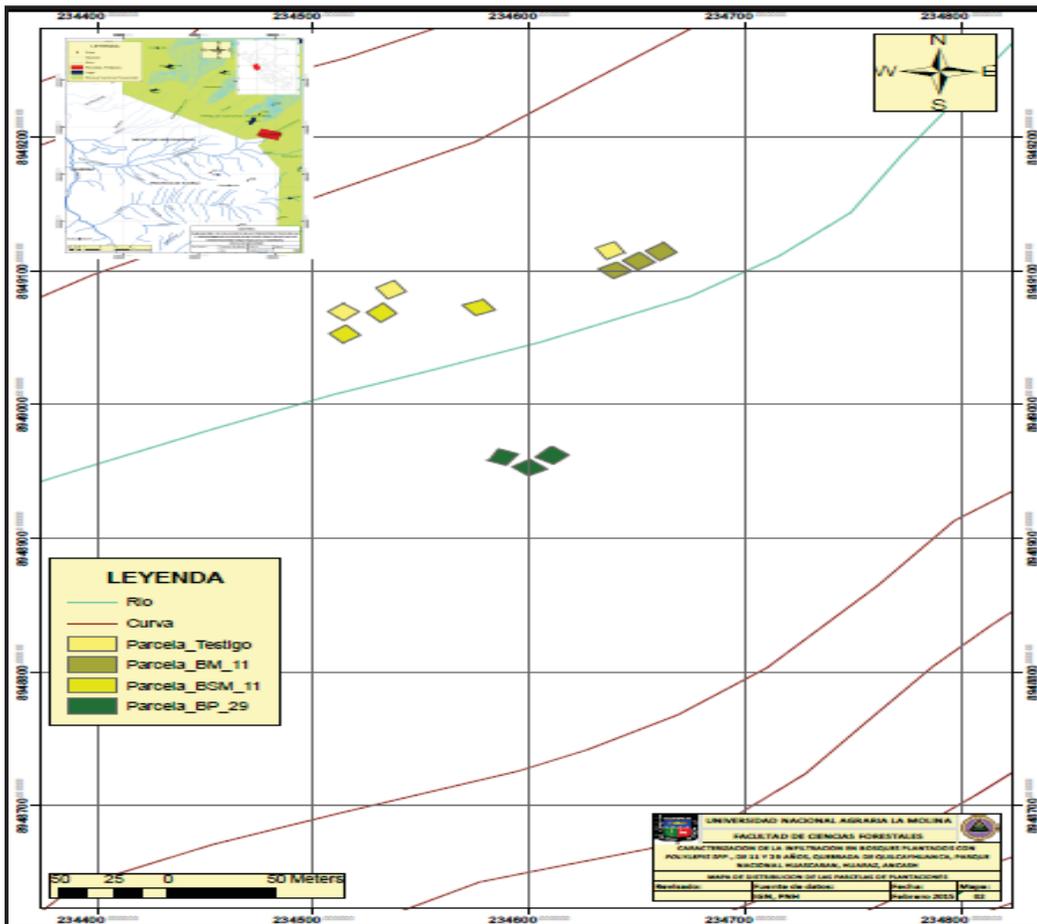


Figura 10: Mapa de distribución de las parcelas en las áreas evaluadas.

FUENTE: Elaboración propia.

### 1.2.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE BOSQUE PLANTADO CON *POLYLEPIS RACEMOSA* SIN MANEJO, DE 11 AÑOS (BSM\_11)

La plantación de alta densidad con *Polylepis racemosa* se realizó en el 2003 en parcelas de 10 m x 10 m, constituyendo como una serie de bosquetes, el distanciamiento de planta a planta es de 1 m x 1 m; la altura total de los individuos, varía de 5 a 7 metros; cada árbol tiene en promedio de tres a cuatro troncos (fustes); el diámetro a la altura del pecho (DAP) fluctúa entre 8 a 10 centímetros; la separación entre parcelas es de tres metros aproximadamente.

Debajo del dosel de la plantación se tiene una vegetación de estrato bajo, en la que predominan las especies forrajeras, *Lachemilla orbiculata*; *Alchemilla pinnata*; *Bromus lanatus*; *Luzula peruviana*. Existe una acumulación importante de hojarasca, y un desarrollo de helechos, musgos y hongos, sobre la capa superficial del suelo, también, se ha observado la presencia de estiércol animal en todas las parcelas de BSM\_11.

En el suelo de este bosque llega poca luz; porque las copas de los arboles impiden que los rayos solares penetren al interior. Por eso hay una menor evaporación del agua, por lo que el mantillo se mantiene húmedo.



Figura 11: Parcelas de la plantación con *Polylepis racemosa* sin manejo.

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 8: Coordenadas UTM de las parcelas del BSM\_11 y número de individuos

Bosque	Parcelas	Coordenadas		Área (m <sup>2</sup> )	Número de individuos
		Este	Norte		
BSM_11	BSM_11_Parcela 1	234510,21	8949062,88	100	100
	BSM_11_Parcela 2	234528,5	8949070,31	100	100
	BSM_11_Parcela 3	234564,16	8949075,98	100	98

FUENTE: Elaboración propia.

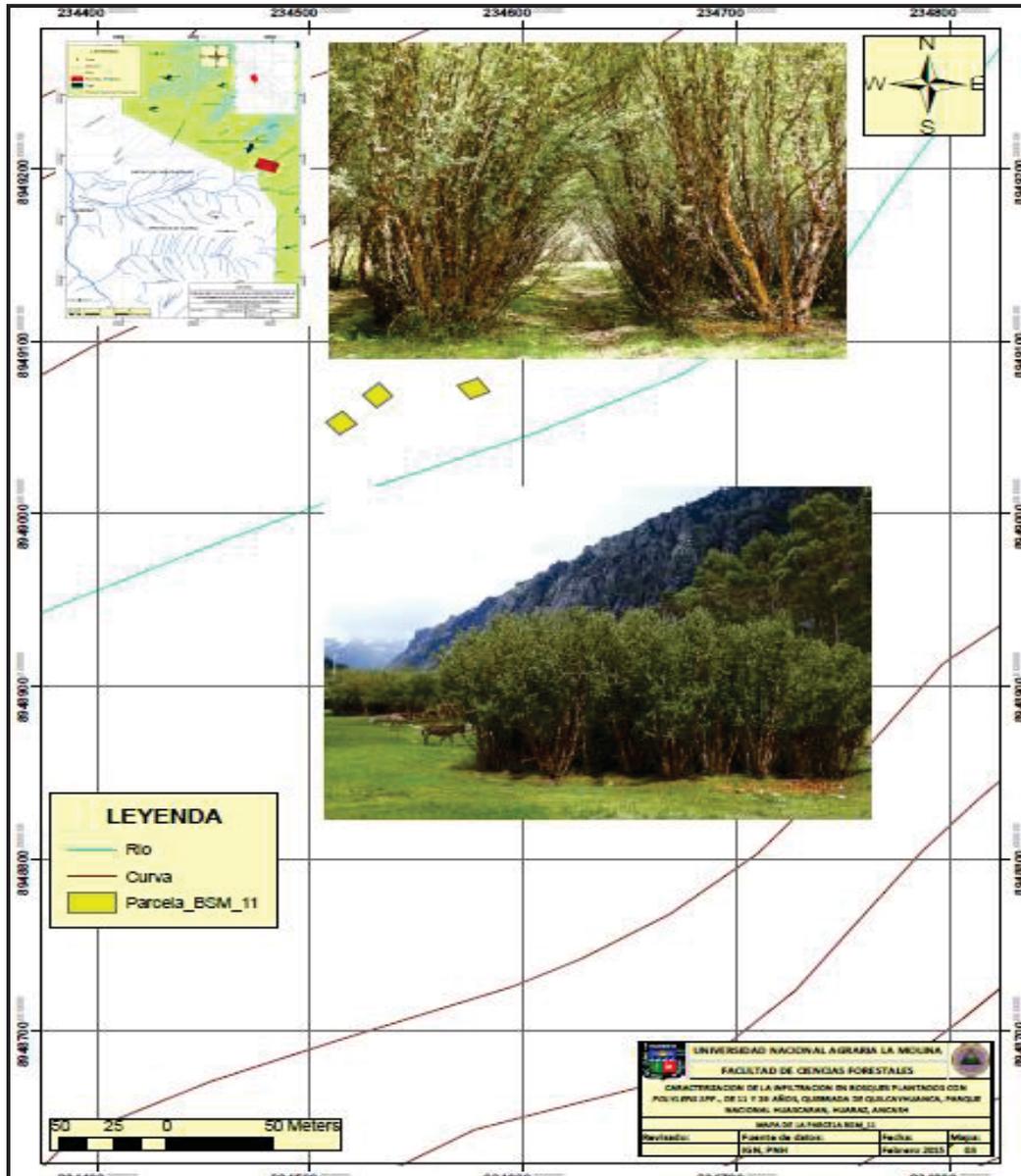


Figura 12: Mapa de ubicación de las parcelas del BSM\_11.

FUENTE: Elaboración propia.

### 1.2.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE BOSQUE PLANTADO CON *POLYLEPIS RACEMOSA* MANEJO, DE 11 AÑOS (BM\_11)

La plantación de alta densidad con *Polylepis racemosa*, se realizó en el 2003 en parcelas de 10 m x 10 m, inicialmente la separación de planta a planta era de 1 m x 1 m, luego del manejo silvicultural (podas y raleos) en cinco parcelas, entre los meses de enero y febrero del 2014, muchos de los individuos quedaron con un solo fuste, y con un distanciamiento entre ellos, de 1 m x 1 m, 2 m x 2 m y 3 m x 3 m; la altura promedio es de 6 a 8 metros; el diámetro a la altura del pecho (DAP) fluctúa entre 8 a 12 centímetros; la separación entre parcelas es de tres metros aproximadamente. Producto del manejo, se usó el material vegetativo (esquejes) para la producción de plántones a raíz desnuda.

Debajo de los árboles se encuentra una acumulación de mantillo u hojarasca, también se ha evidenciado el prendimiento de algunas especies herbáceas de uso forrajero (*Bromus lanatus*; *Festuca spp.*, *Alchemilla pinnata* y *Werneria nubigena*) estas como consecuencia del raleo y poda, el cual favorece el ingreso de radiación solar, hacia el interior del bosque, también, se ha observado alta presencia de estiércol animal en todas las parcelas.

Al borde de las parcelas, se han encontrado acumulación de material vegetativo, de *Polylepis racemosa*, producto del manejo silvicultural realizado. Las parcelas evaluadas limitan con el área sin bosque (Testigo) y el río Qulicayhuanca.



Figura 13: Parcela de Bosque plantado con *Polylepis racemosa*, de manejo de 11 años.

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 9: Coordenadas UTM de las parcelas del BM\_11 y número de individuos

Bosque	Parcelas	Coordenadas		Área (m <sup>2</sup> )	Número de individuos
		Este	Norte		
BM_11	BM_11_Parcela 1	234633,39	8949105,01	100	70
	BM_11_Parcela 2	234658,72	8949111,83	100	68
	BM_11_Parcela 3	234650,86	8949105,58	100	72

FUENTE: Elaboración propia.

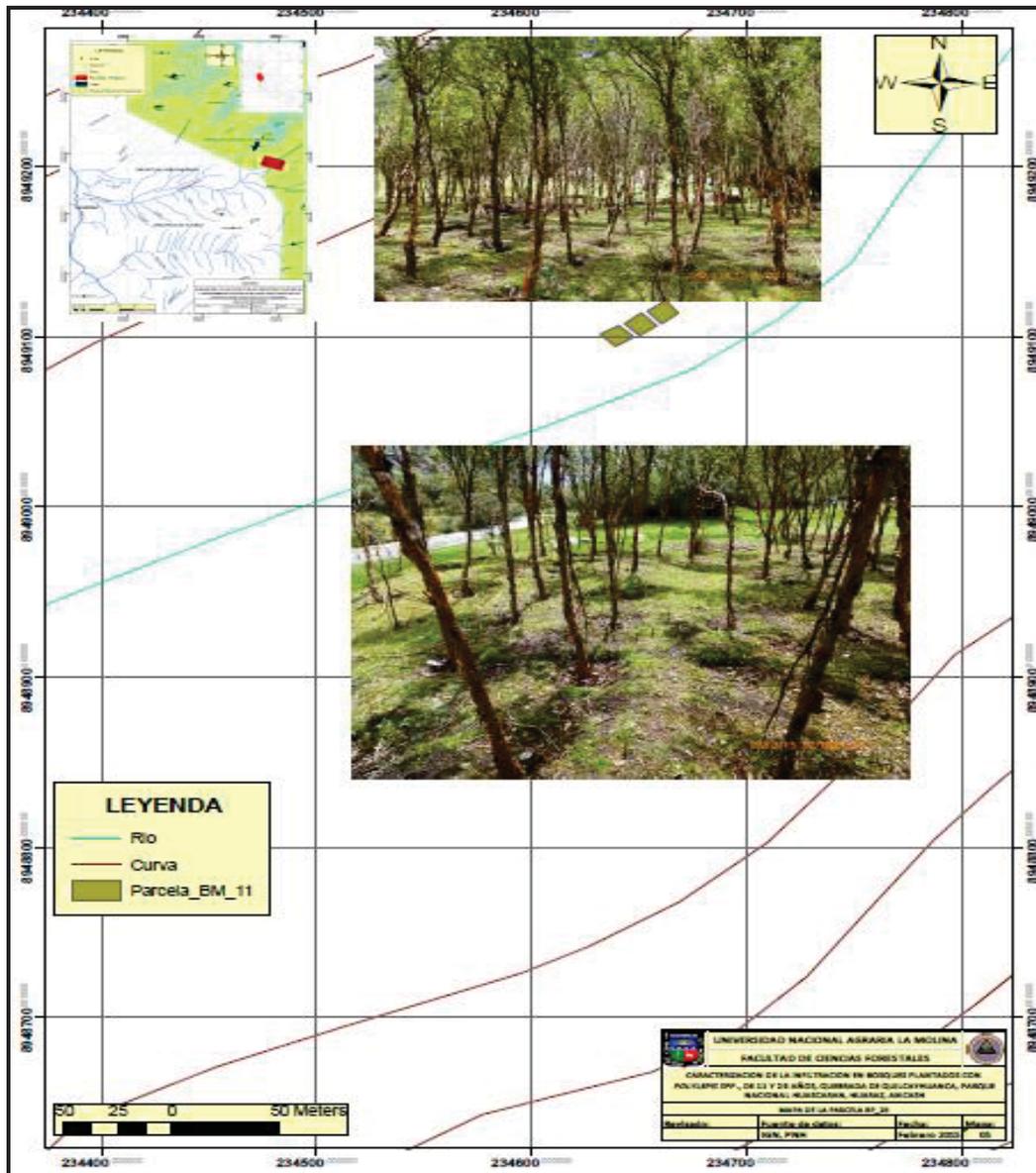


Figura 14: Mapa de las parcelas de BM\_11.

FUENTE: Elaboración propia.

### 1.2.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE BOSQUE PLANTADO CON *POLYLEPIS SPP.*, 29 AÑOS ( BP\_29)

La Jefatura del Parque Nacional Huascarán en el año 1985 realizó plantaciones forestales de *Polylepis weberbaueri*, *Polylepis incana* y *Polylepis racemosa*, con distanciamiento de 5 m x 5 m, entre planta a planta. Hasta la fecha la plantación tiene 29 años en terreno definitivo; las especies alcanzan una altura total que varía de 12 m a 15 m, cada árbol tiene en promedio tres a cuatro troncos (fustes); el diámetro a la altura del pecho (DAP) fluctúa de 30 cm a 40 cm.

Debajo de los árboles, hay una gran concentración de hojarasca. Se ha evidenciado poca diversidad de vegetación, en el estrato bajo de la plantación. Entre las herbáceas que predominan dentro del bosque son: *Lechemilla pinnantada*, *Carex bolivienses*, sin embargo, la *Festuca weberbaueri*; es la especie que ha encontrado las mejores condiciones dentro de este bosque, para un desarrollo y crecimiento óptimo, además, existe un desarrollo considerable de Musgos, en la capa superficial del suelo. Las parcelas evaluadas limitan con el propio bosque plantado de 29 años.



Figura 15: Parcela de Bosque plantado con *Polylepis sp.*, de 29 años.

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 10: Coordenadas UTM de las parcelas del BP\_29 y número de individuos

Bosque	Parcelas	Coordenadas		Área (m <sup>2</sup> )	Número de individuos
		Este	Norte		
BP_29	BP_29_Parcela 1	234600,53	8948949,64	100	6
	BP_29_Parcela 2	234587,37	8948961,83	100	7
	BP_29_Parcela 3	234610,88	8948962,22	100	7

FUENTE: Elaboración propia.

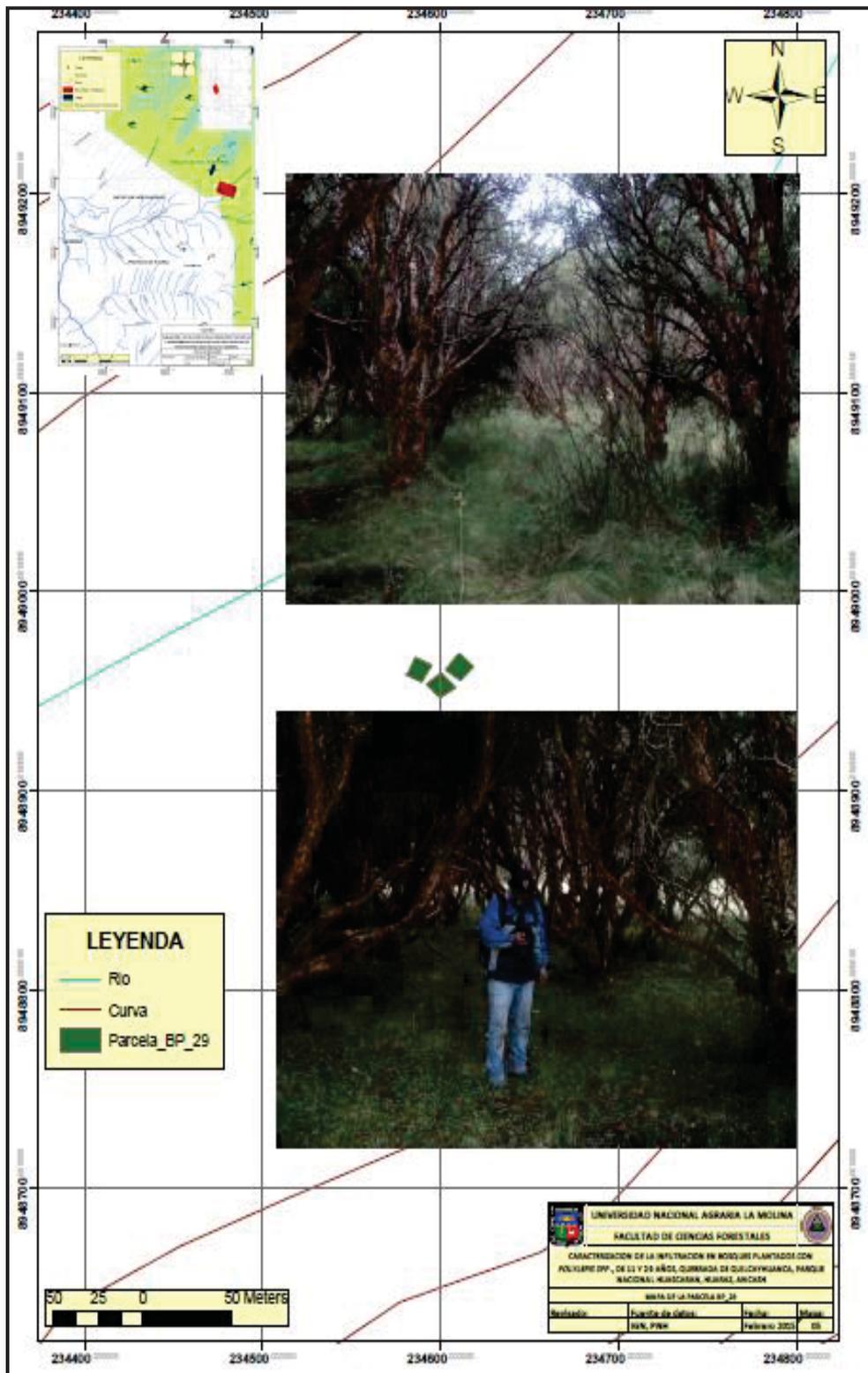


Figura 16: Mapa de ubicación de las parcelas del BP\_29.

FUENTE: Elaboración propia

#### 1.2.4. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA TESTIGO (T)

Son áreas representativas que corresponden a la zona sin presencia de especies arbóreas ni arbustivas, los cuales encuentran contiguas a las parcelas plantadas con *Polylepis racemosa*. Para conseguir las parcelas Testigo se delimito tres áreas de 10 m x 10 m, en ellas se evaluaron los mismos parámetros, que en las parcelas con plantaciones de *Polylepis spp.* (La humedad inicial del suelo, caracterización del suelo y la infiltración).

La parcela Testigo tiene una cobertura vegetal principalmente de Césped de altura, que tiene un desarrollo radicular de aproximadamente de 10 a 15 cm, entre las principales especies herbáceas de importancia forrajera, se encuentran el *Plantago rígida*, *Alchemilla pinnata*, *Werneria nubigena*. Se ha encontrado pequeños espejos de agua en el área testigo, también, se ha observado la presencia de estiércol animal en toda la extensión del área Testigo.

La parcela uno y dos, se encuentran aproximadamente a 10 m, de la plantación con *Polylepis* sin manejo de 11 años y a 15 m, de la carretera. Mientras que la parcela tres esta aproximadamente a 10 m, de la plantación con *Polylepis* manejado de 11 años y 17 m, de la carretera. No hay presencia de hojarasca dentro, de las parcelas Testigo, por lo cual no es necesario determinar el grado de descomposición dentro de esta área.



Figura 17: A) Área Testigo B) Delimitación de parcelas Testigo C) Capa superficial del suelo Testigo.

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 11: Coordenadas UTM de las parcelas del BP\_29

Área	Parcelas	Coordenadas		Área (m <sup>2</sup> )
		Este	Norte	
Testigo	Parcela 1	234515,88	8949067,68	100
	Parcela 2	234533,23	8949084,51	100
	Parcela 3	234639,91	8949115,68	100

FUENTE: Elaboración propia.

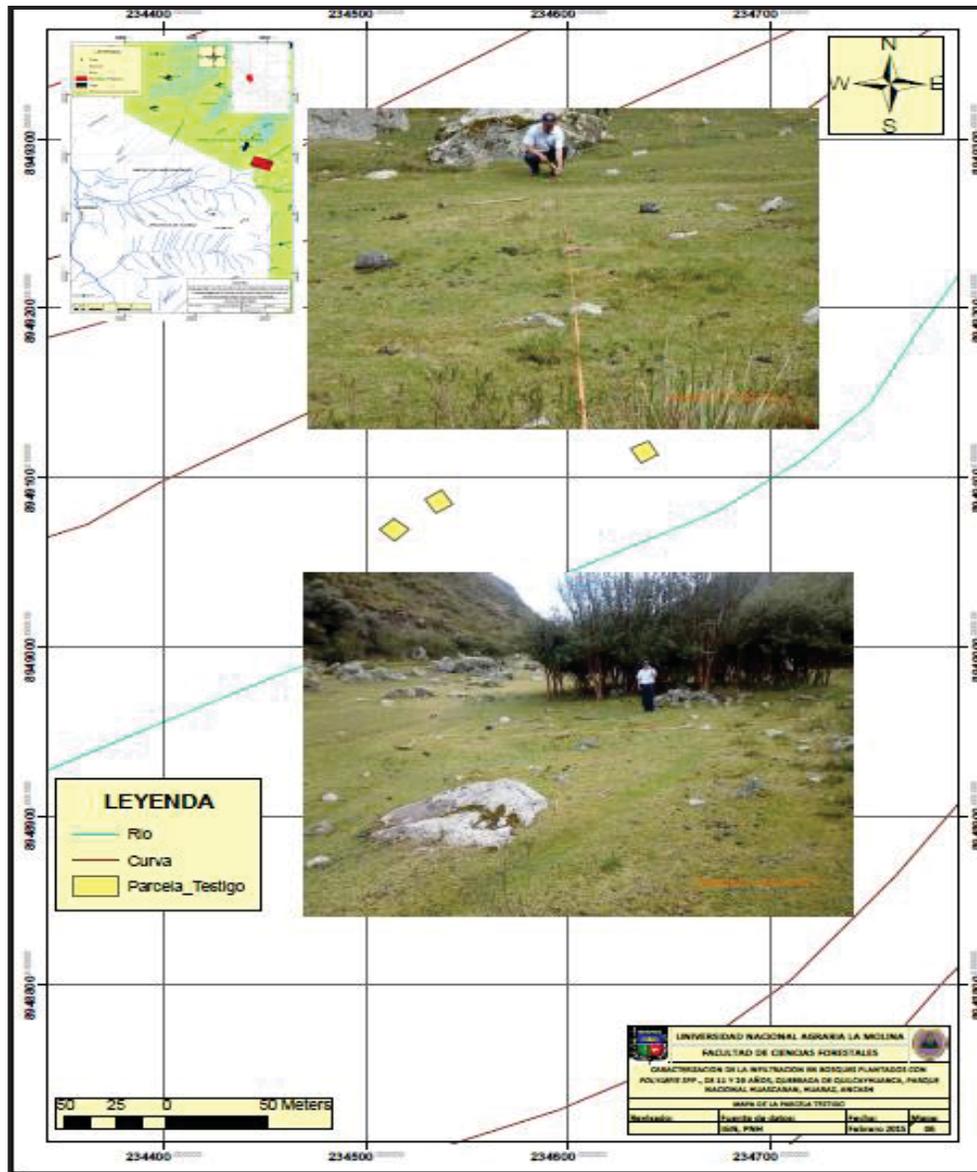


Figura 18: Mapa de ubicación de las parcelas Testigo.

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 12: **Tabla resumen de las áreas evaluadas**

Área de estudio	Parcela	Área (m <sup>2</sup> )	Número de individuos de <i>Polylepis spp</i>	Especie de <i>Polylepis</i>	Tratamiento silvicultural	Presencia de hojarasca
<b>BP_29</b>	1	100	6	incana, racemosa, Weberbauri	no	si
	2	100	7	incana, racemosa, Weberbauri	no	si
	3	100	7	incana, racemosa, Weberbauri	no	si
<b>BSM_11</b>	1	100	100	racemosa	no	si
	2	100	100	racemosa	no	si
	3	100	98	racemosa	no	si
<b>BM_11</b>	1	100	70	racemosa	si	si
	2	100	68	racemosa	si	si
	3	100	72	racemosa	si	si
<b>Testigo (T)</b>	1	100	ninguna	ninguna	no	no
	2	100	ninguna	ninguna	no	no
	3	100	ninguna	ninguna	no	no

FUENTE: *Elaboración propia.*

## 2. METODOLOGÍA PARA EL LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

### 2.1. OBTENCIÓN DE MUESTRAS DE SUELO DE LAS ÁREAS EVALUADAS

El muestreo de suelo se realizó en cada una de las parcelas seleccionadas, el procedimiento se inició elaborando un croquis, para cada parcela de 10 m de lado, luego, dentro de cada parcela se delimito cuatro sub parcelas de 5 m de lado, en el centro de cada sub parcela se tomó la muestra de suelo (Figura 19).

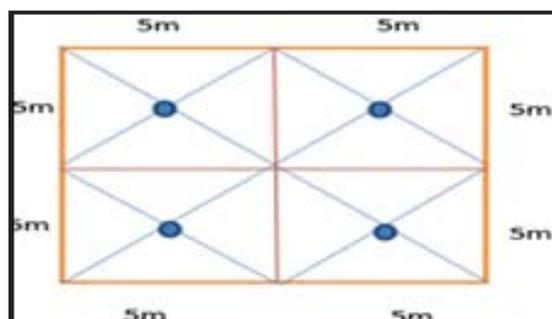


Figura 19: **Distribución de la toma de submuestras de suelo.**

FUENTE: *Elaboración propia.*



Figura 20: A) Retiro de la hojarasca y capa superficial B) Obtención de la submuestra.

*FUENTE: Elaboración propia.*

En la Figura 20 se describen los pasos para tomar la submuestra de suelo; la operación se inició con el retiro de toda cobertura vegetal existente, luego, con la ayuda de la pala se procedió a realizar la apertura en “V” a una profundidad de 0,30 m, a continuación con la ayuda de un cuchillo, se retiró los bordes del suelo seleccionado sobre la pala, para luego ser depositado en un bolsa limpia.



Figura 21: A) Mezcla homogénea de las submuestras B) Selección de una porción de suelo.

*FUENTE: Elaboración propia.*

Posteriormente se mezclaron por separados las 12 submuestras de suelo obtenidos de las tres parcelas, es decir, cuatro submuestras por parcela, por último se seleccionó aproximadamente 1 kg de suelo de la mezcla, para realizar los respectivos análisis en laboratorio (Figura 21). Esta operación se realizó en las cuatro áreas evaluadas (BP\_29; BSM\_11; BM\_11 y área Testigo).

## 2.2. EVALUACIÓN DEL PERFIL DEL SUELO

Para la evaluación del perfil del suelo, se realizaron cuatro calicatas (uno por cada tipo de bosque plantado y una para el área Testigo). Las calicatas tuvieron las siguientes dimensiones: 0,4 m de ancho x 0,4 m de largo y 0,52 m de profundidad; con la obtención de estas calicatas, se pudo identificar los perfiles de los mismos, la estructura y la profundidad de la materia orgánica en el suelo.



Figura 22: A) Limpieza de la superficie B) Formación C) Medida e identificación de colores.

*FUENTE: Elaboración propia.*

La formación de la calicata se inició, con la limpieza de la superficie del suelo, luego, con una pala recta se formó la calicata propiamente dicha, por último, se identificó los colores in situ del suelo, y se determinó la altura que estas alcanzaban dentro del perfil del suelo. El procedimiento se ilustra en la Figura 22.



Figura 23: Secado de muestras de suelo para la identificación del color.

FUENTE: Elaboración propia.

Las porciones de suelos, sacados de los perfiles que se encontraron en las calicatas, fueron llevadas al laboratorio de análisis de suelo de la Facultad de Agronomía de la UNALM, para continuar con el procedimiento de identificación de colores (Figura 23). Se realizaron el secado natural por una hora, luego, se determinó el color de un suelo, mediante la comparación de una muestra del mismo con la plaquita de colores que componen cada una de las cartas de Munsell; esta comparación se hizo colocando la muestra en la ventana que se encuentra entre las placas coloreadas, se comparó varias alternativas, hasta encontrar con la placa que coincidiera, lo más cerca posible, con el color que tiene el suelo.

### 2.3. DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE DESCOMPOSICIÓN DE LA HOJARASCA Y BIOMASA SECA

La presencia de hojarasca en la superficie del suelo mejora la infiltración de agua y reduce el escurrimiento y la evaporación, por lo que la hojarasca superficial y la materia orgánica del suelo influyen el flujo de agua en el suelo y el régimen de humedad (Swift, 1987; citado por Buckles, et al., 1999).

El dosel de los árboles conjuntamente con la hojarasca, disminuyen la intensidad de caída de las gotas, evitando el impacto directo de las lluvias al suelo, por lo tanto hay más tiempo para la infiltración, de manera se aminora la erosión y escorrentía. Dada la importancia de la hojarasca en el proceso de infiltración se propuso la determinación de este, dentro de las plantaciones forestales con *Polylepis spp.*, de acuerdo al estado de descomposición.

Para determinar el grado de descomposición del mantillo u hojarasca, y por consiguiente, la determinación de la Biomasa seca de hojarasca, se realizó el procedimiento, en cada parcela de Bosque plantado, dentro de las áreas evaluadas; para ello se hizo uso de una cuadrícula de metal 0,5 m de lado, en la que se clasifico la hojarasca ( Figura 24). En todos los casos la hojarasca se disgregó según su estado de descomposición (de menor a mayor) siguiendo la metodología de Fassbender, 1993; citado por Roncal, et al., 2008:

- Baja descomposición. Material vegetal recién caída al suelo (hojas ramas con diámetro menor a 10 cm, flores, frutos, semillas) sin descomposición física.
- Media descomposición. Aquellas hojas, flores, frutos o ramas con diámetro menor a 10 cm. que se encuentran en estado necrótico, pero que todavía se pueden reconocer.
- Alta descomposición. Material vegetal reducido a fragmentos tan pequeños que generalmente se logra confundir con el suelo.



Figura 24: **A) Instalación de la cuadrícula de 0,25 m<sup>2</sup> B) Disgregación de muestras C) Embolsado y etiquetado.**

*FUENTE: Elaboración propia.*

Las porciones de muestras de hojarasca, fueron llevadas al laboratorio de pulpa y papel de la Facultad Ciencias Forestales de la UNALM, para continuar con la metodología. Las muestras son pesadas con ayuda de una balanza digital, con ello se pudo determinar el peso fresco, luego, las muestras son secadas en la estufa eléctrica por 75 horas para conseguir el peso seco constante, y con ello poder determinar la Biomasa seca de hojarasca (Figura 25). El cálculo de la Biomasa seca de hojarasca, se realizó aplicando la siguiente relación:

$$Bhs \left( \frac{t}{ha} \right) = \frac{sms}{smh} \times ms \times 10$$

Donde:

Bhs = Biomasa seca de hojarasca (t/ha).

smh = Masa de submuestra de hojarasca húmeda (Kg).

sms = Masa de submuestra de hojarasca seca (Kg).

ms = Masa de hojarasca colectada en la parcela de recorte (Kg/0,25 m<sup>2</sup>).

10 = Factor de conversión.



Figura 25: A) Peso de muestras de hojarasca B) Secado de muestras, por 75 horas.

*FUENTE: Elaboración propia.*

#### **2.4. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD INICIAL DEL SUELO POR EL MÉTODO DE BLOQUES DE YESO**

La humedad inicial del suelo, se determinó en las 12 parcelas evaluadas, horas antes de realizar las pruebas de infiltración, para ello se usó el instrumento medidor de la humedad; el cual funciona con dos alambres de cobre que están conectados a los polos de una batería seca a través de un tensiómetro modelo KS-1 que mide la corriente que fluye en el circuito cuando se humedece el bloque.

El sistema de medición de la humedad del suelo Delmhorst consta de dos partes: los bloques de suelo de yeso (sensores) y el instrumento medidor de la humedad modelo KS-1. Los

bloques (GB - 1) están hechos de yeso fundido alrededor de dos electrodos concéntricos. El yeso actúa como un amortiguador contra el efecto que las sales u otros productos químicos que puedan influir sobre la conductividad eléctrica. Los electrodos concéntricos limitan el flujo de corriente al interior del bloque, eliminando los efectos de la conductividad del suelo.

Cuando el bloque de yeso está enterrado en el suelo, absorbe la humedad del suelo o las emisiones de humedad en el suelo, hasta que su contenido de humedad de bloque, se pongan en equilibrio con la humedad del suelo. Cuando el bloque se conecta al medidor (KS-1) la corriente fluye entre los electrodos y la resistencia eléctrica del yeso se mide. Estas lecturas son una indicación de la humedad disponible para las plantas.

La metodología que se utilizó es la descrita por Delmhorst, (1999). El procedimiento se inicia con el cavado de un agujero, de aproximadamente 30 cm de profundidad; esto es realizado con una barreta, luego se hizo una pasta de suelo y agua de consistencia cremosa, de la cual se usó dos cucharadas para llenar el agujero, seguidamente se coloca el bloque de yeso, empujándolo hacia el interior con un tubo de aluminio, guiándolo hacia la parte más profunda del agujero, obligando así a que el bloque quede envuelto con la mezcla, por último se volvió a llenar el agujero con el mismo suelo retirado.

Los bloques de yeso enterrados, son dejados hasta el día siguientes, para obtener resultados más confiables. En la Figura 26 y 27 se ilustran los pasos que se siguieron para determinar la humedad inicial del suelo.



Figura 26: A) Formación de hoyos B) Profundidad del hoyo C) Instalación de los bloques de yeso.

FUENTE: Elaboración propia.



Figura 27: A) Cerrado de los hoyos B) Lectura de la humedad C) Retiro de los yesos.

FUENTE: Elaboración propia.

Una vez obtenidas la humedad inicial en campo (Bars), son interpretados en términos de contenido de humedad (porcentaje). Para ello se utilizó las gráficas de conversión de la lectura en metros versus tensión de la humedad y resistencia eléctrica, y la gráfica de la humedad del suelo disponible (Figura 28).

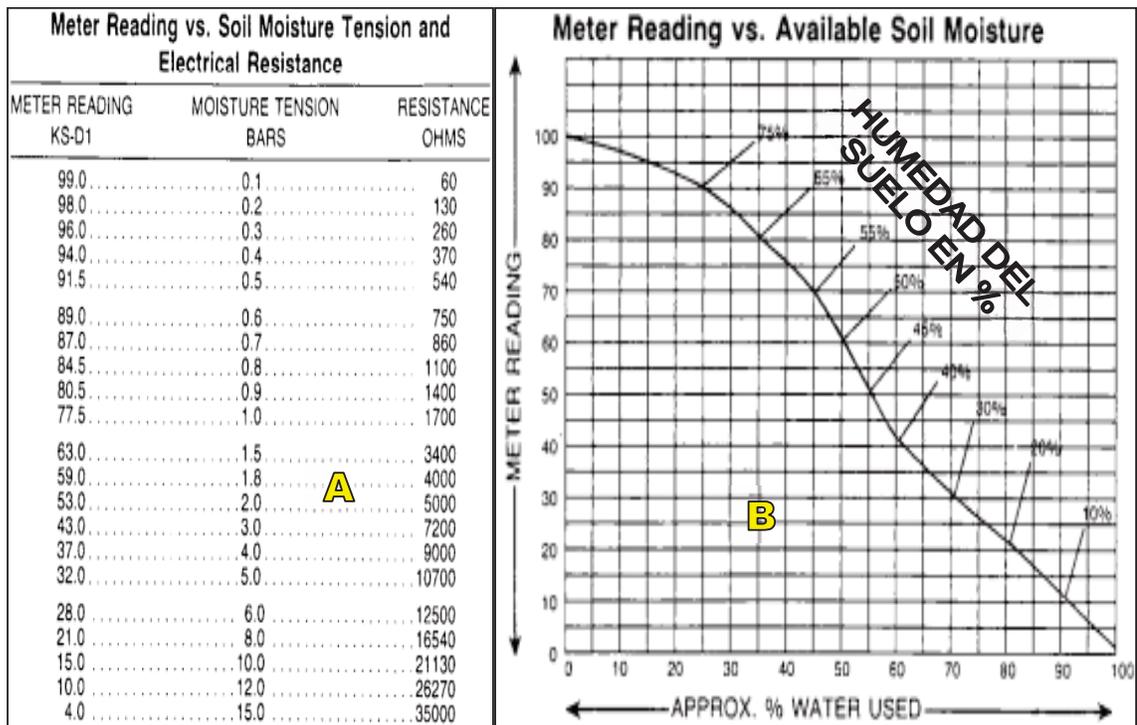


Figura 28: A) lectura en metros versus tensión de la humedad del suelo y resistencia eléctrica B) Humedad del suelo disponible.

FUENTE: Delmhorst, 1999.

## 2.5. TOMAS DE MUESTRAS DE LA INFILTRACIÓN

El método de cilindros infiltrómetros es el que se eligió para las pruebas de infiltración, por sus características técnicas y por las condiciones topográficas particulares de la zona; debido que el estudio se realizó en suelos de poca pendiente, escasa pedregosidad, condiciones adecuados de textura y estructura para una buena instalación de los cilindros.

Existen una variedad de medidas de la altura y diámetro de cilindros infiltrómetros, en las que se podría mencionar de 35, 45 y 57 centímetros de diámetro para el cilindro exterior y 22, 25, 32 centímetros para el diámetro interior. Los cilindros con diámetro de 45 cm, para el cilindro exterior y 30 cm, de diámetro para el cilindro interior, de 30 cm de altura para ambos, fueron los que se utilizaron en la siguiente investigación.

Se determinó la infiltración en cada parcela de las áreas evaluadas; es decir se realizó 12 ensayos (nueve en parcelas plantados con *Polylepis spp.* y tres en parcelas Testigo). Los cilindros infiltrómetros, fueron colocados en diferentes puntos dentro de cada parcela, formando una forma de diagonal a la derecha o diagonal a la izquierda, como se muestra en la Figura 29.

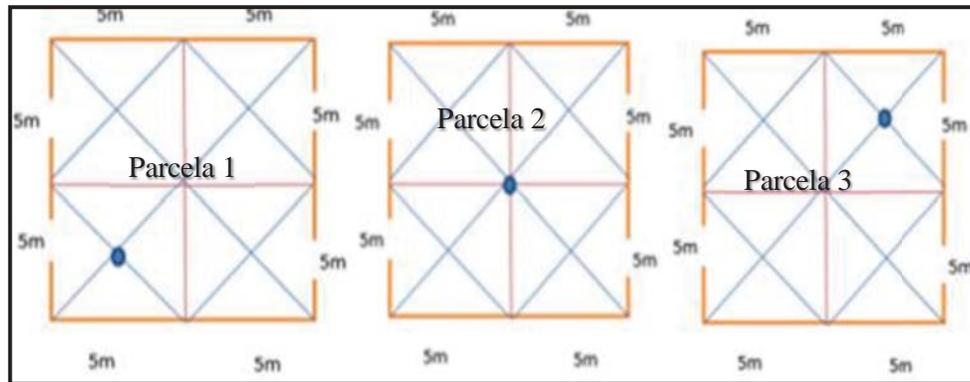


Figura 29: **Puntos donde se tomó la infiltración en cada área evaluada.**

*FUENTE: Elaboración propia.*

En la Figura 30 se ilustran los pasos que se realizaron en la prueba de infiltración con los cilindros infiltrómetros: En primer lugar se instaló el cilindro grande, de tal manera que quede fija en el suelo, una vez instalado este, se procedió a instalar el más pequeño. Seguidamente se habilitó una regla graduada que se colocó de forma vertical en la pared interior del cilindro pequeño, la marca de cero centímetros debió estar al ras del suelo.

El proceso de la instalación continuo como se observa en la Figura 31, para ello se colocó una bolsa de plástico en el cilindro interior, de tal manera que se cubra totalmente el suelo dentro de este. Terminado la instalación de los cilindros, se procedió con el llenado de agua en el interior y consecutivamente al exterior de esta, hasta que se terminó la prueba, como se observa en la Figura 32. Se inició las lecturas de la infiltración en el momento en que el plástico es retirado del interior del cilindro de mayor diámetro. Los ensayos de infiltración terminan con el retiro de los cilindros Infiltrómetros.

La inundación a la que se ve sometida el suelo no es representativa de las condiciones reales que se dan en la naturaleza, junto con el efecto de la columna sobre el suelo. Además cuando se utiliza este método se prescinde, del efecto de compactación producido por el impacto de las gotas de lluvia (Horton, 1940; citado por Blanco, 1999).



Figura 30: **A) Instalación de los cilindros B) Instalación de la regla graduada.**

*FUENTE: Elaboración propia.*



Figura 31: **A) Instalación de plástico B) Llenado de agua en el cilindro de menor diámetro C) Llenado de agua en cilindro de mayor diámetro.**

*FUENTE: Elaboración propia.*



Figura 32: A) Toma de medida del descenso de agua B) Retiro de los cilindros infiltrómetros.

*FUENTE: Elaboración propia.*

## 2.6. DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS

### 2.6.1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Los análisis de caracterización de suelo se realizaron en el laboratorio de análisis de suelos, plantas, agua y fertilizantes perteneciente al departamento de suelos de la Facultad de Agronomía de la UNALM.

### 2.6.2. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE

Esta se realizó mediante el método del cilindro metálico individual (Forsythe, 1947). Inicialmente se saturó con agua destilada el suelo dentro de un embudo con papel filtro por 30 horas. A continuación con la ayuda del cilindro metálico, que cuenta con un volumen definido, se extrae la muestra y se pone a la estufa a unos 105 °C hasta obtener un peso constante. Una vez obtenido el peso seco y conociendo el volumen se aplicó la siguiente fórmula:

$$Dap \text{ (gr/cm}^3\text{)} = ms \text{ (gr)}/Vs \text{ (cm}^3\text{)}$$

Dónde:

ms = Masa seca (gr)

Vs = Volumen saturado (cm<sup>3</sup>)

El proceso se inicia con la obtención de muestras de suelo, en las calicatas realizadas a una profundidad de 20 cm, con la ayuda de un cilindro metálico. El cilindro se introduce al suelo, mediante golpes en la parte superior. Una vez enterrado, se lo retira conjuntamente con el contenido de suelo, para luego ser etiquetado y obtener el peso fresco (Figura 33).



Figura 33: **Toma de muestra mediante el uso del cilindro metálico.**

*FUENTE: Elaboración propia.*

## **2.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN**

Para la interpretación y comparación la variabilidad de los resultados se utilizara la Prueba T-Student y el diagrama de cajas o Boxplot.

### **2.7.1. LA PRUEBA T-STUDENT.**

Es una prueba estadística paramétrica que se deriva de las distribuciones t, estas son una familia de distribuciones simétricas en forma de campana también conocida como distribución normal. Gómez (2006) indica que esta prueba sirve para evaluar si dos grupos difieren entre sí de manera significativa respecto a sus medias sobre una misma variable.

Para realizar esta prueba Moncana (2005) señala que debe cumplir ciertos requisitos como: las muestras deben seleccionarse aleatoriamente, la variable dependiente debe estar lo más normalmente distribuida en la población, las desviaciones estándar deben ser bastante similares y los valores de la variable dependiente deben ser medidos al nivel de intervalo o razón.

### **2.7.2. EL DIAGRAMA DE CAJAS O BOXPLOT.**

Estos tipos de gráficos es un modo de resumir la distribución de los valores de una variable. En vez de visualizar los valores individuales, se representan estadísticos básicos de la distribución: la mediana, el percentil 25, el percentil 75 y los valores extremos. En el análisis del gráfico, el ancho de la caja nos da una idea de la variabilidad de las observaciones. Si la mediana no está en el centro de la caja, podemos deducir que la distribución es asimétrica: asimétrica positiva si esta próxima al límite inferior de la caja y asimetría negativa si esta próxima al límite superior. Son gráficos especialmente útiles para comparar la distribución de los valores de una misma variable entre diferentes grupos (Sábado, 2009).

Hay diversas formas de construirlo, en este caso se hizo con la ayuda del programa IBM SPSS Statistics 21. Para construirlo se calculó primero el primer y el tercer cuartil (Q1 y Q3) y la mediana M. Se dibujó una caja que termine en Q1 y Q3 y se situó la mediana dentro de la caja. En el centro de los extremos de la caja se añadió líneas (whiskers) que van hasta los puntos más extremos sin embargo no son outliers.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1. CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

A continuación se mostrarán los resultados que se obtuvieron de las evaluaciones realizadas en las áreas estudiadas (BM\_29; BSM\_11; BM\_11 y área Testigo), como la humedad inicial in situ, la evaluación de los perfiles del suelo, obtención de la densidad aparente y la determinación de las características edáficas del suelo.

#### 1.1. HUMEDAD INICIAL DEL SUELO

Las lecturas obtenidas en campo de la humedad inicial fueron registradas en (Bars), para llevar al equivalente de porcentaje se siguieron los pasos mencionados en la metodología planteada, de acuerdo a esto se tiene el resultado de la Tabla 13.

Tabla 13: **Resultados de humedad inicial del suelo por método de bloques de yeso**

<i>Área</i>	<i>Lectura de la humedad en (Bars)</i>	<i>Humedad en (%)</i>
<i>BP_29</i>	10	13,5
<i>BSM_11</i>	8,8	17,7
<i>BM_11</i>	9,7	14,5
<i>Testigo (T)</i>	9,4	15

*FUENTE: Elaboración propia.*

En promedio el BSM\_11 presento (17.7%); el Testigo (T) (15 %); el BM\_11 (14.5%), el BP\_29 (13.5%) de humedad inicial del suelo (Tabla 13).

Los resultado muestran que el Testigo es el segundo que tiene mejor humedad inicial; ello pudo estar influenciado por la caída nocturna de nieve, que se presentó un día antes de la medición; el cual se evidencio con la presencia de rocío y escarchas de hielo sobre la capa superficial del suelo. En el caso de los bosques BP\_29 y el BSM\_11, no se observó una

cantidad considerable de escarchas de hielo, sobre la superficie del suelo; esto porque, la copas de los árboles, protegen al suelo, de las caídas de nieve y fuertes precipitaciones.

Al encontrarse la zona de estudio en el fondo de valle con una topografía uniforme y suave, favorece la retención y acumulación del agua, por lo tanto, presentara más humedad el área Testigo a ciertas horas del día, mientras que el BSM\_11 presenta mayor humedad a lo largo del tiempo por su característica propia del tipo de Bosque.

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

## 1.2. COLORES DEL SUELO PRESENTES EN LAS CALICATAS

El color del suelo depende por un lado de la materia orgánica, así como de los procesos químicos de componentes minerales de la roca parental. Es decir el color es el resultado de la combinación de ellos y revela sus magnitudes.

Tabla 14: Colores representativos de los horizontes del suelo

CALICATA	CAPA ORGÁNICA	CAPA 1	CAPA 2	CAPA 3
<b>BP_29/ Calicata 1</b>		10 YR 3/2	2.5Y 5/6	
		VERY DARK GRAYISH BROWN	LIGHT OLIVE BROWN	
<b>Altura en ( cm )</b>	12	19	21	
<b>BM_11/ Calicata 2</b>		10 YR 4/1	10 YR 5/1	5 Y 4/2
		DARK GRAY	GRAY	OLIVE GRAY
<b>Altura en ( cm )</b>	14	17	11	10
<b>Testigo (T)/ Calicata 3</b>		10 YR 3/1	7.5 YR 3/3	10 YR 4/3
		VERY DARK GRAY	DARK BROWN	BROWN
<b>Altura en ( cm )</b>	13	8	14	17
<b>BSM_11/ Calicata 4</b>		10 YR 3/1	10 YR 4/1	10 YR 5/1
		VERY DARK GRAY	DARK GRAY	GRAY
<b>Altura en ( cm )</b>	12	7	22	11

FUENTE: Elaboración propia.

La Tabla 14 muestra el resultado de los colores presentes de los horizontes, dentro de las calicatas realizadas. La calicata del BP\_29 muestra el color 10 YR 3/2 (color pardo grisáceo oscuro), también se observa el color 2.5 Y 5/6 (pardo oliva claro). La calicata del BM\_11 presenta el color 10 YR 4/1 (gris oscuro), también está presente el color 10 YR 5/1 (gris), por último está presente el color 5Y 4/2 (gris oliva). La calicata del Testigo presenta el color 10 YR 3/1 (gris muy oscuro), seguidamente se observa el color 7.5 YR 3/3 (marrón oscuro), también se presenta el 10 YR 4/3 (marrón). La calicata de BSM\_11 presenta el color 10 YR 3/1 (gris muy oscuro), 10 YR 4/1 (gris oscuro) y por último el color 10 YR 5/1 (gris).

Teniendo en cuenta los colores grisáceos (que indican procesos de reducción) y el alto porcentaje de materia orgánica, el suelo con Bosque sin manejo de 11 años (BSM\_11), presenta deficiencia en la actividad de los microorganismos, esto por la falta de oxígeno, este hecho, también podría estar pasando en el Bosque manejado, de 11 años, pero en menor intensidad.

Tabla 15: **Descripción de capas en el perfil del suelo**

<b>Capa orgánica</b>	Formado por hojarasca, césped de altura, raíces superficiales, suelo superficial y Horizonte O.
<b>Capa1</b>	Horizonte A, debajo de la capa superficial.
<b>Capa2</b>	Horizonte Intermedio E.
<b>Capa3</b>	La medida de la altura de esta capa puede ser mayor, pero solo se consideró hasta los 52 cm de profundidad, que influye el Horizonte E y B.

*FUENTE: Elaboración propia.*

La Tabla 15 se describe la denominación de los Horizontes como: capa orgánica, capa1, capa2 y capa3, los cuales están en base de la profundidad del color que estas alcanzan dentro del perfil del suelo. La capa orgánica, está determinada por el colchón de materia orgánica, hojarasca, raíces superficiales, suelo superficial y Césped de altura, que es predominante en el área Testigo. Las parcelas evaluadas presentan una capa orgánica profunda, que va de 12 a 14 centímetros, esto influye positivamente en la infiltración del agua.

### **1.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO**

Los suelos de la quebrada Quilcayhuanca son permanentemente humedecidos por los deshielos, caídas de agua, nieve y espejos de agua que brotan hacia la superficie. El proceso de evaluación de los suelos comprendió el análisis de caracterización físico-químico.

En la Tabla 16 se aprecian los resultados del análisis físico suelo, como clase textural; además algunas propiedades químicas como el pH, cationes cambiables, la capacidad de intercambio catiónico, cantidad de potasio y fosforo y el porcentaje de materia orgánica. Estos para cada tipo de Bosque plantado y el área Testigo.

Tabla 16: **Características físicas y químicas del suelo, de las áreas evaluadas**

Área	pH (1:1)	C.E.					Análisis Mecánico			Clase Textural	CIC	Cationes Cambiables					Suma de Cationes	Suma de Bases	% Sat. De Bases
		(1:1)	CaCO <sub>3</sub>	M.O.	P	K	Arena	Limo	Arcilla			Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>			
		dS/m	%	%	ppm	ppm	%	%	%			meq/100g							
Bosque Sin Manejo de 11 años (BSM_11)	4.49	0.11	0.00	5.56	3.7	118	52	40	8	Fr.	18.40	1.13	0.28	0.57	0.26	2.20	4.45	2.25	12
Bosque plantado de 29 años (BP_29)	4.58	0.08	0.00	6.46	2.9	72	62	32	6	Fr.A	20.80	0.80	0.23	0.63	0.30	2.00	3.97	1.97	9
Bosque Manejado de 11 años (BM_11)	4.45	0.11	0.00	7.80	2.9	108	48	38	14	Fr.	29.12	1.36	0.32	0.61	0.30	3.30	5.88	2.58	9
Testigo (T)	4.81	0.10	0.00	7.52	3.0	106	68	26	6	Fr.A	24.80	2.46	0.38	0.55	0.26	1.60	5.26	3.66	15

FUENTE: Elaboración en base a los resultados de los análisis de suelo realizados en la UNALM.

### 1.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA TEXTURA DEL SUELO

La Tabla 17 se observa que el Bosque sin manejo, de 11 años (BSM\_11) y Bosque manejado, de 11 años (BM\_11) presentan una textura franco con 8 y 14 % de contenido de arcilla. Se trata de los suelos más adecuados en términos generales para el desarrollo de cobertura vegetal con fines de propagación y desarrollo de pastoreo con bajo intensidad. Esta clase textural presenta una buena infiltración.

Mientras las parcelas de Bosque plantado, de 29 años (BP\_29) y el Testigo (T) presentan una textura de franco arenoso, cuyos valores son seis por ciento de arcilla en ambas parcelas. Los suelos de esta clase textural, que tienen presencia de arena en 62 a 68 %, hace que casi toda

su porosidad sea de tipo macroporo, por lo cual la permeabilidad es rápida y en consecuencia la infiltración es buena.

Tabla 17: **Características texturales de los suelos evaluados**

Área	Análisis Mecánico			Clase Textural
	Arena en (%)	Limo en (%)	Arcilla en (%)	
<b>BP_29</b>	62	32	6	Franco arenoso
<b>BSM_11</b>	52	40	8	Franco.
<b>BM_11</b>	48	38	14	Franco
<b>Testigo (T)</b>	68	26	6	Franco arenoso

FUENTE: Elaboración propia, basado en los resultados del análisis de suelos.

### 1.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL PH DEL SUELO

El pH del suelo es una de las propiedades químicas más relevantes ya que controla la movilidad de iones, la precipitación y disolución de minerales, las reacciones redox, el intercambio iónico, la actividad microbiana y la disponibilidad de nutrientes (Vásquez, 2005).

Tabla 18: **Registro las características de pH de suelos evaluados**

Área	pH (1:1)	Rango	Calificación
<b>BP_29</b>	4,58	4,5 – 6,5	Muy fuertemente ácido
<b>BSM_11</b>	4,49	4,5 – 6,5	Muy fuertemente ácido
<b>BM_11</b>	4,45	4,5 – 6,5	Muy fuertemente ácido
<b>Testigo (T)</b>	4,81	4,5 – 6,5	Muy fuertemente ácido

FUENTE: Elaboración propia, basado en los resultados del análisis de suelos.

La Tabla 18 se muestra el resultado del análisis de suelo en cuanto al pH, el BM\_11 presenta la acidez más marcada de las cuatro áreas evaluadas con un pH de 4,45., le sigue el BSM\_11 con una acidez de 4,49., el BP\_29 tiene una acidez de 4,58, el Testigo, cuenta con un pH de 4.81, este valor es ligeramente superior a los registrados en los bosques plantados.

La acidez que presenta las áreas evaluadas, se encuentran el rango de acidez muy fuertemente ácido (4.2 - 5), y la fuente de su acidez es principalmente por la materia orgánica, que suelta iones de H de sus estructuras carboxílicas (COOH).

### 1.3.3. CARACTERÍSTICAS DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

La materia orgánica es una característica que puede cambiar en el corto plazo, tanto por transformación, como por pérdida vía erosión o descomposición. Los altos valores registrados de la materia orgánica en la quebrada Quilcayhuanca, brindan agregación y la estabilidad estructural al suelo, estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo.

Tabla 19: Registro de las características de materia orgánica de los suelos evaluados.

Área	Materia Orgánica en (%)	Rango	Calificación
<b>BP_29</b>	6,46	> 5,0	Muy alto
<b>BSM_11</b>	5,56	> 5,0	Muy alto
<b>BM_11</b>	7,8	> 5,0	Muy alto
<b>Testigo (T)</b>	7,52	> 5,0	Muy alto

FUENTE: Elaboración propia, basado en los resultados del análisis de suelos

En la Tabla 19 se puede observar que la materia orgánica presente en los suelos evaluados es muy alto, también se observa que existen diferencias marcadas entre ellos. El BM\_11 con 7,80%, y el Testigo (T) con 7,52%, presentan los valores más altos; esto debido, a la acumulación del material orgánico; la materia orgánica se acumula tanto por la cantidad de aporte (presencia de cobertura vegetal), por la lenta o muy lenta velocidad de descomposición, debido a que hay pocos microorganismos o la lenta acción. La baja actividad de los microorganismos se puede deber a temperaturas muy bajas o a deficiencia de oxígeno.

El valor alto de materia orgánica del suelo en todas las áreas evaluadas, es debido también a los aportes orgánicos de los excrementos de los animales que pasan de forma regular por las parcelas (principalmente, en el área Testigo) y al hecho de que mantiene una cubierta vegetal espontánea de forma constante a lo largo de todo el año.

### 1.3.4. LA DENSIDAD APARENTE.

En la Tabla 20 se detalla los resultados de la densidad aparente obtenidos en cuatro parcelas de las cuatro áreas evaluadas, de ello se obtuvo que el Testigo (T), es significativamente mayor que la del BM\_11, BSM\_11 y el BP\_29; se atribuye este valor obtenido a la compactación debida al paso del ganado y en menor medida al tránsito de las personas.

Tabla 20: **Densidad aparente de los suelos evaluados**

<b>N° de parcela</b>	<b>Denominación de las Parcelas</b>	<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Dap (G/cm<sup>3</sup>)</b>
1	BP_29 – Calicata 1	20	0,47
2	BSM_11 – Calicata 4	20	0,66
3	BM_11 – Calicata 2	20	0,95
4	Testigo (T) – Calicata 3	20	1,07

FUENTE: *Elaboración propia, basado en los resultados del análisis de suelos.*

Gutiérrez (2010) menciona que los suelos de textura gruesa, poco estructurados y con bajos contenidos de materia orgánica tienen la densidad aparente alta. Donoso (1992) señala que los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, estas características presentan el BP\_29 y BSM\_11.

## 2. BIOMASA DE HOJARASCA EN EL SUELO

La acumulación de hojarasca sobre la superficie del suelo, tiene un papel importante en el reciclado de los nutrientes, también actúa como un estrato aislante; protegiendo al suelo de los cambios extremos de temperatura y humedad, así mismo, evita y disminuye la erosión y brinda condiciones favorables para la infiltración del agua. Se pudo observar que la hojarasca del *Polylepis spp.*, se encontraba constituida en porcentajes similares de hojas y corteza.

Tabla 21: **Resultado de la masa de hojarasca de las áreas de estudio**

Área	Capa	Masa de hojarasca recolectada (Kg)	Masa de submuestra húmedo (Kg)	Masa de submuestra seco (Kg)	Masa seca (Kg)	Biomasa seca de hojarasca (t/ha)
BP_29	Capa 1	0,163	0,008	0,003	0,068	2,713
	Capa 2	0,477	0,008	0,004	0,209	8,371
	Capa 3	0,376	0,009	0,004	0,182	7,282
BSM_11	Capa 1	0,163	0,009	0,005	0,098	3,904
	Capa 2	0,192	0,01	0,005	0,092	3,675
	Capa 3	0,308	0,01	0,005	0,154	6,166
BM_11	Capa 1	0,069	0,007	0,005	0,045	1,788
	Capa 2	0,124	0,008	0,005	0,066	2,634
	Capa 3	0,235	0,009	0,005	0,126	5,02

FUENTE: *Elaboración propia.*

BM\_11 y el BSM\_11, tienen la mayor concentración de hojarasca en el tercer nivel de descomposición (capa 3); mientras que en el BP\_29, la mayor tasa de descomposición de hojarasca, está en el segundo y tercer nivel (capa 2 y capa 3) (Tabla 21). Se denomina al nivel de descomposición de la hojarasca con el número de capa correspondiente; es decir la capa 1 corresponde al material de baja descomposición; capa 2, al material de media descomposición y la capa 3, al material de alta descomposición.

La hojarasca, en la capa 1, es más o menos uniforme a lo largo del sitio, de fácil identificación. En la capa 2, la cantidad de hojarasca es ligeramente a moderadamente reducida y son un tanto irregular a lo largo del sitio. La cantidad de hojarasca, en la capa 3, es difícil de diferenciar de la capa 2, y se presenta combinada con el suelo superficial.

Los resultados, de la conversión de hojarasca fresca obtenidas en las áreas evaluadas, a Biomasa seca de hojarasca en (t/ha), de ello se obtiene que el BM\_11 tiene un total 28,33 t/ha; mientras el BSM\_11 tiene 41,23 t/ha; y para el BP\_29 se tiene 55,09 t/ha (Anexo 3). Estos resultados son los esperados para las áreas evaluadas, ya que cuantos más años tenga la plantación habrá mayor acumulación de mantillo sobre la superficie del suelo.

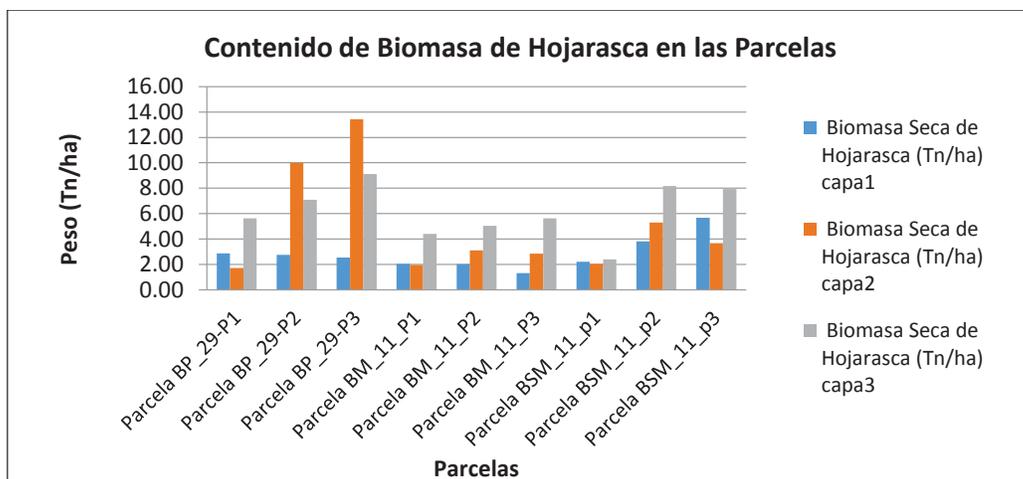


Figura 34: **Contenido de Biomasa seca de hojarasca.**

*FUENTE: Elaboración propia.*

En la Figura 34 se muestra la presencia de hojarasca por capas en todas las parcelas evaluadas, en ello se muestra que la Biomasa seca en la capa 3, es predominante en siete parcelas evaluadas y solo en la parcela dos y tres del BP\_29 la Biomasa seca es mayor en la capa 2. La Biomasa seca en la capa 1 es la más baja en la gran mayoría de las parcelas, es decir tiene una baja descomposición en la primera capa.

Por otro lado, la abundante hojarasca que se observó en el suelo puede deberse a la propia especie caducifolia, con hojas pequeñas y textura gruesa; sin olvidar mencionar que esta especie se encuentra en macizos. Por otro lado, cantidad de hojas, corteza, frutos y ramillas, que se encuentran en estos bosques, genera una especie de colchón natural, de gran espesor que amortigua y retiene una mayor cantidad de agua por mayor tiempo ocasionando que haya una mayor infiltración.

Además, es necesario mencionar, que el Bosque plantado, de 29 años (BP\_29) se encuentra protegido; es decir no existe la presencia de animales doméstico y raras veces se tiene la presencia de animales silvestres en el área de estudio. Esto se traduce en un mejoramiento de las condiciones de cobertura vegetal y al mismo tiempo contribuyen a la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo. Para el Bosques manejados, de 11 años (BM\_11), la capa de hojarasca presente en el suelo, fue menor que el BP\_29 y el BSM\_11, sin embargo, cumple con las funciones y protección y mejora del suelo.

### 3. INFILTRACIÓN

Los resultados obtenidos de la infiltración serán descritos en los ítems líneas abajo, estos son producto de los ensayos con los cilindros infiltrómetros, en todas las parcelas de las áreas estudiadas: Bosque plantado con *Polylepis spp.*, de 29 años (BP\_29), Bosque plantado con *Polylepis racemosa* manejado, de 11 años (BM\_11), Bosque plantado con *Polylepis racemosa* sin manejo, de 11 años (BSM\_11) y área Testigo (T) sin presencia de especies arbóreas, ni arbustivas.

#### 3.1. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN INSTANTÁNEA

La velocidad de infiltración instantánea es la rapidez con la que el agua se filtra en el suelo. Ella varía con el transcurso del tiempo, así al comienzo de la evaluación, la velocidad será más grande e irá disminuyendo, hasta llegar a un valor constante.

Tabla 22: Velocidad de infiltración instantánea (cm/h) para las áreas evaluadas

<i>Tiempo parcial (min)</i>	<i>BP_29 (cm/h)</i>	<i>BSM_11 (cm/h)</i>	<i>BM_11 (cm/h)</i>	<i>Testigo (cm/h)</i>
1	278	160	204	117
1	76	20	94	78
1	36	40	44	57
1	36	34	42	24
1	26	36	60	18
1	24	26	30	30
1	18	28	26	30
1	42	32	18	27
1	26	36	22	21
1	20	32	22	18
3	14,7	18,7	36	17
3	12	16,7	37,3	18
3	10	19,3	26	16
5	13,2	22,8	18	11,4
<b>Promedio</b>	45,1	37,3	48,5	34,5

FUENTE: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 22, el BP\_29, inicia con una velocidad de infiltración alta en el primer minuto de medición (278 cm/h), pero baja muy rápido en el segundo minuto de la prueba (76/ cm/h). Este cambio tan brusco pudo estar influenciado por la vegetación que se encuentra el estrato bajo, específicamente la *Festuca Weberbauri*, por la presencia de musgos, y por la alta acumulación de hojarasca, sobre la superficie del suelo. Los Musgos, por su naturaleza propia, son especies que captan y almacén agua de forma violenta, hasta llegar a su punto de saturación.

También se da un cambio brusco el BSM\_11, en los dos primeros minutos de la evaluación, descendiendo de 160 cm/h a 20 cm/h. Esta variación debió estar influenciado por la vegetación presente debajo del dosel como *Lachemilla orbiculata*, *Alchemilla pinnata*, presencia de hojarasca y por los musgos. En BM\_11 también se encuentra especies herbáceas como la *Stipa sp*, *Alchemilla pinnata*, *Werneria nubigena*, que pudieron haber influencia en la disminución de la velocidad de infiltración instantánea.

El área Testigo, no hay un cambio tan brusco de la velocidad de infiltración instantánea (117 cm/h a 78 cm/h), este hecho, pudo estar influenciado, por la humedad inicial, el Césped de altura. El no presentar hojarasca sobre su superficie, reduce, la rapidez con la que ingresa el agua en los primeros minutos del ensayo (Tabla 22).

En promedio los resultaron fueron: BM\_11 (48,5 cm/h); BP\_29 (45,1 cm/h); BSM\_11 (37,3 cm/h) y Testigo (34,5 cm/h). Este resultado está influenciado por el comportamiento de la infiltración, del minuto 11 al 19, donde se registraron valores altos para el BM\_11, BSM y el Testigo, mientras que BP\_29 presento el valor más bajo (Tabla 22)

**Tabla 23: Promedio de la velocidad de infiltración instantánea (cm/h) en tiempo parciales**

<i>Tiempo parcial (min)</i>	<i>BP_29 (cm/h)</i>	<i>BSM_11 (cm/h)</i>	<i>BM_11 (cm/h)</i>	<i>Testigo ( cm/h)</i>
1	58,2	44,4	56,2	42
3	12,2	18,2	33,1	17
5	13,2	22,8	18	11,4

FUENTE: *Elaboración propia.*

En promedio no hay diferencias marcadas en los primeros 10 min de la evaluación en los valores del BP\_29 (58,2 cm/h) y el BM\_11 (56.2 cm/h); tampoco hay una diferencia marcada entre Testigo (42 cm/h) y el BSM\_11 (44.4 cm/h), pero si existe una diferencia bien marcada del BP\_29 (33,1 cm /h), en los siguientes nueve minutos de la prueba, en comparación con las demás áreas evaluadas. Hay un descenso gradual de la velocidad de infiltración en promedio en Testigo y el BM\_11, mientras que en promedio, el BP\_29 y el BSM\_11, presentan un incremento de la velocidad en los últimos 5 minutos de la prueba. (Tabla 23).

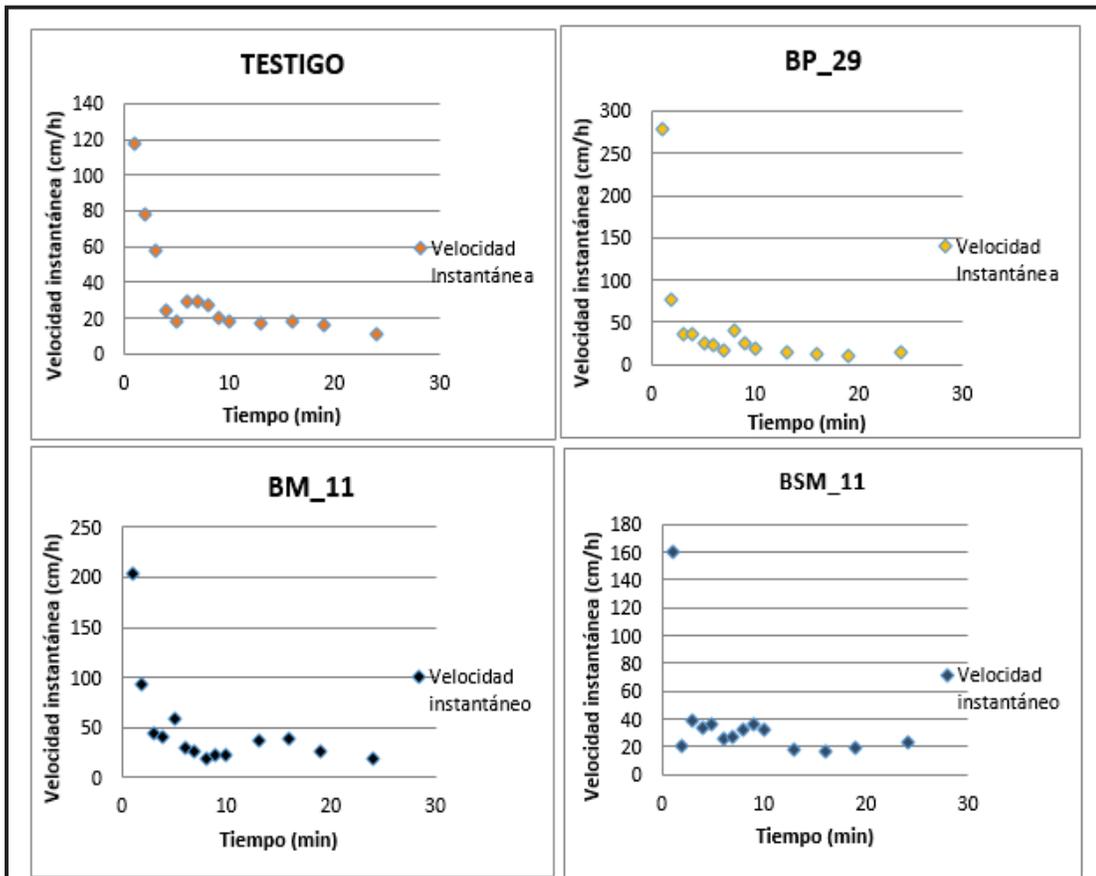


Figura 35: Velocidad de infiltración instantánea de tres tipos de bosques plantados y área Testigo.

FUENTE: Elaboración propia.

El suelo con cobertura de BP\_29, inicia con (278 cm/h), luego decrece hasta el minuto siete, luego, presenta un leve aumento, para después seguir disminuyendo. Mientras que el suelo con BM\_11 muestra la tendencia siguiente: inicia con una velocidad de (204 cm/h), luego

disminuyó a (18,0 cm/h), posteriormente se incrementa a (37,3 cm/hora) y después tiende a decrecer a (18 cm/h). Finalmente el Testigo y el BSM\_11 presentan un comportamiento similar a la del BM\_11 y el BP\_29 (Figura 35).

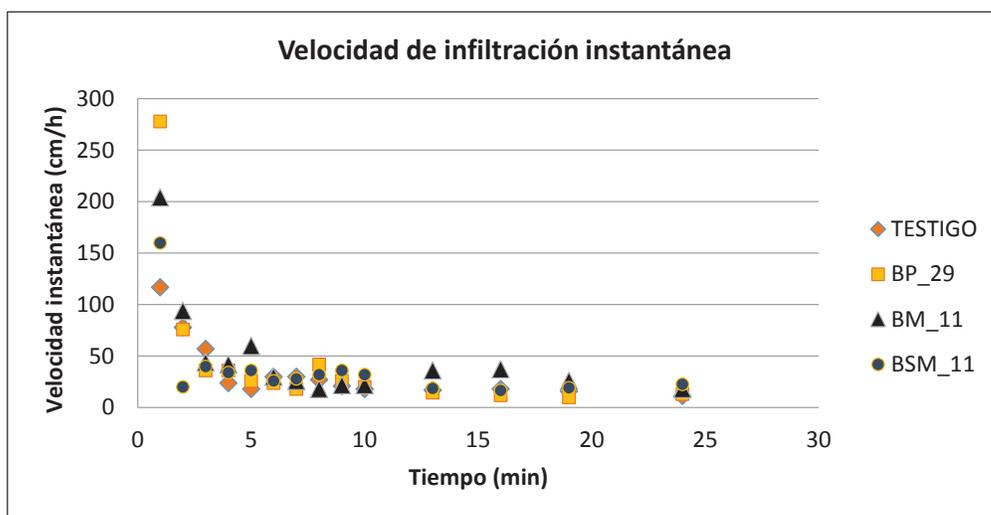


Figura 36: Gráfica de dispersión de la velocidad de infiltración instantánea en las áreas de estudio.

FUENTE: Elaboración propia.

Hay una clara la diferencia entre los suelos con cobertura de Bosque de *Polylepis* y sin cobertura de Bosque de *Polylepis* (Figura 36). Las curvas con cobertura (BP\_29, BM\_11 y BSM\_11) muestran la tendencia de tener una mayor velocidad de infiltración al inicio y luego con el paso del tiempo va disminuyendo hasta alcanzar una constante. El comportamiento del Testigo es similar a la de los Bosques, con la diferencia que inicia con menor velocidad de infiltración.

Se ha observado en las curvas de infiltración que la tendencia de la velocidad es de disminuir con el tiempo, esto se debe a que la infiltración es mayor al principio y a medida que pasa el tiempo los poros del suelo se van llenando y la capacidad de absorber agua disminuye hasta alcanzar un valor constante (Se considera que ha alcanzado esta constante, cuando la disminución es del 10% en una hora) por lo tanto se concluye que sobre los 40 minutos estarán muy próximos a la constante, para ello el BP\_29 disminuirá de (278 a 27,8 cm/h), el

BM\_11 de (204 a 20,4 cm/h), para el BSM\_11 de (160 a 16 cm/h) y el Testigo de (117 a 11,7 cm/h).

### 3.2. VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN ACUMULADA

La velocidad de infiltración acumulada nos permite determinar la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo. Los resultados que obtuvieron son producto de los ensayos con el uso de los cilindros infiltrómetros para la infiltración.

Tabla 24: **Velocidad de infiltración acumulada (cm/h) de las áreas evaluadas**

<i>Tiempo acumulado (min)</i>	<i>BP_29 (cm/h)</i>	<i>BSM_11 (cm/h)</i>	<i>BM_11 (cm/h)</i>	<i>Testigo (cm/h)</i>
1	278	160	204	117
2	177	90	149	97,5
3	130	73,3	114	84
4	106,5	63,5	96	69
5	90,4	58	88,8	58,8
6	79,3	52,7	79	54
7	70,6	49,1	71,4	50,6
8	67	47	64,8	47,6
9	62,4	45,8	60	44,7
10	58,2	44,4	56,2	42
13	48,2	38,5	51,5	36,2
16	41,4	34,4	48,9	32,8
19	36,4	32	45,3	30,2
24	31,6	30,1	39,6	26,3

*FUENTE: Elaboración propia.*

Conforme avance el tiempo la velocidad de infiltración disminuye considerablemente (Tabla 24), 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.

Los suelos con cobertura de Bosque plantado, presentan una mayor velocidad de infiltración que los suelos sin cobertura Forestal, esta diferencia es más marcada si comparamos el Testigo con el BP\_29 o el Testigo con el BM\_11. Al comparar el BSM\_11 con el Testigo, resulta

que no hay diferencias marcadas, después del primer minuto, este comportamiento podría ser explicado por la humedad inicial del suelo (17% y 15%), ya que, ambos registraron los valores altos en este ensayo La textura del suelo, no fue factor determinante, en el comportamiento de la velocidad de infiltración, debido que son de Textura franco y franco arenoso (Tabla 24).

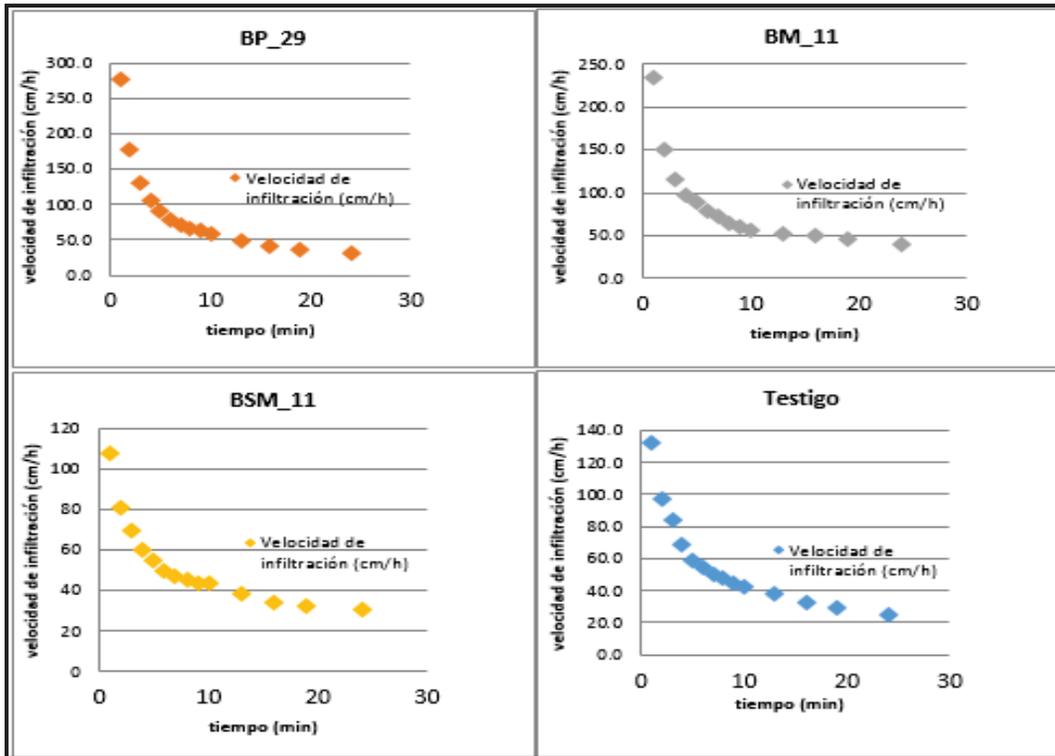


Figura 37: Velocidad de infiltración acumulada para las áreas evaluadas.

FUENTE: Elaboración propia.

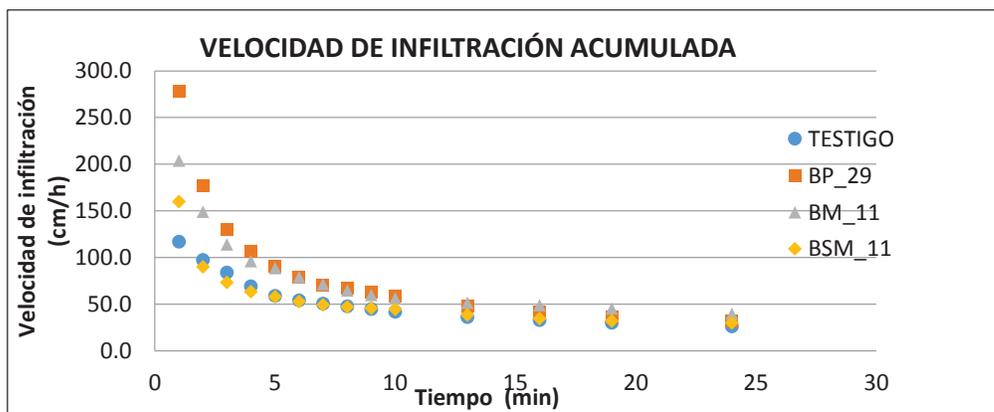


Figura 38: Velocidad de infiltración acumulada de las áreas evaluadas.

FUENTE. Elaboración propia.

Las Figuras 37 y 38, muestran las cuatro curvas de la velocidad de infiltración acumulada, de las áreas evaluadas. Hay una clara diferencia entre los suelos con y sin cobertura boscosa de *Polylepis spp.* Los bosques plantados con *Polylepis* (BP\_29, BM\_11 y BSM\_11) muestran 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 que representa la velocidad sin cobertura, específicamente al área Testigo (T) la velocidad inicial que presentan es menor pero siguen el mismo comportamiento. Las curvas que genera la velocidad de infiltración, con el transcurso del tiempo se hará recta, esto cuando las especies y el suelo admita siempre la misma cantidad constante de agua.

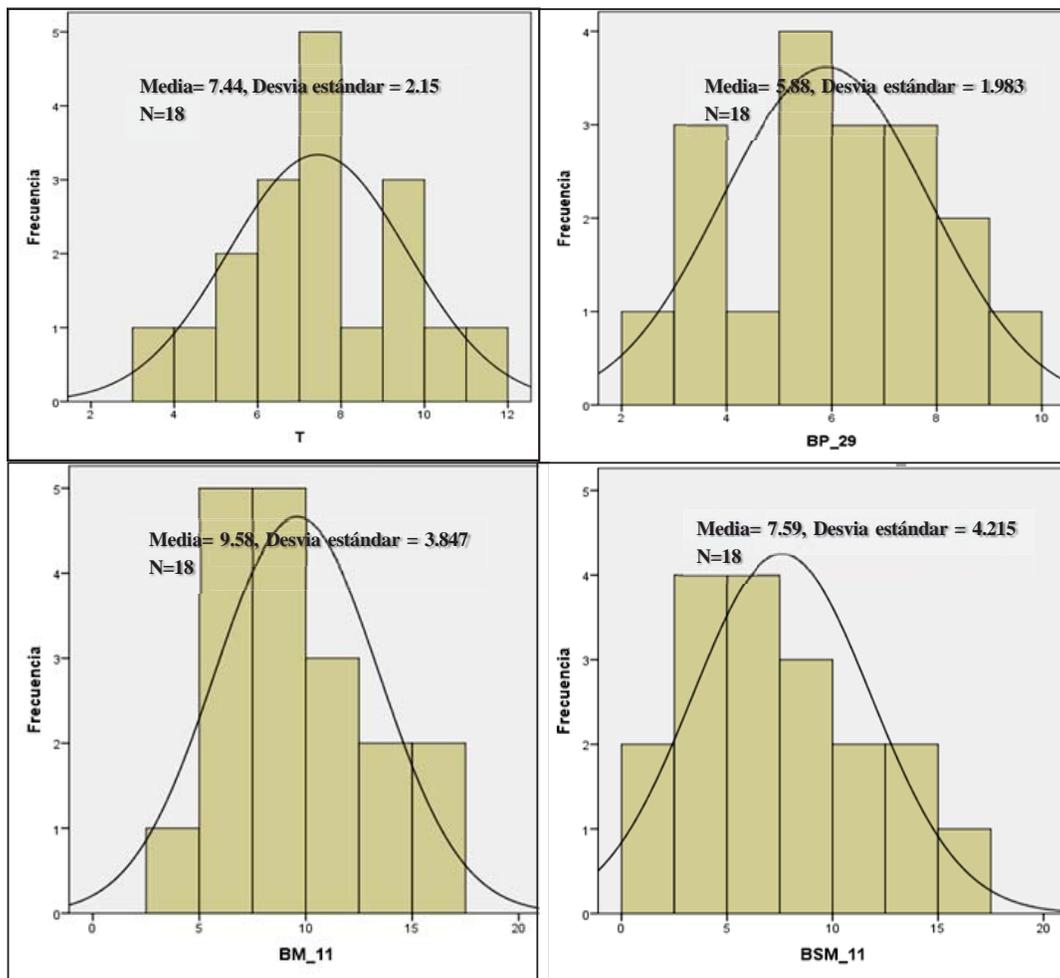


Figura 39: **Histogramas de frecuencias de los bosques plantados con *Polylepis spp.*, y área Testigo.**

FUENTE: Elaboración propia.

De los histogramas presentados (Figura 39), se puede observar las cuatro áreas evaluadas presentan distribución aproximadamente normal y tienen una forma acampanada. El histograma del área Testigo (T) presenta la mejor distribución, debido a que la mayoría de los datos se concentran en la parte central haciendo más homogénea la muestra. El histograma del Bosque plantado con *Polylepis spp.*, de 29 años (BP\_29) presenta una distribución normal, con sus datos un tanto sesgado. El histograma del Bosque plantado de *Polylepis spp.*, manejado de 11 años (BM\_11) presenta una distribución de datos cercana a la del Testigo (T), pero al presentar un elevado grado de concentración alrededor de los valores centrales de la variable la distribución tiende a ser leptocurtica. El histograma del Bosque plantado con *Polylepis spp.*, sin manejo de 11 años (BSM\_11) tiende a una distribución normal, con sus datos un tanto sesgados a la derecha pero poco dispersos.

### 3.3. LÁMINA ACUMULADA DE LA INFILTRACIÓN

En la Tabla 25 muestra los valores de la lámina infiltrada acumulada en las cuatro áreas evaluadas en la prueba de infiltración con los cilindros infiltrómetros. La lámina se acumula en el suelo y aumenta con el tiempo.

Tabla 25: Lámina acumulada infiltrada (cm) de las áreas evaluadas

<i>Tiempo acumulada (min)</i>	<i>BP_29 (cm)</i>	<i>BSM_11 (cm)</i>	<i>BM_11 (cm)</i>	<i>Testigo (cm)</i>
1	4,6	2,7	3,4	2
2	5,9	3	5	3,3
3	6,5	3,7	5,7	4,2
4	7,1	4,2	6,4	4,6
5	7,5	4,8	7,4	4,9
6	7,9	5,3	7,9	5,4
7	8,2	5,7	8,3	5,9
8	8,9	6,3	8,6	6,4
9	9,4	6,9	9	6,7
10	9,7	7,4	9,4	7
13	10,4	8,3	11,2	7,9
16	11	9,2	13	8,8
19	11,5	10,1	14,3	9,6
24	12,6	12	15,8	10,5

FUENTE: Elaboración propia.

Un suelo con cubierta arbórea mantiene una infiltración elevada en una situación dada tal como se muestra en los BM\_11; BSM\_11 y BP\_29. Se esperaba que en los bosques adultos de *Polylepis* (BP\_29) presenten una infiltración mayor que las masas arbóreas jóvenes de bosques plantados con *Polylepis* de 11 años, sin embargo la vegetación que presentan debajo del dosel influyen directamente en los resultados.

El Testigo presenta una lámina infiltrada (10,5 cm) en el minuto 24, este valor está por debajo de los bosques plantados, sin embargo, representa una alta infiltración, esto se debe porque el suelo no se encuentra desnudo, en esta área crecen especies como *Plantago rígida*, *Alchemilla pinnata*, *Werneria nubigen*, y en la que predomina el *Cesped de altura*. Presenta una buena textura (franco arenoso) y se ha evidenciado en campo, la presencia de lombrices de tierra en la capa superficial del suelo.

Los suelos con plantaciones de *Polylepis spp.*, presentaron una lámina infiltrada acumulada elevada a lo largo del tiempo que duro la evaluación, registrando los valores más altos el BM\_11 (15,8 cm), le sigue BP\_29 (12,6 cm); detrás de estos dos está el BSM\_11 con (12 cm) y por último el Testigo con (10,5 cm). Por lo tanto se muestra una diferencia marcada de la cantidad de agua que ingresa en las diferentes áreas estudiadas (Tabla 25).

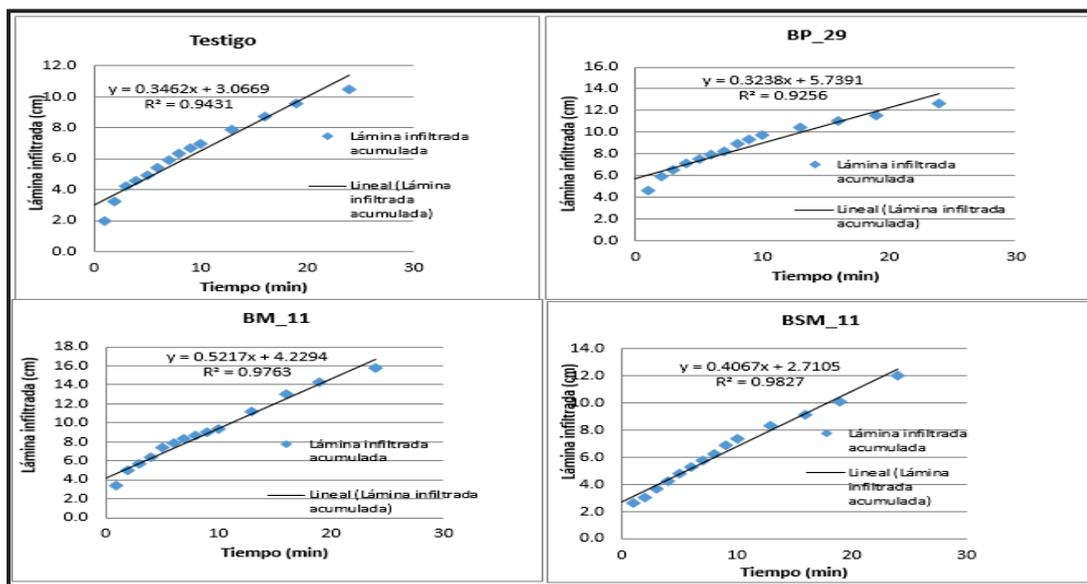


Figura 40: Gráfico de dispersión de datos de la lámina infiltrada, en las áreas evaluadas.

FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 40 se muestran las gráficas de dispersión de datos para la lámina infiltrada de cada uno de las áreas estudiadas. De las gráficas obtenidas se menciona lo siguiente:

- El grado de influencia del Testigo (T) es de 94,31%, es decir hay buena asociación lineal entre las variables en la lámina acumulada en el proceso de infiltración. El grado de influencia a través del tiempo esta explicado en un 94,31% con un modelo de regresión lineal.
- El grado de influencia Bosque plantados de 29 años (BP\_29) es del 92,56% es decir hay buena asociación lineal entre las variables en la lámina acumulada en el proceso de infiltración. El grado de influencia a través del tiempo esta explicado en un 92,56% con un modelo de regresión lineal.
- El grado de influencia del Bosques plantado Manejado de 11 años (BM\_11) es del 97,63%, es decir hay buena asociación lineal entre las variables en la lámina acumulada en el proceso de infiltración. El grado de influencia a través del tiempo esta explicado en un 97,63% con un modelo regresión lineal.
- El grado de influencia del Bosque plantado Sin Manejo de 11 años (BSM\_11) es del 98,27%, es decir hay buena asociación lineal entre las variables en la lámina acumulada en el proceso de infiltración. El grado de influencia a través del tiempo esta explicado en un 98,27% con un modelo regresión lineal

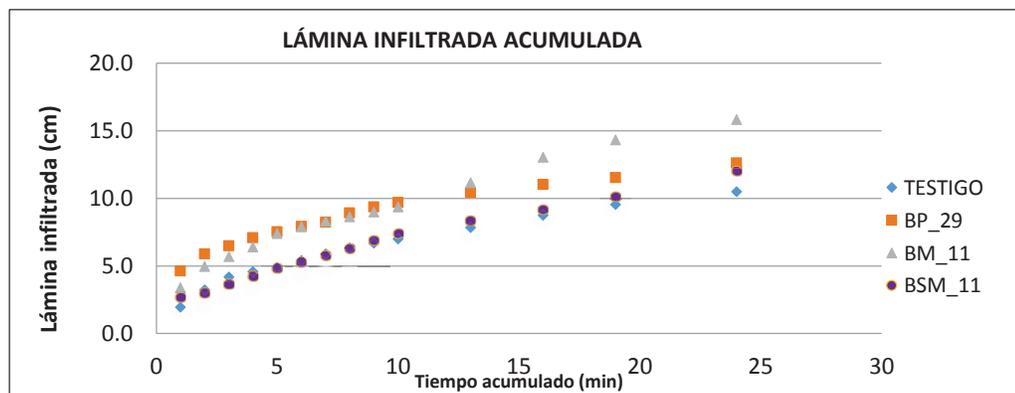


Figura 41: Gráfica de dispersión de datos de la lámina infiltrada, para las áreas evaluadas

FUENTE: Elaboración propia.

En la Figura 41 muestra las gráficas de la lámina infiltrada acumulada para las áreas evaluadas, en estas se observa que al inicio de del ensayo, el BP\_29 y el BM\_11, tienen los valores más alto en cuanto a la lámina infiltrada (4,6 y 3,4 cm) respectivamente, el Testigo y BSM\_11 presentan los valores bajos al inicio de la prueba (2 y 2,7 cm) respectivamente. La lámina infiltrada y el tiempo tienen una relación directa, es decir hay un aumento consecutivo de la lámina infiltrada. Se observa un aumento considerable de la lámina infiltrada a partir del minuto 10, en el BM\_11, este hecho pudo estar influenciado por la humedad inicial del suelo y por la intervención que se realizó al bosque.

#### 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Teniendo en cuenta la de formulación de hipótesis: "Las plantaciones de *Polylepis spp.*, en la quebrada Quilcayhuanca, incrementa y mejora la infiltración a través del aporte de materia orgánica, acumulación de hojarasca y mejora de algunas propiedades físicas del suelo como la estructura, porosidad y aireación".

- **Se redactan la siguiente hipótesis:**

$H_0$  = No hay diferencia significativa en el incremento y mejora de la infiltración con plantaciones de *Polylepis spp* en la quebrada Quilcayhuanca.

$H_1$  = Hay una diferencia significativa en el incremento y mejora de la infiltración con plantaciones de *Polylepis spp* en la quebrada Quilcayhuanca.

- **Definición de significancia:**  $\alpha = 0,05$ .

- **Elección de la prueba. T de student** (muestras independientes).

- **Normalidad. Chapiro Wilk muestras pequeñas** (< 30 individuos) y Kolmogórov-Smirnov

- **Criterio para determinar Normalidades:**

P-Valor  $\geq \alpha$  Acepta  $H_0$  = Los datos provienen de una distribución normal.

P-Valor  $< \alpha$  Acepta  $H_1$  = Los datos No proviene de una distribución normal.

#### **4.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICAS DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN ACUMULADA EN BOSQUES PLANTADOS CON *POLYLEPIS SPP* Y ÁREA TESTIGO**

**De la prueba estadística se obtiene (el procedimiento se detalla en el Anexo 4)**

Ho = No hay diferencia significativa en el incremento y mejora de la infiltración con plantaciones de *Polylepis spp.*, en la quebrada Quilcayhuanca. Por lo cual se concluye:

- Que el Bosque de plantado (BP\_29) no tiene efectos significativos sobre la mejora de la infiltración en relación a las áreas en estudio.
- Que el BM\_11, no tiene efectos significativos sobre la mejora de la infiltración en relación a las áreas en estudio.
- BSM\_11, no tiene efectos significativos sobre la mejora de la infiltración en relación a las áreas en estudio.

#### **4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICAS DE LA LÁMINA INFILTRADA ACUMULADA EN BOSQUES PLANTADOS CON *POLYLEPIS SPP* Y ÁREA TESTIGO**

**De la prueba estadística se obtiene (el procedimiento se detalla en el Anexo 4)**

No hay diferencia significativa en el incremento y mejora de la infiltración con plantaciones de *Polylepis spp.*, en la quebrada Quilcayhuanca. Por lo cual se concluye:

- Que el Bosque de plantación (BP\_29). Tiene mínimamente efectos significativos sobre la mejora de la infiltración en relación con el Testigo.
- Que el Bosque de plantación (BM\_11) tiene mínimamente efectos significativos sobre la mejora de la infiltración en relación con el Testigo.
- Que el Bosque de plantación (BSM\_11) tiene mínimamente efectos significativos sobre la mejora de la infiltración en relación con el Testigo.

#### **4.3. DIAGRAMA DE CAJAS DE VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN**

En el diagrama de cajas (Figura 42) se de ver la distribución de datos en cada uno de las áreas con plantaciones de *Polylepis spp.*, y el área Testigo; observándose claramente que la parcela BSM\_11 presenta un menor rango de datos lo cual significa que sus datos son bastante homogéneos y presentan menor variabilidad. Mientras que las parcelas de plantaciones de *Polylepis* del BP\_29 y BM\_11 presentan mayor rango de datos, haciendo que las muestras

sean menos homogéneas. Algo muy similar ocurre con la parcela Testigo (T) pero en menor medida.

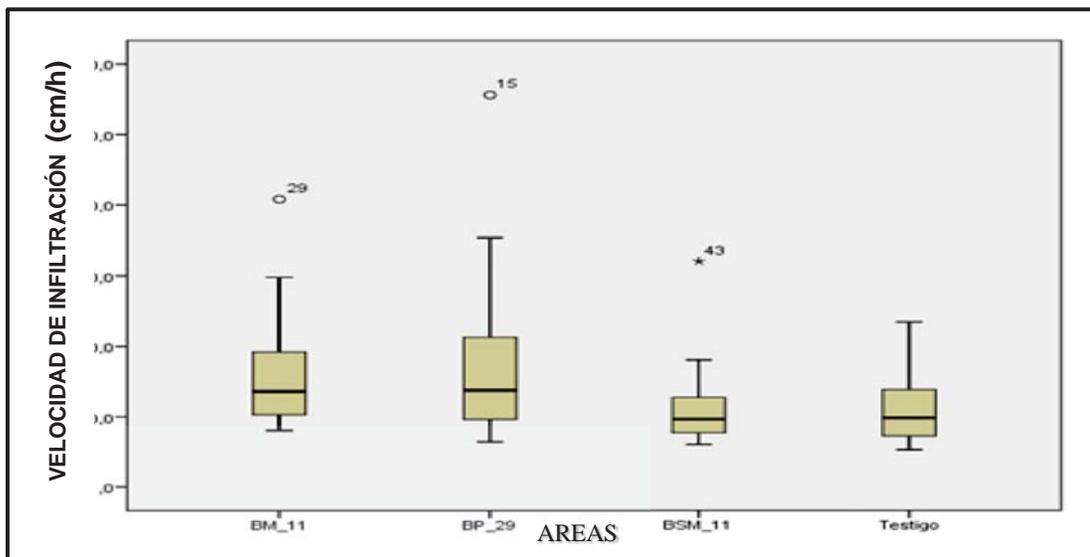


Figura 42: Diagrama de Cajas o Boxplot de velocidad de infiltración acumulada en las áreas de estudio

FUENTE: Elaboración propia.

#### 4.4. DIAGRAMA DE CAJAS DE LA LÁMINA INFILTRADA ACUMULADA.

En la Figura 43 se observa que los datos provienen de una distribución Normal para todas las áreas de estudio (Testigo; BP\_29; BM\_11; BM\_11). También se puede ver la distribución de datos en cada uno de las áreas de plantaciones de *Polylepis spp* y el Testigo; observándose claramente que la parcela BP\_29 y el Testigo presentan un menor rango de datos lo cual significa que sus datos son bastante homogéneos y presentan menor variabilidad. Mientras que las parcelas de plantaciones de *Polylepis* del BSM\_11 y BM\_11 presentan mayor rango de datos, haciendo que las muestras sean menos homogéneas.

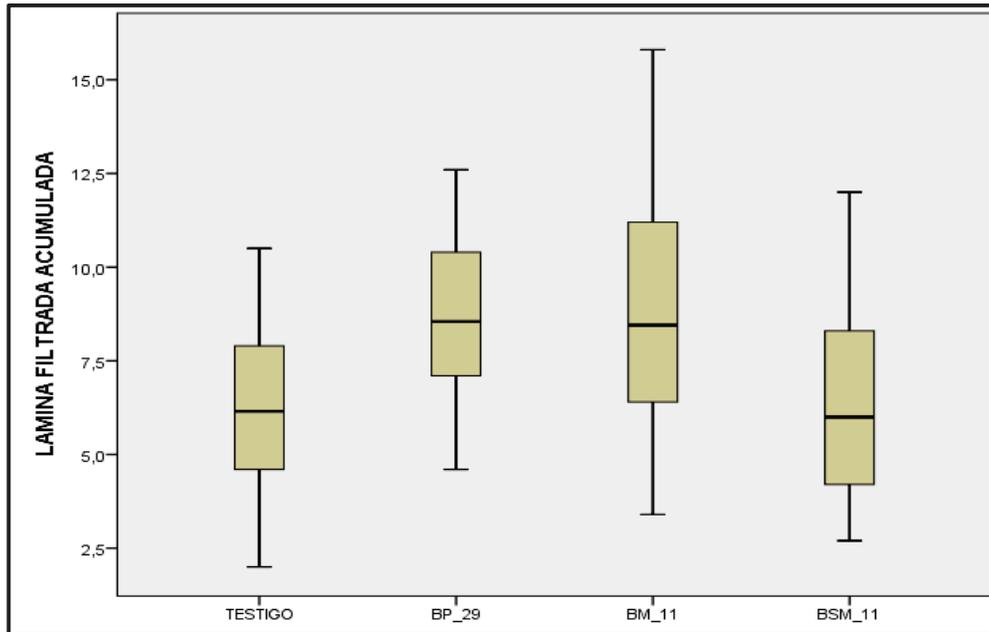


Figura 43: **Diagrama de Cajas o Boxplot de la lámina infiltrada acumulada en las áreas de estudio**

*FUENTE: Elaboración propia.*



## V. CONCLUSIONES

- 1) Se concluye, que los suelos con cobertura de Bosque plantado (BP\_29, BSM\_11, BM\_11), presentan una mayor velocidad de infiltración que los suelos sin cobertura Forestal (área Testigo).
- 2) Se concluye, que existe una diferencia marcada de la velocidad de infiltración, al inicio de las pruebas, para los Bosques plantados con *Polylepis spp.*, y el área Testigo. La mayor velocidad de infiltración, se registró en el BP\_29 con (278 cm/h), le siguen el BM\_11 con (204 cm/h); el BSM\_11 (160 cm/h); y por último el Testigo con (117 cm/h).
- 3) Se registraron los siguientes valores promedios de la velocidad de infiltración instantánea: el BM\_11 (48,5 cm/h); el BP\_29 con (45,1 cm/h); el BSM\_11 (37,3 cm/h) y el Testigo con (34,5 cm/h).
- 4) Se ha encontrado que la infiltración es mayor al principio y a medida que pasa el tiempo los poros del suelo se van llenando y la capacidad de absorber agua disminuye, por lo tanto, hasta el minuto 24 la velocidad de infiltración acumulada, mostro la siguiente variación: BP\_29 (278 a 31,6 cm/h); BM\_11 (204 a 39,6 cm/h); BSM\_11 (160 a 30,1 cm/h); Testigo (117 a 26,3 cm/h).
- 5) Se concluye, que los suelos con plantaciones de *Polylepis spp.*, presentan una lámina infiltrada superior, a la de los suelos sin cobertura arbórea (Testigo), hasta el tiempo que duro la prueba: BM\_11 (15,8 cm); BP\_29 (12,6 cm); BSM\_11 (12 cm) y el Testigo con (10,5 cm) de lámina infiltrada.
- 6) Del análisis del perfil del suelo, se pudo determinar que la profundidad que alcanza la capa orgánica, varía de (12 a 14 cm), esta presencia de material orgánico, influye positivamente en la infiltración del agua.
- 7) El color gris y gris oscuro, son predominantes en los perfiles del suelo, el cual confirma que son suelos con alto contenido de materia orgánica y por lo tanto son suelos fértiles.

- 8) Con respecto a la caracterización del suelo se pudo determinar que el área Testigo y el BP\_29 pertenecen a la clase textural franco arenoso; mientras que el área del BM\_11 y el BSM\_11 tienen la clase textural franco. Las áreas evaluadas, presentan un pH ácido que varía de (4,5 a 6,5), clasificados como suelos muy fuertemente ácidos.
- 9) Los suelos estudiados, son muy ricos en materia orgánica (mayor al 5 %), estos altos valores, brindan, agregación y estabilidad estructural al suelo. Estas a su vez, incrementan la tasa de infiltración y la capacidad de agua disponible en el suelo.
- 10) Se ha encontrado la mayor concentración de Biomasa seca de hojarasca en el BP\_29 (55,09 t/ha), también se ha registrado (41,23 t/ha) para el BSM\_11, y (28,33 t/ha) para el BM\_11. Estos resultados son los esperados para las áreas evaluadas, ya que cuantos más años tenga la plantación habrá mayor acumulación de mantillo sobre la superficie del suelo.
- 11) Las áreas evaluadas presentaron la siguiente humedad inicial del suelo: BSM\_11 (17,7 %); Testigo (T) (15 %); BP\_29 (13,5 %) y BM\_11 (15,5 %).
- 12) Se concluye que el BP\_29, presenta una densidad aparente de (0,47 g/cm<sup>3</sup>); el BSM\_11 (0,66 g/cm<sup>3</sup>); BM\_11 (0,95 g/cm<sup>3</sup>) y el Testigo (1,07 g/cm<sup>3</sup>). De acuerdo a los resultados, se confirma que los Bosques plantados con *Polylepis spp.*, mejoraron la aireación, estructura, y porosidad del suelo.
- 13) Estadísticamente no hay diferencias significativas en la velocidad de infiltración ni en la lámina infiltrada, sin embargo se observa una clara diferencia en los resultados obtenidos de campo, lo que se traduce en la mejora de la infiltración del agua por la presencia de plantaciones con *Polylepis spp* en la quebrada Qulcayhuanca.

## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda relajar ensayos de infiltración en las áreas evaluadas en los meses donde la precipitación es mínima o muy baja (julio-septiembre) usando los cilindros infiltrómeros. Con la finalidad incrementar los conocimientos de la infiltración en Bosques plantados de *Polylepis* y el rol que cumplen en el ciclo hidrológico.
- Se debe evaluar el grado de compactación del suelo utilizando un instrumento de medición llamado penetrometro, el cual nos dará la información en Kg/cm<sup>2</sup> .esto nos permitirá un mejor análisis del proceso de infiltración.
- Se recomienda realizar calicatas a una profundidad mayor de un metro en las cuatro áreas estudiadas, con la finalidad de medir la distribución de las raíces de las plantaciones de *Polylepis* a los largo del perfil y poder ampliar la caracterización física y química del suelo.
- Se sugiere calcular la densidad aparente en varios horizontes del suelo, debido, se pueden presentar horizontes más compactos que evitan un ingreso adecuado del agua, afectando por lo tanto en los resultados de la infiltración.
- Para un estudio más detallado, se debe realizar evaluaciones previas a las plantaciones forestales de *Polylepis spp*, tanto en caracterización del suelo, así como las características propias del lugar, esto con la finalidad de tener un registro inicial detallado, a fin de poder monitorear y comparar a lo largo del tiempo, los cambios producidos en cada tipo de bosque producto de la calidad de suelo, acumulación de materia orgánica y comportamiento de la infiltración.
- Instalar cilindros infiltrómeros de diámetro grandes en zonas de difícil acceso, es poco operativo, por lo que se recomienda encontrar el tamaño ideal que permita, por una parte resultados confiables y por otra, un manejo apropiado en campo.

- Se debe de instalar cercos fijos a las plantaciones de *Polylepis* por lo menos seis meses antes de realizar los ensayos de infiltración, esto para evitar la alteración del ecosistema por el ingreso del ganado de la población local.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, M. 1995. Fundamentos de química de suelos. Universidad Central de VE. Editorial C.A. 208 p.
- Andrade A; Yépez J. 2014. Almacenamiento de agua y cuantificación de carbono en el ecosistema Paramo dentro de un esquema global Environment Outlook (Geo), Cuenca Alta de Rio Pita. (Tesis de Ingeniería Civil). Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental. Escuela Politécnica Nacional De Quito, EC (en línea). Consultado 25 dic. 2014. Disponible en <http://www.bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7386/1/CD-5541.pdf>
- Antonio, E. 2007. Impacto de las plantaciones de *Eucalyptus grandis* sobre el contenido de humedad del suelo. Análisis de un caso en el Noreste de la Provincia de Entre Ríos. (Tesis para Magíster en Ingeniería Ambiental). Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Concepción del UY (en línea). Consultado 25 ene. 2015. Disponible en <http://www.edutecne.utn.edu.ar/tesis/Torran-TesisFinal.pdf>
- Arias, A. 2007. Suelos tropicales. Editorial Universidad Estatal a distancia. San José, CR. 169p.
- Beaufort, A; Blanchon, J; Dubois, P; Lemoine, G. 2003. Ecoguía para descubrir la naturaleza. Ríos, Lagos, Lagunas y marismas. Editorial H.Blume. París, FR. 185 p.
- Blanco, R. 1999. El infiltrómetro de cilindro como método de cálculo de la conductividad hidráulica de los suelos. Experiencias de campo en ámbitos de montaña mediterránea. ES (en línea). Consultado 2 jun. 2015. Disponible en <http://www.dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/95442.pdf>
- Buckles, D; Triophe, B; Sain, G. 1999. Los cultivos de la cobertura en la Agricultura en laderas. CATIE. CR. 223 p.
- Campos, D. 1998. Procesos del ciclo hidrológico. 3 ed. San Luis de Potosí, MX. Editorial Universitaria Potosina. 86 p.
- Campos, V. 2003. Plan Vial Rural de la Provincia de Chanchamayo. Junín, PE. 199 p.

- Célleri, R. 2009. Servicios ambientales para la conservación de los recursos hídricos. Estado del conocimiento técnico científico sobre los servicios ambientales hidrológicos generados en los Andes (en línea). Consultado 21 dic. 2014. Disponible en [http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/Estado\\_Conocimiento\\_SAH.pdf](http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/Estado_Conocimiento_SAH.pdf)
- Delmhorst. 1999. Delmhorst Instrument co. Manual del equipo KS-1. EE.UU (en línea). Consultado 22 dic. 2014. Disponible en <http://www.delmhorst.com/Documents/PDFs/Operating-Instructions/KS-D1.pdf>
- Donoso, C. 1992. Ecología forestal. El bosque y su medio ambiente. Editorial Universitaria. Universidad Austral de CL. Valdivia, CL. 369 p.
- DRNR (Dirección de Recursos Naturales Renovables, AR). 2011. Manual de Bosques Nativos un aporte a la conservación desde la educación ambiental. Secretaría de Medio Ambiente. Gobierno de Mendoza. AR (en línea). Consultado 16 dic. 2014. Disponible en [http://wiki.mendozaconicet.gob.ar/images/d/db/Manual\\_Bosques\\_nativos\\_deMendoza.pdf](http://wiki.mendozaconicet.gob.ar/images/d/db/Manual_Bosques_nativos_deMendoza.pdf)
- ECOAN (Asociación Ecosistemas Andinos). 2007. Evaluación de la biodiversidad de los bosques de *Polylepis* en la zona sur oeste del parque nacional Otishi (en línea). Consultado 25 dic. 2014. Disponible en [http://www.ecoanperu.org/pdf/divers\\_otishi.pdf](http://www.ecoanperu.org/pdf/divers_otishi.pdf)
- Evans, J. 2008. The Forests Handbook, Volume 1: An Overview of Forest Science. Blackwell Science.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. IT). 2002. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra. Basado en el trabajo de Robert, Michel. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Institut National de Recherche Agronomique. París, FR. 65 p.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. IT). 2009. Guía para la descripción de Suelos. Roma. IT. 34 p.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, IT). 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. Roma. IT. Boletín de suelos. 106 p.
- Forsythe, W. 1985. Física de Suelos: Manual de Laboratorio (en línea). 2a reimpresión. San José, CR. IICA. Consultado 22. Dic 2014. Disponible en [\(http://books.google.com.pe\)](http://books.google.com.pe).(Serie de Libros y Materiales Educativos/ IICA, no. 25)
- García, A; Muñoz, C; Lemus, S. 2003. El Agua: Propuesta Metodológica para la implementación de un Sistema de Pago por Servicios Ambientales en el Municipio de Cinquera, Departamento de Cabañas. (Tesis para Ingeniero Agrónomo). Universidad del SV (en línea). Consultado 3 ene. 2015. Disponible en <http://ri.ues.edu.sv/1611/1/13100056.pdf>
- Gómez, M. 2006. Introducción a la metodología científica. Córdoba, AR. Editorial Brujas. 160 p.
- Gurovich, L. 1985. Fundamentos y diseño de sistema de riego. Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura (CIIA). Primera Edición, San José, CR. 412 p.
- Gutiérrez, J. 2010. La densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural los Alcornocales. Universidad de Sevilla (en línea). Consultado 3 ene. 2015. Disponible en <http://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>
- Hillel, D. 1982. Indrotuction to Soil Physics.University of Massachusetts, U.S.A. Academic Press. 364 p.
- Honorato, R. 2000. Manual de edafología (4ª Ed.). Ediciones Universidad Católica de CL. Santiago, CL. 220 p.
- Ipiál, S. 2013. Caracterización de Suelo e Infiltración en el Páramo del Volcán Chiles en Tulcán. Aplicadas a la Reducción de emisiones derivadas de la deforestación y la degradación forestal (REDD+). Facultad de Ingeniería en Geología, Minas Petróleo y Ambiental. (Tesis para el grado de Ingeniero Ambiental).Universidad Central de EC (en línea). Consultado 3 feb. Disponible en <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1049/1/T-UCE-0012-237.pdf>

- Isos, R. 2003. Evaluación de la Dinámica del Suelo en Plantaciones: Efecto del *Pinus caribaea* y *Acacia mangium* sobre las propiedades de un suelo ácido. (Tesis para maestro en ciencias agrícolas). Universidad de PA (en línea). Consultado 6 feb. 2015. Disponible en <http://www.sibiup.up.ac.pa/bd/captura/upload/unir/tm6314is7-1.pdf>
- Jamioy, D. 2011. Propuesta de indicadores de calidad edafológicos para valorar la influencia de los sistemas productivos sobre algunas propiedades físicas y químicas en suelos oxisoles del piedemonte llanero Colombiano. (Tesis para magister en ciencias agrarias). Universidad Nacional de CO (en línea). Consultado 10 feb. 2015. Disponible en <http://www.bdigital.unal.edu.co/7169/1/7009004.2011.pdf>
- Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de CO, sede Medellín. CO. 649 p.
- Junes D.A. 1987. Predicción de la Sortividad e Infiltración del Agua en el Suelo. (Tesis para Ingeniero forestal). Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, PE. 85 p.
- Kessler, M. 2006. Bosques de *Polylepis*. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, BO (en línea). Consultado 31 oct. 2014. Disponible en [http://www.researchgate.net/...Bosques\\_de\\_Polylepis](http://www.researchgate.net/...Bosques_de_Polylepis)
- Labrador, J. La materia orgánica en los ecosistemas. Ed. Mundi Prensa. ES. 293 p.
- Lao R; Zevallos P; De la Cruz, H. 1990. Informe preliminar de la Ecología, Dendrología y distribución geográfica de las especies del género *Polylepis* en el PE. Espacio y desarrollo; (PUCP) No. 2; p.47-62.
- León, D. 2009. Propagación de dos especies de Yagual (*Polylepis incana* y *Polylepis racemosa*) utilizando dos enraizadores orgánicos y dos enraizadores químicos en el vivero forestal del Crea en el Cantón y provincia del Cañar, EC (Tesis para Ingeniero Agrónomo) (en línea). Consultado 10 mar. 2015. Disponible en <http://dspace.epoch.edu.ec/bitstream/.../13T651%20LEON%20PAULINA.pdf>
- López, C; Mintegui, A. 1986. Hidrología de Superficie tomo I. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid, ES. 224 p.
- Maderey, L. 2005. Principios de Hidrogeografía: Estudio del Ciclo Hidrológico. MX. Universidad Autónoma de MX. Serie Textos Universitarios Numero 1.

- Martínez, A; Navarro, J.1996. Hidrología Forestal. El ciclo Hidrológico. Universidad de Valladolid, ES. 286 p.
- Mendoza, W; Cano, A. 2012. El Género *Polylepis* en el Perú, Taxonomía, Morfología y distribución. PE. 120 p.
- Molina, M. 1975. Hidrología. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 150p.
- Moncana J. 2005. Estadística para ciencias del movimiento humano. San José, CR. Universidad de CR. 210 p.
- Moraes, C. 2001. Almacenamiento de carbono en bosques secundarios en el municipio de San Carlos, NI. CATIE. 116 p.
- Moretto A; Lázzari A; Fernández O. 2005. Calidad y cantidad de nutrientes de la hojarasca y su posterior mineralización en bosques primarios y bajo manejo con distintos sistemas de regeneración. AR. 1p (en línea). Consultado 10 mar. 2015. Disponible en <http://www.ambiente.gob.ar/archivos/web/.../Descomposicion%20Lenga.pdf>
- Ocaña, D. 2014. Plantaciones a alta densidad de *Polylepis racemosa*, Parque Nacional Huascarán, quebrada Quilcayhuanca. En el marco de recuperación de ecosistemas altoandinos (entrevista). Huaraz, PE.
- Palabral A. 2012. Evaluación del programa de conservación de los bosques de Queñual (*Polylepis pepeii*) en comunidades altoandinas de BO: un análisis bajo el enfoque ecosistemático para mejorar su gestión (en línea). Consultado 02 nov. 2014. Disponible en [http://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/2269/0372\\_Palabral.pdf?sequence=1](http://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/2269/0372_Palabral.pdf?sequence=1)
- PNH (Parque Nacional Huascarán, PE). 2011. Plan Maestro del 2010-2015. Huaraz-Ancash, PE.
- Peraza, M. 2009. Evaluación de la zona de recarga hídrica y bosques ribereños en la Subcuenta del Río Cumes, Jesús de Otoro. (Tesis para Ingeniera en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente). HN (en línea). Consultado 02 Feb. 2015. Disponible en <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/328/1/T2814.pdf>
- Pedraza, M. 1989. Producción de Biomasa y circulación de nutrientes en un rodal de *Nothofagus alessandrii* (Ruil) en la zona de Constitución. Memoria de Título. Escuela de Cs. Forestales. Universidad de CL. 112 p.

- Pérez, C. 2007. Plantaciones Forestales e impactos sobre el ciclo del Agua. Un análisis a partir del desarrollo de las plantaciones forestales en UY (en línea). Consultado 02 nov. 2014. Disponible en <http://www.uruguayambiental.com/publicaciones/PerezArrartePlantacionesForestales.pdf>
- Prieto, J. 2004. El agua: sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación. 2da. Ediciones Bogotá, CO. 380 p.
- Reyes, A. 2009. Hidroclimatología. La infiltración. Notas de clase. Universidad del Valle.
- Reynel, C. y Felipe-Morales, C. 1987. Agroforestería tradicional en los Andes del Perú. Proyecto FAO/Holanda/Infor. Lima, PE. 154 p.
- Roncal, S; Soto, L; Castellanos, J; Ramírez, N. 2008. Sistemas Agroforestales y almacenamiento de carbono en Comunidades Indígenas de Chiapas. ECOSUR. MX.
- Rucks, L; García, F; Kaplán, A; Ponce de Leon, J; Hill, M. 2004. Propiedades físicas del suelo. Universidad de la Republica. Facultad de Agronomía. UY (en línea). Consultado 05 dic. 2014. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/~edafologia/curso/Material/fisicas.pdf>
- Sábado, J. 2009. Fundamentos de bioestadística y análisis de datos para enfermería. Universidad Autónoma de Barcelona, ES. 147 p.
- Sánchez S; Crespo G; Hernández M. 2009. Descomposición de la hojarasca en un sistema silvopastoril de *Panicum maximum* y *Leucaena leucocephala*. Influencia de su composición química, en Pastos y Forrajes. CU. Vol. 32, No. 3.
- Shaxson F; Barber R. 2005. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. Boletín de suelos de la FAO. 49 p.
- Tobón, C. 2009. Los Bosques Andinos y el Agua. Serie investigación y sistematización #4. Programa Regional ECOBONA – INTERCOOPERATION, CONDESAN. Quito, EC.

- UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2011. Reporte de evaluación del parque nacional Huascarán y la reserva de biosfera Huascarán (en línea). Consultado 05 nov. 2014. Disponible en [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/Huascarán\\_BR\\_Peru\\_2011.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/pdf/Huascarán_BR_Peru_2011.pdf)
- Vásquez, E. 2005. Calcio y Magnesio, acidez y alcalinidad del suelo. En: Fertilidad de suelos y Fertilización de cultivos. Buenos Aires, AR. 161 p.
- Valverde, J. 2007. Riego y Drenaje. 2da reimpresión. San José. CR. EUNED. 244p.
- Villegas, J. 2004. Revista EIA escuela de Ingeniería de Antioquia, CO (en línea). 77 p. Consultado 10 feb. 2015. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/1492/149217763007.pdf>
- Von, A. 2004. Contenidos de materia orgánica y condición física de un Kandudult de Misiones bajo diferentes sistemas de preparación del terreno forestal y bosque nativo. (Tesis para Magister). Universidad de Buenos Aires. AR (en línea). Consultado 20 feb. 2015. Disponible en <http://www.ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2013vonwallisalejandra.pdf>
- Velazco, J. 1979. Física del sistema suelo agua planta. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, PE. Departamento de recursos de agua y tierra. 29 p
- Zavaleta, A. 1992. Edafología, el suelo en relación con la producción. Lima, PE. CONCYTEC. 223 p.

## **VIII. ANEXOS**

## ANEXO 1

### CARTILLA DE LA INFILTRACIÓN DE LAS PARCELAS EVALUADAS

<i>Parcela Nº 01 del área Testigo</i>						
<i>Tiempo (min)</i>		<i>Lectura en regla (cm)</i>	<i>Lámina infiltrada (cm)</i>		<i>Velocidad de infiltración (cm/hora)</i>	
<i>Parcial</i>	<i>acumulado</i>		<i>Parcial</i>	<i>Acumulado</i>	<i>Instantáneo</i>	<i>Acumulado</i>
<i>0</i>	<i>0</i>	15	0	-	-	-
<i>1</i>	<i>1</i>	12,9	2,1	2,1	126,0	126,00
<i>1</i>	<i>2</i>	10,8	2,1	4,2	126,0	126,00
<i>1</i>	<i>3</i>	9,4	1,4	5,6	84,0	112,00
<i>1</i>	<i>4</i>	9	0,4	6,0	24,0	90,00
<i>1</i>	<i>5</i>	8,7	0,3	6,3	18,0	75,60
<i>1</i>	<i>6</i>	8,3	0,4	6,7	24,0	67,00
<i>1</i>	<i>7</i>	7,8	0,5	7,2	30,0	61,71
<i>1</i>	<i>8</i>	7,4	0,4	7,6	24,0	57,00
<i>1</i>	<i>9</i>	7,1	0,3	7,9	18,0	52,67
<i>1</i>	<i>10</i>	6,8	0,3	8,2	18,0	49,20
<i>3</i>	<i>13</i>	6	0,8	9,0	16,0	41,54
<i>3</i>	<i>16</i>	5	1	10,0	20,0	37,50
<i>3</i>	<i>19</i>	4,3	0,7	10,7	14,0	33,79
<i>5</i>	<i>24</i>	3,5	0,8	11,5	9,6	28,75
<i>5</i>	<i>29</i>	3	0,5	12,0	6,0	24,83
<i>5</i>	<i>34</i>	2,3	0,7	12,7	8,4	22,41

<b>Parcela N° 02 del área Testigo</b>						
<b>Tiempo (min)</b>		<b>Lectura en regla (cm)</b>	<b>Lámina infiltrada (cm)</b>		<b>Velocidad de infiltración (cm/hora)</b>	
<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>		<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>	<b>Instantáneo</b>	<b>Acumulado</b>
0	0	21,2	0	-	-	-
1	1	19,4	1,8	1,8	108,0	108,00
1	2	18,9	0,5	2,3	30,0	69,00
1	3	18,4	0,5	2,8	30,0	56,00
1	4	18	0,4	3,2	24,0	48,00
1	5	17,7	0,3	3,5	18,0	42,00
1	6	17,1	0,6	4,1	36,0	41,00
1	7	16,6	0,5	4,6	30,0	39,43
1	8	16,1	0,5	5,1	30,0	38,25
1	9	15,7	0,4	5,5	24,0	36,67
1	10	15,4	0,3	5,8	18,0	34,80
3	13	14,5	0,9	6,7	18,0	30,92
3	16	13,7	0,8	7,5	16,0	28,13
3	19	12,8	0,9	8,4	18,0	26,53
5	24	11,7	1,1	9,5	13,2	23,75
5	29	10,4	1,3	10,8	15,6	22,34
5	34	9,7	0,7	11,5	8,4	20,29
10	44	8,4	1,3	12,8	7,8	17,45
10	54	4,5	3,9	16,7	23,4	18,56

<b>Pácela N° 01 del BP_29</b>						
<b>Tiempo (min)</b>		<b>Lectura en regla (cm)</b>	<b>Lámina infiltrada (cm)</b>		<b>Velocidad de infiltración (cm/hora)</b>	
<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>		<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>	<b>Instantáneo</b>	<b>Acumulado</b>
<b>0</b>	<b>0</b>	19,5	0	-	-	-
<b>1</b>	<b>1</b>	14,5	5	5,0	300,0	300,00
<b>1</b>	<b>2</b>	11,3	3,2	8,2	192,0	246,00
<b>1</b>	<b>3</b>	10,2	1,1	9,3	66,0	186,00
<b>1</b>	<b>4</b>	9,2	1	10,3	60,0	154,50
<b>1</b>	<b>5</b>	8,5	0,7	11,0	42,0	132,00
<b>1</b>	<b>6</b>	8	0,5	11,5	30,0	115,00
<b>1</b>	<b>7</b>	7,6	0,4	11,9	24,0	102,00
<b>1</b>	<b>8</b>	6,1	1,5	13,4	90,0	100,50
<b>1</b>	<b>9</b>	5,5	0,6	14,0	36,0	93,33
<b>1</b>	<b>10</b>	5	0,5	14,5	30,0	87,00
<b>3</b>	<b>13</b>	3,7	1,3	15,8	26,0	72,92
<b>3</b>	<b>16</b>	2,9	0,8	16,6	16,0	62,25
<b>3</b>	<b>19</b>	2,1	0,8	17,4	16,0	54,95
<b>5</b>	<b>24</b>	0	2,1	19,5	25,2	48,75

<b>Pácela Nº02 del BP_29</b>						
<b>Tiempo (min)</b>		<b>Lectura en regla (cm)</b>	<b>Lámina infiltrada (cm)</b>		<b>Velocidad de infiltración (cm/hora)</b>	
<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>		<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>	<b>Instantáneo</b>	<b>Acumulado</b>
0	0	16,5	0	-	-	-
1	1	12	4,5	4,5	270,0	270,00
1	2	11,8	0,2	4,7	12,0	141,00
1	3	11,6	0,2	4,9	12,0	98,00
1	4	11,4	0,2	5,1	12,0	76,50
1	5	11,3	0,1	5,2	6,0	62,40
1	6	11	0,3	5,5	18,0	55,00
1	7	10,9	0,1	5,6	6,0	48,00
1	8	10,7	0,2	5,8	12,0	43,50
1	9	10,4	0,3	6,1	18,0	40,67
1	10	10,3	0,1	6,2	6,0	37,20
3	13	10	0,3	6,5	6,0	30,00
3	16	9,7	0,3	6,8	6,0	25,50
3	19	9,5	0,2	7,0	4,0	22,11
5	24	9,3	0,2	7,2	2,4	18,00
5	29	9	0,3	7,5	3,6	15,52
5	34	8,7	0,3	7,8	3,6	13,76
10	44	8,5	0,2	8,0	1,2	10,91
10	54	7,5	1	9,0	6,0	10,00
10	64	7	0,5	9,5	3,0	8,91
20	84	6,5	0,5	10,0	1,5	7,14

<i>parcela Nº 03 del BP_29</i>						
<i>Tiempo (min)</i>		<i>Lectura en regla (cm)</i>	<i>Lámina infiltrada (cm)</i>		<i>Velocidad de infiltración (cm/hora)</i>	
<i>Parcial</i>	<i>Acumulado</i>		<i>Parcial</i>	<i>Acumulado</i>	<i>Instantáneo</i>	<i>Acumulado</i>
<i>0</i>	<i>0</i>	14,2	0	-	-	-
<i>1</i>	<i>1</i>	9,8	4,4	4,4	264,0	264,00
<i>1</i>	<i>2</i>	9,4	0,4	4,8	24,0	144,00
<i>1</i>	<i>3</i>	8,9	0,5	5,3	30,0	106,00
<i>1</i>	<i>4</i>	8,3	0,6	5,9	36,0	88,50
<i>1</i>	<i>5</i>	7,8	0,5	6,4	30,0	76,80
<i>1</i>	<i>6</i>	7,4	0,4	6,8	24,0	68,00
<i>1</i>	<i>7</i>	7	0,4	7,2	24,0	61,71
<i>1</i>	<i>8</i>	6,6	0,4	7,6	24,0	57,00
<i>1</i>	<i>9</i>	6,2	0,4	8,0	24,0	53,33
<i>1</i>	<i>10</i>	5,8	0,4	8,4	24,0	50,40
<i>3</i>	<i>13</i>	5,2	0,6	9,0	12,0	41,54
<i>3</i>	<i>16</i>	4,5	0,7	9,7	14,0	36,38
<i>3</i>	<i>19</i>	4	0,5	10,2	10,0	32,21
<i>5</i>	<i>24</i>	3	1	11,2	12,0	28,00
<i>5</i>	<i>29</i>	2	1	12,2	12,0	25,24
<i>5</i>	<i>34</i>	1	1	13,2	12,0	23,29

<b>Parcela Nº 1 de BM_11</b>						
<b>Tiempo (min)</b>		<b>Lectura en regla (cm)</b>	<b>Lámina infiltrada (cm)</b>		<b>Velocidad de infiltración (cm/hora)</b>	
<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>		<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>	<b>Instantáneo</b>	<b>Acumulado</b>
<b>0</b>	<b>0</b>	22,5	0	-	-	-
<b>1</b>	<b>1</b>	18,5	4	4,0	240,0	240,00
<b>1</b>	<b>2</b>	15,7	2,8	6,8	168,0	204,00
<b>1</b>	<b>3</b>	14,9	0,8	7,6	48,0	152,00
<b>1</b>	<b>4</b>	14	0,9	8,5	54,0	127,50
<b>1</b>	<b>5</b>	12,2	1,8	10,3	108,0	123,60
<b>1</b>	<b>6</b>	11,7	0,5	10,8	30,0	108,00
<b>1</b>	<b>7</b>	11,1	0,6	11,4	36,0	97,71
<b>1</b>	<b>8</b>	10,8	0,3	11,7	18,0	87,75
<b>1</b>	<b>9</b>	10,3	0,5	12,2	30,0	81,33
<b>1</b>	<b>10</b>	10	0,3	12,5	18,0	75,00
<b>3</b>	<b>13</b>	7,5	2,5	15,0	50,0	69,23
<b>3</b>	<b>16</b>	4,6	2,9	17,9	58,0	67,13
<b>3</b>	<b>19</b>	2,9	1,7	19,6	34,0	61,89
<b>5</b>	<b>24</b>	1,5	1,4	21,0	16,8	52,50
<b>5</b>	<b>29</b>	0	1,5	22,5	18,0	46,55

<b>Parcela Nº 2 de BM_11</b>						
<b>Tiempo (min)</b>		<b>Lectura en regla (cm)</b>	<b>Lámina infiltrada (cm)</b>		<b>Velocidad de infiltración (cm/hora)</b>	
<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>		<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>	<b>Instantáneo</b>	<b>Acumulado</b>
<b>0</b>	<b>0</b>	20,5	0	-	-	-
<b>1</b>	<b>1</b>	17,8	2,7	2,7	162,0	162,00
<b>1</b>	<b>2</b>	17,2	0,6	3,3	36,0	99,00
<b>1</b>	<b>3</b>	16,5	0,7	4,0	42,0	80,00
<b>1</b>	<b>4</b>	15,8	0,7	4,7	42,0	70,50
<b>1</b>	<b>5</b>	15,1	0,7	5,4	42,0	64,80
<b>1</b>	<b>6</b>	14,5	0,6	6,0	36,0	60,00
<b>1</b>	<b>7</b>	14	0,5	6,5	30,0	55,71
<b>1</b>	<b>8</b>	13,5	0,5	7,0	30,0	52,50
<b>1</b>	<b>9</b>	13	0,5	7,5	30,0	50,00
<b>1</b>	<b>10</b>	12,5	0,5	8,0	30,0	48,00
<b>3</b>	<b>13</b>	11	1,5	9,5	30,0	43,85
<b>3</b>	<b>16</b>	9,2	1,8	11,3	36,0	42,38
<b>3</b>	<b>19</b>	8,2	1	12,3	20,0	38,84
<b>5</b>	<b>24</b>	6,4	1,8	14,1	21,6	35,25
<b>5</b>	<b>29</b>	4	2,4	16,5	28,8	34,14
<b>5</b>	<b>34</b>	2,2	1,8	18,3	21,6	32,29

<b>Parcela Nº 03 de BM_11</b>						
<b>Tiempo (min)</b>		<b>Lectura en regla (cm)</b>	<b>Lámina infiltrada (cm)</b>		<b>Velocidad de infiltración (cm/hora)</b>	
<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>		<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>	<b>Instantáneo</b>	<b>Acumulado</b>
0	0	17	0	-	-	-
1	1	13,5	3,5	3,5	210,0	210,00
1	2	12,2	1,3	4,8	78,0	144,00
1	3	11,5	0,7	5,5	42,0	110,00
1	4	11	0,5	6,0	30,0	90,00
1	5	10,5	0,5	6,5	30,0	78,00
1	6	10,1	0,4	6,9	24,0	69,00
1	7	9,9	0,2	7,1	12,0	60,86
1	8	9,8	0,1	7,2	6,0	54,00
1	9	9,7	0,1	7,3	6,0	48,67
1	10	9,4	0,3	7,6	18,0	45,60
3	13	8	1,4	9,0	28,0	41,54
3	16	7,1	0,9	9,9	18,0	37,13
3	19	5,9	1,2	11,1	24,0	35,05
5	24	4,6	1,3	12,4	15,6	31,00
5	29	4	0,6	13,0	7,2	26,90
5	34	3,2	0,8	13,8	9,6	24,35
10	44	0,6	2,6	16,4	15,6	22,36

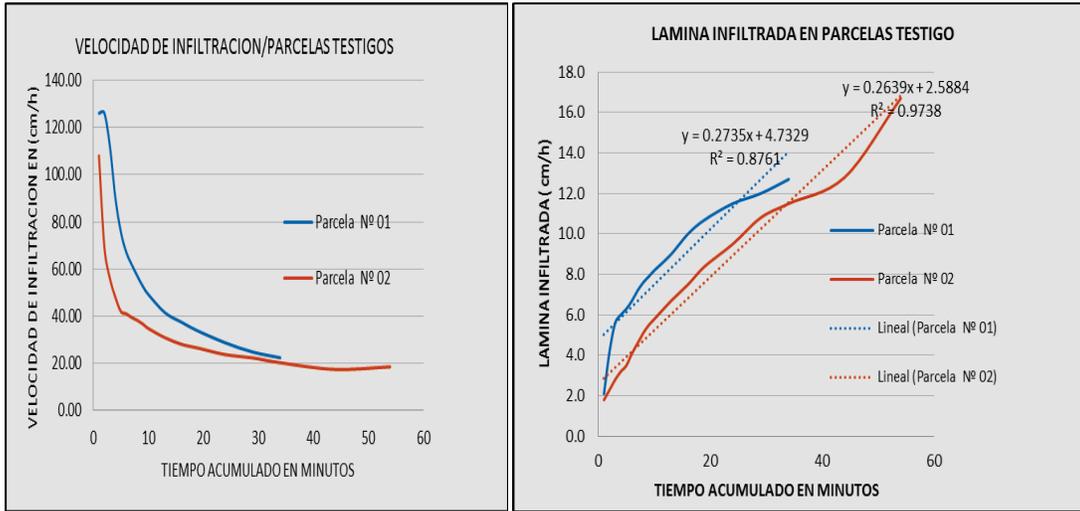
<i>Parcela N° 01 de BSM_11</i>						
<i>Tiempo (min)</i>		<i>Lectura en regla (cm)</i>	<i>Lámina infiltrada (cm)</i>		<i>Velocidad de infiltración (cm/hora)</i>	
<i>Parcial</i>	<i>Acumulado</i>		<i>Parcial</i>	<i>Acumulado</i>	<i>Instantáneo</i>	<i>Acumulado</i>
<b>0</b>	<b>0</b>	16,3	0	-	-	-
<b>1</b>	<b>1</b>	14	2,3	2,3	138,0	138,00
<b>1</b>	<b>2</b>	13,8	0,2	2,5	12,0	75,00
<b>1</b>	<b>3</b>	13,5	0,3	2,8	18,0	56,00
<b>1</b>	<b>4</b>	13,3	0,2	3,0	12,0	45,00
<b>1</b>	<b>5</b>	12,9	0,4	3,4	24,0	40,80
<b>1</b>	<b>6</b>	12,6	0,3	3,7	18,0	37,00
<b>1</b>	<b>7</b>	12,3	0,3	4,0	18,0	34,29
<b>1</b>	<b>8</b>	11,9	0,4	4,4	24,0	33,00
<b>1</b>	<b>9</b>	11,5	0,4	4,8	24,0	32,00
<b>1</b>	<b>10</b>	11	0,5	5,3	30,0	31,80
<b>3</b>	<b>13</b>	10,5	0,5	5,8	10,0	26,77
<b>3</b>	<b>16</b>	9,5	1	6,8	20,0	25,50
<b>3</b>	<b>19</b>	9	0,5	7,3	10,0	23,05
<b>5</b>	<b>24</b>	8,1	0,9	8,2	10,8	20,50
<b>5</b>	<b>29</b>	7,2	0,9	9,1	10,8	18,83
<b>5</b>	<b>34</b>	6,6	0,6	9,7	7,2	17,12
<b>10</b>	<b>44</b>	5,5	1,1	10,8	6,6	14,73
<b>10</b>	<b>54</b>	4,6	0,9	11,7	5,4	13,00
<b>10</b>	<b>64</b>	4	0,6	12,3	3,6	11,53
<b>20</b>	<b>84</b>	2,8	1,2	13,5	3,6	9,64
<b>20</b>	<b>104</b>	1,9	0,9	14,4	2,7	8,31
<b>20</b>	<b>124</b>	1,5	0,4	14,8	1,2	7,16

<b>Parcela Nº 02 de BSM_11</b>						
<b>Tiempo (min)</b>		<b>Lectura en regla (cm)</b>	<b>Lámina infiltrada (cm)</b>		<b>Velocidad de infiltración (cm/hora)</b>	
<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>		<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>	<b>Instantáneo</b>	<b>Acumulado</b>
0	0	23,5	0	-	-	-
1	1	21	2,5	2,5	150,0	150,00
1	2	21	0	2,5	0,0	75,00
1	3	20,4	0,6	3,1	36,0	62,00
1	4	19,7	0,7	3,8	42,0	57,00
1	5	19	0,7	4,5	42,0	54,00
1	6	18,4	0,6	5,1	36,0	51,00
1	7	17,9	0,5	5,6	30,0	48,00
1	8	17,4	0,5	6,1	30,0	45,75
1	9	16,9	0,5	6,6	30,0	44,00
1	10	16,5	0,4	7,0	24,0	42,00
3	13	15,4	1,1	8,1	22,0	37,38
3	16	14,3	1,1	9,2	22,0	34,50
3	19	13,3	1	10,2	20,0	32,21
5	24	11,7	1,6	11,8	19,2	29,50
5	29	10,1	1,6	13,4	19,2	27,72
5	34	9	1,1	14,5	13,2	25,59
10	44	7	2	16,5	12,0	22,50
10	54	3,4	3,6	20,1	21,6	22,33

<b>Parcela N°03 de BSM_11</b>						
<b>Tiempo (min)</b>		<b>Lectura en regla (cm)</b>	<b>Lámina infiltrada (cm)</b>		<b>Velocidad de infiltración (cm/hora)</b>	
<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>		<b>Parcial</b>	<b>Acumulado</b>	<b>Instantáneo</b>	<b>Acumulado</b>
<b>0</b>	<b>0</b>	21,5	0	-	-	-
<b>1</b>	<b>1</b>	18,3	3,2	3,2	192	192
<b>1</b>	<b>2</b>	17,5	0,8	4	48	120
<b>1</b>	<b>3</b>	16,4	1,1	5,1	66	102
<b>1</b>	<b>4</b>	15,6	0,8	5,9	48	88,5
<b>1</b>	<b>5</b>	14,9	0,7	6,6	42	79,2
<b>1</b>	<b>6</b>	14,5	0,4	7	24	70
<b>1</b>	<b>7</b>	13,9	0,6	7,6	36	65,14
<b>1</b>	<b>8</b>	13,2	0,7	8,3	42	62,25
<b>1</b>	<b>9</b>	12,3	0,9	9,2	54	61,33
<b>1</b>	<b>10</b>	11,6	0,7	9,9	42	59,4
<b>3</b>	<b>13</b>	10,4	1,2	11,1	24	51,23
<b>3</b>	<b>16</b>	10	0,4	11,5	8	43,13
<b>3</b>	<b>19</b>	8,6	1,4	12,9	28	40,74
<b>5</b>	<b>24</b>	5,4	3,2	16,1	38,4	40,25
<b>5</b>	<b>29</b>	2,3	3,1	19,2	37,2	39,72
<b>5</b>	<b>34</b>	1	1,3	20,5	15,6	36,18

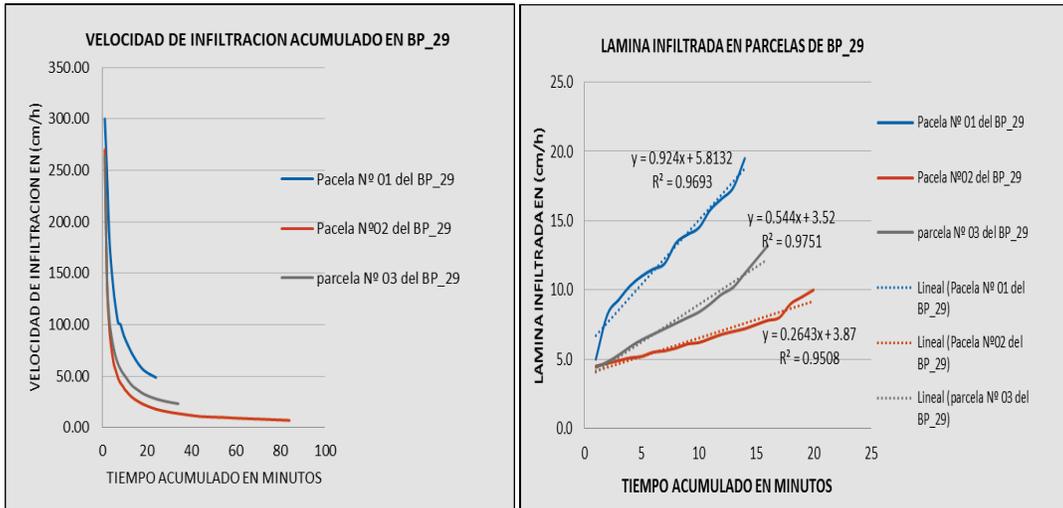
## ANEXO 2

### GRAFICAS DE DISPERSION DE DATOS DE LA INFILTRACION DE LAS PARCELAS EVALUADAS



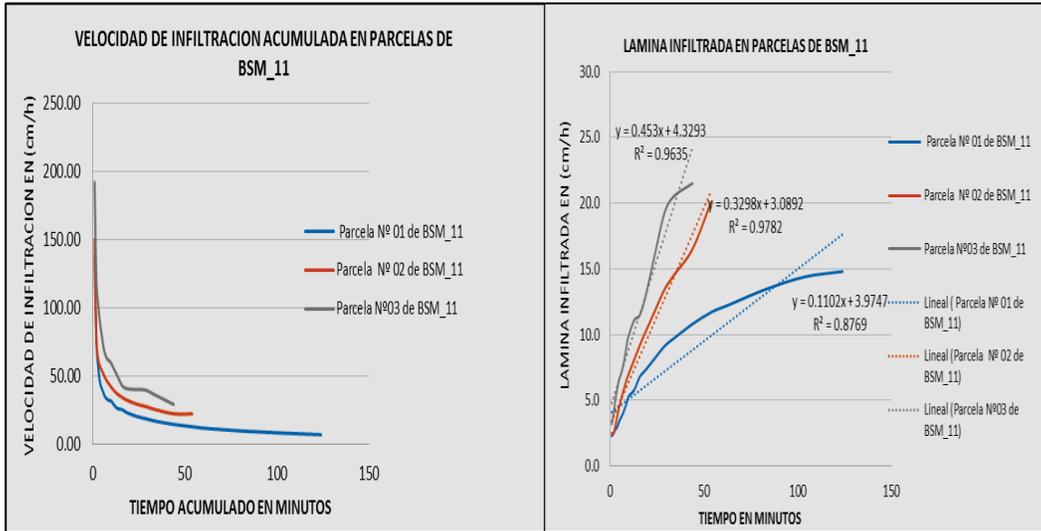
a. **Graficas de dispersión de la velocidad y lámina infiltrada acumulada, de las parcelas Testigo.**

*FUENTE: Elaboración propia.*



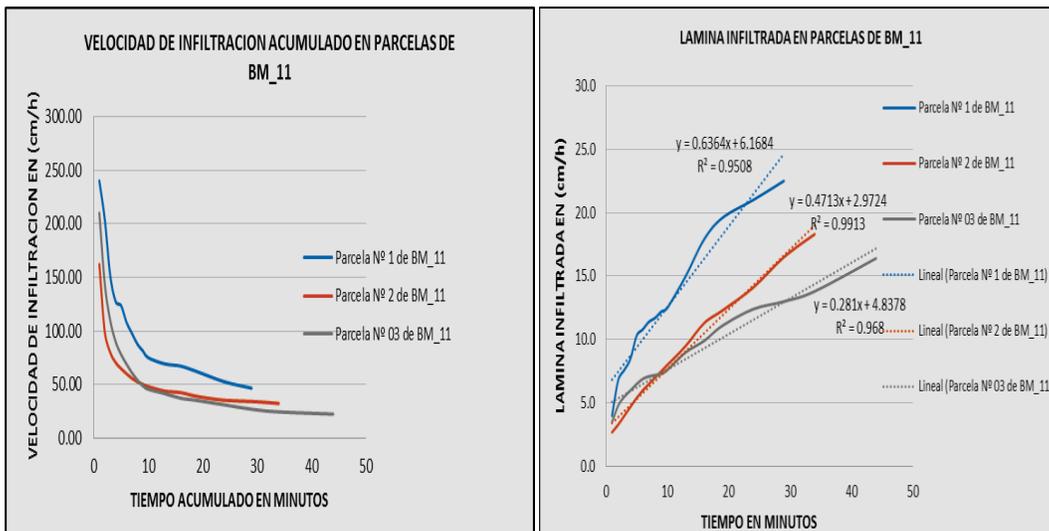
b. **Graficas de dispersión de la velocidad y lámina infiltrada acumulada, de las parcelas del BP\_29.**

*FUENTE: Elaboración Propia.*



c. **Graficas de dispersión de la velocidad y lámina infiltrada acumulada, de las parcelas del BSM\_11.**

*FUENTE: Elaboración propia.*



d. **Graficas de dispersión de la velocidad y lámina infiltrada acumulada, de las parcelas del BM\_11.**

*FUENTE: Elaboración propia.*

### ANEXO 3

#### RESULTADOS DE HUMEDAD INICIAL DEL SUELO, DE LAS PARCELAS EVALUADAS

Área	Parcela	Lectura de la humedad en (Bars)	Humedad (%)
<i>Testigo</i>	T1	8,3	18
	T2	10	13,5
	T3	10	13,5
<i>Promedio</i>		9,4	15
<i>BP_29</i>	BP_29_P1	10	13,5
	BP_29_P2	10	13,5
	BP_29_P3	10	13,5
<i>Promedio</i>		10	13,5
<i>BM_11</i>	BM_11_P1	10	13,5
	BM_11_P2	9	16,5
	BM_11_P3	10	13,5
<i>promedio</i>		9,7	14,5
<i>BSM_11</i>	BSM_11_P1	7,5	23
	BSM_11_P2	10	13,5
	BSM_11_P3	9	16,5
<i>Promedio</i>		8,8	17,7

*FUENTE: Elaboración propia.*

## ANEXO 4

### RESULTADOS DE LA BIOMASA SECA DE HOJARASCA, PRESENTE EN LAS PARCELAS EVALUADAS

<i>Parcelas</i>	<i>Capa</i>	<i>Masa de hojar. recolectada (Kg)</i>	<i>Masa de submuestra húmedo (Kg)</i>	<i>Masa de submuestra seco (Kg)</i>	<i>Masa seca (Kg)</i>	<i>Biomasa seca de hojarasca (t/ha)</i>
<b>BM_11.PAR1</b>	CAP 1	0,0777	0,0043	0,0028	0,0512	2,0461
	CAP 2	0,0911	0,0053	0,0028	0,0486	1,9446
	CAP 3	0,21	0,0078	0,0041	0,1104	4,4135
<b>BM_11.PAR2</b>	CAP 1	0,0674	0,0075	0,0056	0,0503	2,013
	CAP 2	0,1307	0,01	0,006	0,0778	3,1107
	CAP 3	0,2285	0,01	0,0055	0,1257	5,027
<b>BM_11.PAR3</b>	CAP 1	0,0627	0,01	0,0052	0,0326	1,3042
	CAP 2	0,1499	0,01	0,0048	0,0712	2,8481
	CAP 3	0,2651	0,01	0,0053	0,1405	5,6201
<b>Total</b>						28,3273
<b>BM_11.PAR1</b>	CAP 1	0,1062	0,0065	0,0034	0,0556	2,222
	CAP 2	0,1203	0,01	0,0043	0,0511	2,0451
	CAP 3	0,1533	0,01	0,0039	0,0598	2,3915
<b>BM_11.PAR2</b>	CAP 1	0,1704	0,01	0,0056	0,0954	3,817
	CAP 2	0,2981	0,01	0,0045	0,1327	5,3062
	CAP 3	0,4297	0,01	0,0048	0,2041	8,1643
<b>BM_11.PAR3</b>	CAP 1	0,2117	0,01	0,0067	0,1418	5,6736
	CAP 2	0,1583	0,01	0,0058	0,0918	3,6726
	CAP 3	0,3423	0,01	0,0058	0,1985	7,9414
<b>Total</b>						41,2337
<b>BM_11.PAR1</b>	CAP 1	0,1736	0,0085	0,0035	0,0715	2,8593
	CAP 2	0,0967	0,01	0,0045	0,043	1,7213
	CAP 3	0,2791	0,01	0,0051	0,1409	5,6378
<b>BM_11.PAR2</b>	CAP 1	0,1636	0,01	0,0042	0,0687	2,7485
	CAP 2	0,5669	0,01	0,0044	0,2494	9,9774
	CAP 3	0,3281	0,01	0,0054	0,1772	7,087
<b>BM_11.PAR3</b>	CAP 1	0,1503	0,0054	0,0023	0,0632	2,5313
	CAP 2	0,7668	0,0053	0,0023	0,3359	13,4148
	CAP 3	0,5197	0,0066	0,0029	0,2281	9,122
<b>Total</b>						55,0994
<b>PESO TOTAL</b>		6,3182	0,2372	0,1215	3,117	124,6604

*FUENTE: Elaboracion propia.*

## ANEXO 5

### PRUEBAS ESTADÍSTICAS

#### RESUMEN DEL PROCESAMIENTOS DE LOS CASOS DE LOS BOSQUES PLANTADOS CON *POLYLEPIS SPP* Y ÁREA TESTIGO

Área	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
<b>BM_11</b>	14	100,0%	0	0,0%	14	100,0%
<b>BP_29</b>	14	100,0%	0	0,0%	14	100,0%
<b>BSM_11</b>	14	100,0%	0	0,0%	14	100,0%
<b>Testigo</b>	14	100,0%	0	0,0%	14	100,0%

*FUENTE: Elaboración propia*

#### PRUEBAS DE NORMALIDAD DE LA VELOCIDAD, PARA LOS BOSQUES PLANTADOS CON *POLYLEPIS SPP* Y ÁREA TESTIGO

##### *Pruebas de normalidad<sup>a</sup>*

	Área	Kolmogorov-Smirnov <sup>b</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<b>Velocidad de Infiltración</b>	<b>BM_11</b>	,182	14	,200 <sup>*</sup>	,827	14	,011
	<b>BP_29</b>	,219	14	,067	,788	14	,004
	<b>BSM_11</b>	,226	14	,050	,735	14	,001
	<b>Testigo</b>	,180	14	,200 <sup>*</sup>	,895	14	,097

\*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

a. No hay ningún caso válido para Velocidad de Infiltración cuando Parcelas = ,000. No se pueden calcular los estadísticos para este nivel.

b. Corrección de la significación de Lilliefors

*FUENTE: Elaboración propia.*

**RELACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LA VELOCIDAD, PARA LOS BOSQUES PLANTADOS CON *POLYLEPIS SPP* Y ÁREA TESTIGO**

<b>Normalidad</b>		
<b>p.Valor Testigo = 0.097</b>	>	$\alpha = 0,05$
<b>P:Valor BP_29 = 0.004</b>	<	$\alpha = 0,05$
<b>p.Valor BM_11 = 0.011</b>	<	$\alpha = 0,05$
<b>p.Valor BSM_11 = 0.001</b>	<	$\alpha = 0,05$

*FUENTE: Elaboración propia.*

**ESTADÍSTICOS DE GRUPO, PARA LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN, DEL TESTIGO Y LAS PLANTACIONES CON *POLYLEPIS SPP***

	<b>Área</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típ.</b>	<b>Error típ. de la media</b>
<b>Velocidad acumulada</b>	<b>Testigo</b>	14	56,479	267,557	71,508
	<b>BP_29</b>	14	91,214	667,661	178,440
	<b>BM_11</b>	14	83,443	458,810	122,622
	<b>BSM_11</b>	14	58,486	335,614	89,697

*FUENTE: Elaboración propia*

**PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN ACUMULADA EN BOSQUES PLANTADOS CON *POLYLEPIS SPP* Y ÁREA TESTIGO**

PRUEBA ESTADÍSTICA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PARA EL TESTIGO Y BP\_29

**Igualdad de varianzas.** Prueba de Levene

P-Valor =  $> \alpha$  Acepta  $H_0$  = Las varianzas son iguales.

P-Valor = 0.055	>	$\alpha = 0.05$
-----------------	---	-----------------

## PRUEBA T-STUDENT PARA LA PARCELA TESTIGO Y EL BP\_29

### Prueba de muestras independientes

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias							
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
								Inferior	Superi.	
Se han asumido varianzas iguales	4,020	,055	-1,807	26	,082	-34,7357	19,2235	-74,2501	4,7787	
Velocidad de Infiltración No se han asumido varianzas iguales			-1,807	17,070	,088	-34,7357	19,2235	-75,2810	5,8095	

P-Valor = 0.082	>	$\alpha = 0.05$
-----------------	---	-----------------

Si la probabilidad obtenida P-Valor >  $\alpha$ , no rechace la Ho (Se acepta Ho).

### PRUEBA ESTADÍSTICA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PARA EL TESTIGO Y BM\_11

**Igualdad de varianzas.** Prueba de Levene

P-Valor = >  $\alpha$  Acepta Ho = Las varianzas son iguales.

P-Valor = 0.166	>	$\alpha = 0.05$
-----------------	---	-----------------

## PRUEBA T-STUDENT PARA EL TESTIGO Y EL BM\_11

### Prueba de muestras independientes

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias							
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
								Inferior	Superior	
Se han asumido varianzas iguales	2,032	,166	-1,900	26	,069	-26,9643	14,1949	-56,1423	2,2138	
Velocidad de Infiltración No se han asumido varianzas iguales			-1,900	20,925	,071	-26,9643	14,1949	-56,4906	2,5620	

FUENTE: Elaboración propio

P-Valor = 0.069	>	$\alpha = 0.05$
-----------------	---	-----------------

Si la probabilidad obtenida P-Valor >  $\alpha$ , no rechace la Ho (Se acepta Ho).

### PRUEBA ESTADÍSTICA DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN PARA EL TESTIGO Y EL BSM\_11

**Igualdad de varianzas.** Prueba de Levene

P-Valor =  $\alpha$ . Acepta Ho = Las varianzas son iguales.

P-Valor = 0.873	>	$\alpha = 0.05$
-----------------	---	-----------------

## PRUEBA T-STUDENT PARA EL TESTIGO Y EL BSM\_11

### Prueba de muestras independientes

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias							
	F	Sig.	t	Gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
								Inferior	Superior	
<b>Velocidad de Infiltración</b>	<b>Se han asumido varianzas iguales</b>			26	,862	-2,0071	11,4712	-25,5865	21,5722	
	<b>No se han asumido varianzas iguales</b>		-1,175	24,770	,863	-2,0071	11,4712	-25,6436	21,6293	

FUENTE: Elaboración propio

P-Valor = 0.862	>	α = 0.05
-----------------	---	----------

Si la probabilidad obtenida P-Valor > α, no rechace la Ho (Se acepta Ho).

### PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE LA LÁMINA INFILTRADA ACUMULADA EN BOSQUES PLANTADOS CON *POLYLEPIS SPP* Y ÁREA TESTIGO

LÁMINA INFILTRADA ACUMULADA	Área	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
	TESTIGO	,089	14	,200*	,988	14	,999
	BP_29	,080	14	,200*	,992	14	1,000
	BM_11	,165	14	,200*	,962	14	,764
	BSM_11	,100	14	,200*	,963	14	,772

FUENTE: Elaboración propio

**RELACIÓN DE LA NORMALIDAD PARA LOS BOSQUES PLANTADOS CON POLYLEPIS SPP Y ÁREA TESTIGO**

<b>NORMALIDAD</b>		
<b>p.Valor Testigo = 0.999</b>	<b>&gt;</b>	<b><math>\alpha = 0,05</math></b>
<b>P:Valor BP_29 = 1.000</b>	<b>&gt;</b>	<b><math>\alpha = 0,05</math></b>
<b>p.Valor BM_11 = 0.764</b>	<b>&gt;</b>	<b><math>\alpha = 0,05</math></b>
<b>p.Valor BSM_11 = 0.772</b>	<b>&gt;</b>	<b><math>\alpha = 0,05</math></b>

*FUENTE: Elaboración propio*

**ESTADÍSTICOS DE GRUPO DEL TESTIGO Y LAS PLANTACIONES CON POLYLEPIS SPP**

	<b>Área</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación típ.</b>	<b>Error típ. de la media</b>
<b>LÁMINA INFILTRADA ACUMULADA</b>	<b>Testigo</b>	14	6,229	24,123	,6447
	<b>BP_29</b>	14	8,657	22,721	,6073
	<b>BM_11</b>	14	8,957	35,598	,9514
	<b>BSM_11</b>	14	6,400	27,652	,7390

*FUENTE: Elaboración propio*

PRUEBA ESTADÍSTICA DE LA LÁMINA INFILTRADA PARA EL TESTIGO Y BP\_29

**Igualdad de varianzas.** Prueba de levene

P-Valor =  $> \alpha$  Acepta Ho = Las varianzas son iguales.

P-Valor = 0. 909	<b>&gt;</b>	<b><math>\alpha = 0.05</math></b>
------------------	-------------	-----------------------------------

**PRUEBA T-STUDENT PARA EL TESTIGO Y EL BP\_29**

		<i>Prueba de Levene para la igualdad de varianzas</i>		<i>Prueba T para la igualdad de medias</i>						
		<i>F</i>	<i>Sig.</i>	<i>t</i>	<i>Gl</i>	<i>Sig. (bilateral)</i>	<i>Diferencia de medias</i>	<i>Error típ. de la diferencia</i>	<i>95% Intervalo de confianza para la diferencia</i>	
									<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
<b>LÁMINA INFILTRADA ACUMULADA</b>	<i>Se han asumido varianzas iguales</i>	,013	,909	-2,742	26	,011	-2,4286	,8857	-4,2491	-,6081
	<i>No se han asumido varianzas iguales</i>			-2,742	25,907	,011	-2,4286	,8857	-4,2494	-,6077

*FUENTE: Elaboración propia*

P-Valor = 0. 011	>	$\alpha = 0.05$
------------------	---	-----------------

P-Valor =>  $\alpha$  Acepta Ho = No hay diferencia significativa en el incremento y mejora de la infiltración acumulada con plantaciones de *Polylepis spp* en la quebrada Quilcayhuanca.

**PRUEBA ESTADÍSTICA DE LA LÁMINA INFILTRADA PARA EL TESTIGO Y**

BM\_11

**Igualdad de varianzas.** Prueba de Levene

P-Valor = >  $\alpha$  Acepta Ho = Las varianzas son iguales.

P-Valor = 0. 253	>	$\alpha = 0.05$
------------------	---	-----------------

## PRUEBA T-STUDENT PARA EL TESTIGO Y EL BM\_11

### Prueba de muestras independientes

		Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
									Inferior	Superior
<b>LÁMINA INFILTRADA ACUMULADA</b>	<b>Se han asumido varianzas iguales</b>	1,364	,253	-2,374	26	,025	-2,7286	1,1493	-5,0909	-,3662
	<b>No se han asumido varianzas iguales</b>			-2,374	22,860	,026	-2,7286	1,1493	-5,1068	-,3504

*FUENTE: Elaboración propio*

P-Valor = 0. 025	>	α = 0.05
------------------	---	----------

Si la probabilidad obtenida P-Valor > α, no rechace la Ho (Se acepta Ho).

P-Valor = > α Acepta Ho = No hay diferencia significativa en el incremento y mejora de la infiltración con plantaciones de *Polylepis spp.*, en la quebrada Quilcayhuanca.

### PRUEBA ESTADÍSTICA DE LA LÁMINA INFILTRADA PARA EL TESTIGO Y BSM\_11

**Igualdad de varianzas.** Prueba de Levene

P-Valor => α Acepta Ho = Las varianzas son iguales.

P-Valor = 0. 575	>	α = 0.05
------------------	---	----------

**PRUEBA T-STUDENT PARA EL TESTIGO Y EL BSM\_11**

**Prueba de muestras independientes**

		<i>Prueba de Levene para la igualdad de varianzas</i>		<i>Prueba T para la igualdad de medias</i>						
		<i>F</i>	<i>Sig.</i>	<i>t</i>	<i>gl</i>	<i>Sig. (bilateral)</i>	<i>Diferencia de medias</i>	<i>Error típ. de la diferencia</i>	<i>95% Intervalo de confianza para la diferencia</i>	
									<i>Inferior</i>	<i>Superior</i>
<b>LÁMINA INFILTRADA ACUMULADA</b>	<i>Se han asumido varianzas iguales</i>	,322	,575	-,175	26	,863	-,1714	,9807	-2,1873	1,8445
	<i>No se han asumido varianzas iguales</i>			-,175	25,530	,863	-,1714	,9807	-2,1891	1,8463

*FUENTE: Elaboración propio*

P-Valor = 0. 863	>	$\alpha = 0.05$
------------------	---	-----------------

Si la probabilidad obtenida P-Valor >  $\alpha$ , no rechace la Ho (Se acepta Ho). P-Valor =>  $\alpha$  Acepta Ho = No hay diferencia significativa en el incremento y mejora de la infiltración con plantaciones de *Polylepis spp* de alta densidad en la quebrada Quilcayhuanca.

