

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**Evapotranspiración y programación de riego en cinco especies de  
pastos naturales alto andinas, Allpachaca - Ayacucho - 2018**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO AGRÍCOLA**

**PRESENTADO POR:  
Rudy Ore Huaranccay**

**Ayacucho – Perú  
2021**

## DEDICATORIA

*Al creador por darme la vida, por su compañía, consuelo y brindarme la fortaleza necesaria para cumplir mis objetivos, guiándome en mi camino.*

*A mi madre Máxima Kuaranccay Pillaca, por ser mi amiga y compañera por impartir en mí la valentía y la perseverancia para cumplir mis metas.*

*A mis hermanos: Fredy, Jósimo, Javier y Alicia por estar pendientes de mí y apoyarme incondicionalmente.*

*A mi amada Marianela Díaz, por su apoyo, paciencia y su amor sincero.*

## AGRADECIMIENTO

Por haber hecho realidad un reto más de mi vida, expreso mis sinceros agradecimientos:

La presente investigación se desarrolló gracias al financiamiento otorgado por el vicerrectorado de investigación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga a través del Fondo de Desarrollo Socioeconómico de Camisea, el cual benefició al proyecto: “Sistema de pastoreo en vacunos criollos y de doble propósito como alternativa para la preservación de ecosistema de pastizales en el distrito de Chiara” y dentro de ello se encuentra la presente investigación.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por darme la oportunidad de formarme académicamente día a día y forjar con valores para en el mañana ser profesional. Del mismo modo a la Facultad de Ciencias Agrarias y a la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola, por acogerme en sus aulas durante todo este tiempo.

Al estamento de docentes y personal administrativo de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola por brindarme sus enseñanzas, conocimientos, experiencias, apoyo y paciencia durante mi formación.

Mi infinita gratitud al Ing. Herbert Núñez Alfaro, asesor de la Tesis, quien me brindó la orientación y colaboración desde el inicio hasta la culminación de la presente investigación. Así mismo; al MV. William Palomino Conde por su gran apoyo incondicional.

También, a los miembros del jurado: Ing. Efraín Chuchón Prado, Ing. Wilfredo Daniel Gonzales Guzmán e Ing. Juan Charapaqui Anccasi; quienes contribuyeron para hacer realidad la presente investigación.

A mi amigo Manuel Quispe Huallanca, por su estrecha y entrañable amistad, que hoy goza en la gloria de Dios.

A todos mis compañeros(as) y amigos(as), por su amistad sincera, por su confianza, apoyo y por compartir gratos momentos.

Finalmente, a todas aquellas personas que directa e indirectamente han apoyado en la elaboración del actual proyecto de investigación.

**A todos ellos, mi eterna gratitud. Dios los bendiga,  
gracias.**

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
ACRÓNIMOS.....	xiii
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	2
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>5</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
1.1. Justificación.....	2
1.2. Antecedentes de la investigación.....	2
1.3. Zonas alto andinas.....	20
1.4. Pastos naturales alto andinas.....	20
1.4.1. Clasificación de los pastizales.....	22
1.4.2. Descripción de especies estudiadas.....	24
1.4.2.1. Chilligua ( <i>Festuca dolichophylla</i> ).....	24
1.4.2.2. Chilligua ( <i>Festuca rigescens</i> ).....	25
1.4.2.3. Chiji Pasto ( <i>Muhlenbergia ligularis</i> ).....	27
1.4.2.4. Layo ( <i>Trifolium amabile</i> ).....	28
1.4.2.5. Poa ( <i>Poa perligulata</i> ).....	29
1.4.2.6. Pasto ovinillo <i>Dactylis glomerata</i> .....	30
1.4.3. Trasplantar.....	31
1.5. Necesidades de agua en pastizales.....	32
1.5.1. Evaporación.....	32
1.5.2. Transpiración.....	33
1.5.3. Evapotranspiración.....	35
1.5.4. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETc).....	37
1.5.4.1. Métodos para estimar la evaporación de referencia (ETo).....	38

1.5.4.2. Lisímetro.....	39
1.5.4.3. Lisímetro de nivel freático.....	39
1.5.5. Evapotranspiración real o actual (ETr).....	40
1.6. Coeficiente de cultivo (Kc).....	41
1.6.1. Fenología de cultivo .....	41
1.6.1.1. Etapa de establecimiento .....	41
1.6.2. Fenología de pastos naturales alto andinas.....	43
1.6.2.1. Etapa vejetativo .....	43
1.6.2.1. Etapa de reproducción .....	43
1.6.2.1. Etapa de maduración .....	43
1.6.2.1. Etapa de diseminación .....	43
1.6.2.1. Etapa de hibernación .....	43
1.6.3. Estados fenológicos de gramíneas y leguminosas.....	44
1.7. Relación suelo agua planta .....	45
1.8. Necesidades de agua del cultivo .....	45
1.9. Balance hídrico .....	46
1.10. Eficiencia en el riego por gravedad .....	47
1.11. Infiltración .....	49
1.11.1. Velocidad de infiltración instantánea .....	49
1.11.2. Velocidad acumulada o lámina infiltrada acumulada .....	49
1.11.3. Velocidad de infiltración básica .....	50
1.11.4. Velocidad de infiltración promedio .....	50
1.12. Diseños experimentales .....	50
1.12.1. Diseño completamente al azar (DCA).....	50
1.12.2. Diseño en bloque completamente al azar (DBCA) .....	52
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>42</b>
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>42</b>
2.1. Ubicación del estudio .....	54
2.2. Características climáticas .....	57
2.3. Características del suelo .....	58
2.3.1. Análisis físico del suelo.....	58
2.4. Materiales y equipos .....	60

2.5. Diseño experimental .....	61
2.5.1. Características de la parcela experimental.....	62
2.5.2. Instalación y conducción de estudio.....	64
2.6. Parámetros de evaluación .....	77
2.6.1. Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET <sub>o</sub> ) .....	77
2.6.2. Determinación de la evapotranspiración del cultivo (ET <sub>c</sub> ) .....	77
2.6.3. Calculando el coeficiente de cultivo (K <sub>c</sub> ) .....	78
2.6.4. Programación de riego para los cinco especies de pastizales .....	79
2.7. Identificación de variables .....	82
2.7.1. Variables independientes .....	82
2.7.2. Variables dependientes .....	82
2.7.3. Variable interviniente .....	82
<b>CAPÍTULO III</b> .....	74
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	74
3.1. Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET <sub>o</sub> ) .....	74
3.2. Determinación de la evapotranspiración del cultivo (ET <sub>c</sub> ).....	78
3.3. Determinación del coeficiente de cultivo (K <sub>c</sub> ).....	81
3.4. Programación de riego para los cinco tratamiento .....	84
3.5. Análisis estadístico del diseño completamente al azar.....	91
3.6. Análisis estadístico del diseño de bloque completamente al azar .....	93
<b>CONCLUSIONES</b> .....	107
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	109
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	110
<b>ANEXOS</b> .....	113

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1.1. Factores que inciden en la evaporación y transpiración.....	21
Tabla 1.2. Evaporación potencial por zonas.....	25
Tabla 1.3. Las diferencias de evapotranspiración potencial (ETP).....	25
Tabla 1.4. Métodos para estimar la evapotranspiración de referencia.....	26
Tabla 1.5. Estados fenológicos de la gramínea.....	44
Tabla 1.6. Estados fenológicos de la leguminosas.....	44
Tabla 1.7. Eficiencia en el riego por gravedad.....	48
Tabla 1.8. Ejemplo de un diseño completamente al azar.....	52
Tabla 1.9. Ejemplo de un diseño en bloque de completamente al azar.....	53
Tabla 2.1. Características físico químico de suelo.....	47
Tabla 2.2. Distribución de la precipitación efectiva.....	68
Tabla 2.3. Definición operativa de variables e indicadores.....	83
Tabla 2.4. Operacionalización de la metodología.....	84
Tabla 3.1. Tabla comparativa de la evapotranspiración de referencia.....	75
Tabla 3.2. Cálculo de la evapotranspiración de referencia por método indirecto.....	76
Tabla 3.3. Cálculo de la evapotranspiración de referencia por método indirecto.....	77
Tabla 3.4. Evapotranspiración del pasto natural de <i>Festuca dolichophylla</i> (T1).....	78
Tabla 3.5. Evapotranspiración del pasto natural de <i>Festuca rigescens</i> (T2).....	79
Tabla 3.6. Evapotranspiración del pasto natural de <i>Muhlenbergia ligularis</i> (T3).....	79
Tabla 3.7. Evapotranspiración del pasto natural de <i>Trifolium amabile</i> (T4).....	80
Tabla 3.8. Evapotranspiración del pasto natural de <i>Poa perligulata</i> (T5).....	80
Tabla 3.9. Coeficiente de cultivo de <i>Festuca dolichophylla</i> (T1).....	82
Tabla 3.10. Coeficiente de cultivo de <i>Festuca rigescens</i> (T2).....	82
Tabla 3.11. Coeficiente de cultivo de <i>Muhlenbergia ligularis</i> (T3).....	82
Tabla 3.12. Coeficiente de cultivo de <i>Trifolium amabile</i> (T4).....	83
Tabla 3.13. Coeficiente de cultivo de <i>Poa perligulata</i> (T5).....	83
Tabla 3.14. Programación de riego para el pasto <i>Festuca dolichophylla</i> (T1).....	86
Tabla 3.15. Programación de riego para el pasto <i>Festuca rigescens</i> (T2).....	87
Tabla 3.16. Programación de riego para el pasto <i>Muhlenbergia ligularis</i> (T3).....	88
Tabla 3.17. Programación de riego para el pasto <i>Trifolium amabile</i> (T4).....	100
Tabla 3.18. Programación de riego para el pasto <i>Poa perligulata</i> (T5).....	101

Tabla 3.19. Datos de evapotranspiración de referencia en $\text{mm.mes}^{-1}$ para ANVA.....	102
Tabla 3.20. Análisis exploratorio y principales estadísticos de los datos.....	102
Tabla 3.21. Análisis de variancia (ANVA) del tratamiento 6 .....	103
Tabla 3.22. Datos de evapotranspiración de cultivo en $\text{mm.mes}^{-1}$ para ANVA.....	104
Tabla 3.23. Análisis exploratorio estadísticos de los datos con la función summary .....	105
Tabla 3.24. Análisis de variancia (ANVA) .....	106
Tabla A.1. Datos registrados de la evapotranspiración de referencia (ETo).....	115
Tabla B.1. Datos registrados de cultivo (ETc) .....	117
Tabla B.2. Datos registrados de cultivo (ETc) .....	118
Tabla C.2. Cálculo de la velocidad de infiltración (prueba N° 01).....	120
Tabla C.2. Cálculo de la velocidad de infiltración (prueba N° 02).....	122
Tabla C.3. Lámina infiltrada acumulada, velocidad de infiltración instantánea .....	124
Tabla D.1. Factor mensual de evapotranspiración .....	126
Tabla D.2. Horas sol máximo media diaria, según latitud .....	127
Tabla D.3. Radiación extraterrestre .....	128
Tabla F.1. Registro de precipitaciones mensual (mm) .....	132
Tabla F.2. Registro de temperatura mínima mensual ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	133
Tabla F.3. Registro de temperatura máxima mensual ( $^{\circ}\text{C}$ ) .....	134
Tabla F.4. Registro de temperatura media mensual ( $^{\circ}\text{C}$ ) .....	135
Tabla F.5. Registro de humedad relativa mensual (%) .....	136
Tabla F.6. Registro de horas sol mensual (Hr) .....	137
Tabla H.1. Etapas, estados fenológicos y actividades durante la ejecución del proyecto .....	144
Tabla I.1. Peso de materia fresca de las especies estudiadas.....	146
Tabla I.2. Peso de materia seca de las especies estudiadas .....	146

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1.1. Etapa de transición de la cobertura de pastos naturales.....	9
Figura 1.2. Pajonales de zona alto andina. ....	10
Figura 1.3. Césped de puna .....	10
Figura 1.4. Tolares de zona alto andina.....	11
Figura 1.5. Planta de <i>Festuca dolichophylla</i> .....	12
Figura 1.6. Planta de <i>Festuca rigescens</i> .....	13
Figura 1.7. Planta de <i>Muhlenbergia ligularis</i> .....	14
Figura 1.8. Planta de <i>Trifolium amabile</i> .....	15
Figura 1.9. Planta de <i>Poa perligulata</i> .....	16
Figura 1.10. <i>Dactylis glomerata</i> .....	17
Figura 1.11. Recolección de esquejes de pastos naturales .....	18
Figura 1.12. Esquema de evaporación.....	19
Figura 1.13. Esquema de transpiración .....	21
Figura 1.14. Esquema de evapotranspiración.....	22
Figura 1.15. Repartición de la evapotranspiración durante el periodo.....	22
Figura 1.16. Factores que afectan la evapotranspiración.....	24
Figura 1.17. Lisímetro de nivel freático del presente investigación.....	24
Figura 1.18. Evapotranspiración bajo condiciones estándar y no estándar .....	28
Figura 1.19. Curva generalizada del coeficiente de cultivo Kc.....	30
Figura 1.20. Relación suelo agua planta.....	33
Figura 1.21. Requerimiento hídrico de las plantas .....	34
Figura 2.1. Localización Departamental, Provincial y Distrital del proyecto .....	43
Figura 2.2. Ubicación geográfica de área destinada a las parcelas experimentales .....	44
Figura 2.3. Croquis de la unidad experimental con la distribución de las cinco especies.....	51
Figura 2.4. Prueba de lisimetría.....	52
Figura 2.5. Traslado de materiales y herramientas a Centro Poblado de Allpachaca .....	53
Figura 2.6. Estación meteorológica de Allpachaca .....	53
Figura 2.7. Calicata del zona - Allpachaca.....	54
Figura 2.8. Prueba de infiltración N° 01 realizada en campo.....	54
Figura 2.9. Instalación de cerco perimétrico .....	55

Figura 2.10. Trazo y replanteo del área de trabajo .....	55
Figura 2.11. Conexión de accesorios con tanque alimentador y pastos .....	56
Figura 2.12. Lisímetro de nivel freático constante y sus componentes .....	57
Figura 2.13. Llenado de piedras medianas al tanque de pastos .....	57
Figura 2.14. Llenado de tierra al tanque de pastos .....	58
Figura 2.15. Drenaje de agua del tanque alimentador hasta el tanque de almacenamiento .....	58
Figura 2.16. Recojo de muestras de pastizales de las alturas de Toccto .....	59
Figura 2.17. Pastizales en adaptación en los meses de lluvia.....	60
Figura 2.18. Poda de pastizales después de su adaptación .....	61
Figura 2.19. Registro y evaluación del drenaje de agua al tanque del almacenamiento .....	61
Figura 2.20. Llenado de agua al tanque alimentador.....	62
Figura 2.21. Deshierbo de los pastos .....	62
Figura 2.22. Forraje verde del tratamiento 1 del bloque II.....	63
Figura 2.23. Recojo de forraje verde del tratamiento 2 del bloque I.....	63
Figura 2.24. Recojo de forraje verde del tratamiento 6 de pasto de referencia .....	64
Figura 2.25. Muestra de los 18 tratamientos .....	64
Figura 2.26. Peso de forraje verde de las especies estudiadas.....	65
Figura 2.27. Secado a estufa para su peso seco de los pastos.....	65
Figura 3.1. Comparación de evapotranspiración por método directo e indirecto.....	75
Figura 3.2. Diagrama de cajas (Boxplot) de tratamiento 6 con tres repeticiones.....	102
Figura 3.3. Diagrama de cajas con Rstudio .....	105
Figura C.1. Curva de lámina acumulada (prueba N° 01).....	121
Figura C.2. Curva de velocidad de infiltración instantánea (prueba N° 01).....	121
Figura C.3. Curva de lámina acumulada (prueba N° 02).....	123
Figura C.4. Curva de velocidad de infiltración instantánea (prueba N° 02).....	123
Figura G.1. Caracterización de la muestra de suelo de Allpachaca .....	139
Figura G.2. Micro elementos de la muestra de suelo de Allpachaca.....	140
Figura G.3. Coeficiente hídrico de la muestra de suelo del sector Allpachaca .....	141
Figura G.4. Tablas de interpretación de resultados de las muestras.....	142
Figura J.1. Área del proyecto experimental de los cinco primeros tratamientos .....	137
Figura J.2. Traslado de materiales y herramientas al Centro Poblado de Allpachaca.....	137
Figura J.3. Prueba de infiltración N° 02 .....	138
Figura J.4. Llenado de piedra mediana, arena y tierra al lisímetro de nivel freático.....	138

Figura J.5. Adaptación de los pastizales durante los meses de lluvia .....	139
Figura J.6. Primera poda de los pastizales para iniciar con la evaluación de ETc. ....	139
Figura J.7. Evaluación y registro de evapotranspiración de cultivo .....	140
Figura J.8. Evaluación y registro de evapotranspiración de cultivo .....	140
Figura J.9. Mantenimiento de los accesorios del lisímetro.....	141
Figura J.10. Presencia del Ing. Herbert Núñez A. asesor de tesis, al área de investigación...	152
Figura J.11. Realizando la poda al finalizar la evaluación para pesar el forraje verde .....	153
Figura J.12. Poda final del pasto de referencia para calcular el peso de forraje verde.....	153
Figura J.13. Vista panorámico después de poda final .....	154
Figura J.14. Muestras de forraje verde de los pastizales y el pasto de referencia .....	154
Figura J.15. Peso de forraje verde de tratamiento 2 del bloque III.....	155
Figura J.16. Peso seco a estufa .....	155
Figura K.1. Plano del lisímetro de nivel freático.....	157

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Datos registrados de la evapotranspiración de referencia.....	114
Anexo B. Datos registrados de la evapotranspiración de cultivo.....	116
Anexo C. Prueba de infiltración básica.....	119
Anexo D. Tablas para el cálculo de método indirecto de la ETo.....	125
Anexo E. Solicitud presentada a OPEMAN - Ayacucho.....	129
Anexo F. Datos meteorológicos.....	131
Anexo G. Resultados de estudio de suelo.....	138
Anexo H. Etapas y estados fenológicos de pastizales.....	143
Anexo I. Peso de forraje verde y seco a estufas.....	145
Anexo J. Panel fotográfico.....	147
Anexo K. Plano del lisímetro de nivel freático.....	156

## ACRÓNIMOS

CC	: Capacidad de campo
Er	: Eficiencia de riego
ETa	: Evapotranspiración actual o real del cultivo
ETc	: Evapotranspiración de cultivo
ETo	: Evapotranspiración de referencia
Fr	: Frecuencia de riego
HR	: Humedad relativa
Ib	: Infiltración básica
Kc	: Coeficiente o factor de cultivo
Lb	: Lámina bruta
Ln	: Lámina neta
Mr	: Módulo de riego
NRb	: Requerimiento hídrico bruta
NRn	: Requerimiento hídrico neta
PMP	: Punto de marchitez permanente
Ra	: Radiación extraterrestre
Rn	: Radiación neta total
Tm	: Temperatura media diaria
Tr	: Tiempo de riego
Uc	: Uso consuntivo

## RESUMEN

El trabajo de investigación se ejecutó en los campos del fundo experimental Allpachaca de la Universidad Nacional de San Cristóbal Huamanga, ubicado en la comunidad Allpachaca, distrito Chiara, provincia de Huamanga y departamento de Ayacucho. El cual se inició con la instalación del proyecto en el mes de enero del 2019 y finalizando en el mes de enero del 2020. El objetivo de la investigación fue determinar los requerimientos hídricos de las cinco especies de pastos naturales alto andinas mediante el uso de lisímetro del nivel freático, fabricadas con tacho de 60 L (tanque de pastos), balde de 20 L (tanque alimentador) y 16 L (tanque de almacenamiento). El experimento se utilizó dos diseños; la primera es un diseño completamente randomizado(DCA) en la que se sembró pasto *Dactylis glomerata* que es el tratamiento seis, para evaluar la evapotranspiración del pasto como cultivo de referencia(ETo) con tres repeticiones y otro diseño en bloques completamente al azar(DBCA) en la que se trasplantó, considerándose tres bloques con cinco especies de pastos naturales alto andinas (*Festuca dolichophylla*, *Festuca rigescens*, *Muhlenbergia ligularis*, *Trifolium amabile* y *Poa perligulata*) cada especie con tres repeticiones, para evaluar la evapotranspiración cultivo(ETc). Cada tratamiento con sus respectivos lisímetros del nivel freático constante con esto se evaluó directamente en campo el requerimiento hídrico, utilizando el principio de lisimetría que consiste en la medición directa de la entrada (riego y lluvia) y salida de agua del lisímetro. El requerimiento hídrico para los pastos naturales estudiados es como sigue: *Festuca dolichophylla* 6,020.00 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; *Festuca rigescens* 5,960.00 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; *Muhlenbergia ligularis* 5,460.00 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; *Trifolium amabile* 5,340.00 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> y *Poa perligulata* 5,870.00 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>, estos resultados son obtenidos empleando el método lisimétrico del nivel freático, respectivamente durante los meses de mayo del 2019 al diciembre del 2019. La evapotranspiración de referencia (ETo) para las condiciones de los campos del fundo de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, evaluados durante los nueve meses reporta respectivamente los siguientes resultados que son: 90,12 mm.mes<sup>-1</sup>; 95,21 mm.mes<sup>-1</sup>; 94,67 mm.mes<sup>-1</sup>; 98,86 mm.mes<sup>-1</sup>; 99,62 mm.mes<sup>-1</sup>; 102,71 mm.mes<sup>-1</sup>; 109,37 mm.mes<sup>-1</sup>; 108,32 mm.mes<sup>-1</sup>; 109,30 mm.mes<sup>-1</sup>; 108,19 mm.mes<sup>-1</sup>; y así acumulando un total de 1,016.37 mm. de la misma manera se evaluó la evapotranspiración de cultivo para las cinco especies de pastos naturales alto andinas obteniendo los valores de 143,10 mm.mes<sup>-1</sup>; 154,90 mm.mes<sup>-1</sup>; 157,80 mm.mes<sup>-1</sup>; 172,50 mm.mes<sup>-1</sup> y 145,30 mm.mes<sup>-1</sup> de evapotranspiración de pastos naturales alto andinas.

**Palabras claves:** Lisímetros de nivel freático, pastos naturales alto andinas, evapotranspiración

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se observa la degradación y disminución de superficies con pastos naturales altos andinas en parte alta del Centro Poblado de Allpachaca. Esto es ocasionado por el cambio climático, sobrepastoreo, quema, incendio y por el desconocimiento de la cantidad de agua que necesitan los pastizales. Por lo que, es necesario realizar la evaluación de requerimiento hídrico de las praderas alto andinas para proponer el uso y manejo adecuado, sustentable y eficiente de estos ecosistemas ubicados en las partes altas de las cuencas. Además, es muy importante el estudio de los pastizales porque protege al suelo de erosión y ayuda a la infiltración, contribuyendo a regular la cantidad del agua de escurrimiento (Zea, 2015).

Dicho con las palabras de IPCC (2009), es probable que la escasez de agua se agrave en un futuro próximo bajo el efecto combinado de la alteración del ciclo hidrológico, el cambio climático y el aumento de la demanda de agua para la agricultura, las zonas urbanas y la industria.

La evapotranspiración (ET) es llamada también el uso de agua de cultivo. El término evapotranspiración combina la evaporación de la superficie del suelo con la transpiración de las plantas para describir la cantidad total de agua pérdida de un cultivo. El riego es inevitable y muy importante para el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. Para ello, una buena gestión del riego requiere una cuantificación precisa de la evapotranspiración del cultivo (Allen *et al.*, 2011).

La evapotranspiración de los cultivos (ETc) es una variable clave para optimizar la productividad del agua de riego y diseñar la programación del riego en la gestión del agua en la agricultura (Kool *et al.*, 2014).

Empleando las palabras de Bala *et al.*, (2015) la evapotranspiración de cultivo se puede medir utilizando métodos tradicionales como la relación de Bowen, la covarianza de los remolinos, el balance hídrico y, a escala de campo, utilizando sistemas de lisímetro. En la presente investigación se utilizó un lisímetro de nivel freático para obtener los resultados de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) y Evapotranspiración de cultivo (ET<sub>c</sub>), respectivamente con las especies de pastos naturales alto andinas.

De acuerdo con Britton *et al.*, (1982), las praderas naturales alto andinas se constituyen en comunidades vegetales nativas pobladas por una diversidad de plantas perennes y temporales que interactúan con los factores bióticos y abióticos del medio.

Los pastos naturales alto andinas de la sierra aloja casi a la integridad poblacional ganadera nacional: 70 % de vacunos, 97% de ovinos y el 100 % de los camélidos sudamericanos, o sea, alpacas, llamas y vicuñas. (Miranda *et al.*, 1995).

Ramiro *et al.*, (2000) manifiesta que dichas especies se alimentan y sustentan permanentemente de los pastos y pastizales que proceden de las praderas naturales. Actualmente los estudios agrológicos señalan que, debido al sobrepastoreo, los pastizales naturales permanecen deteriorándose con la ineludible desaparición de los superiores pastizales, ocasionado por un inadecuado funcionamiento y desconocimiento de las prácticas de mejoramiento de praderas naturales alto andinas.

Con todo lo anteriormente puntualizado, el proyecto se orienta a la evaluación y cuantificación de la evapotranspiración de cultivo (ET<sub>c</sub>); y el requerimiento hídrico de las cinco especies de pastos naturales alto andinas mediante el uso de lisímetro del nivel freático. Para las condiciones de la estación meteorológica (campos del fundo de la Universidad Nacional de San Cristóbal Huamanga) de la Comunidad de Allpachaca, Ayacucho, esto permitirá realizar una adecuada programación y distribución de agua en zonas alto andinas para lograr la conservación y mejoramiento de los pastizales alto andinas.

Teniendo en cuenta las consideraciones descritas se planteó el presente trabajo de investigación con los siguientes objetivos:

### **Objetivo general**

Determinar los requerimientos hídricos de las cinco especies de pastos naturales alto andinas mediante el uso de lisímetro del nivel freático en la Comunidad de Allpachaca – Ayacucho.

### **Objetivos específicos**

1. Determinar la evapotranspiración de referencia ( $E_{To}$ ), a través de la aplicación de los modelos indirectos y el uso del lisímetro del nivel freático.
2. Determinar la evapotranspiración del cultivo ( $E_{Tc}$ ), de las cinco especies de pastizales, mediante el uso del lisímetro del nivel freático.
3. Calcular el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ), que permite establecer el requerimiento hídrico de las cinco especies de pastizales, considerando la  $E_{To}$ , calculada con los modelos directos e indirectos y la  $E_{Tc}$ , calculada con el lisímetro del nivel freático.
4. Realizar una programación de riego para las cinco especies de pastos naturales alto andinas en la Comunidad de Allpachaca – Ayacucho.

El proyecto se rigió con la finalidad de determinar los requerimientos hídricos de las cinco especies de pastos naturales alto andinas mediante el uso de lisímetro del nivel freático, lo que permitirá generar nuevos conocimientos en el sistema de riego, para mejorar el piso forrajero y a la vez el manejo del uso sostenible y sustentable de pastizales alto andinas en la Comunidad de Allpachaca – Ayacucho.

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1.1. JUSTIFICACIÓN**

Al determinar el requerimiento hídrico de los pastizales, permitirá realizar una adecuada programación y distribución de agua en zonas alto andinas para lograr la conservación y mejoramiento de los pastos naturales alto andinas de la Comunidad de Allpachaca, distrito Chiara – Ayacucho.

**Justificación técnica.** En la actualidad existe perturbación de praderas naturales alto andinas. Esto es ocasionado por: quema, sobrepastoreo, trabajos de proyectos mineros, degradación, cambio climático, incremento de la erosión, compactación, disminución de infiltración y retención de agua esto conlleva una disminución significativa de los pastos naturales alto andinas a la vez ocasiona disminución de alimentación de la ganadería, actividad principal de las familias que habitan en zonas alto andinas.

**Valor socioeconómico.** Es muy importante los pastos naturales alto andinas porque es la fuente principal de alimentación para la ganadería que es la actividad principal de familias de alto andinas que genera gran parte de los ingresos económico de la ganadería que alimentan a 70 % de vacunos, 97 % de ovinos y el 100 % de alpacas, llamas y vicuñas.

Los pastos naturales alto andinas contribuyen con gran disponibilidad de agua, por la siguientes razones: las investigaciones demuestran producción de agua y la calidad incrementa con manejo de pastizales y la mejora de la situación de pastos naturales tiene correlación continua de conservación de superficie, infiltración de agua y disminución de la erosión.

**Justificación metodológica.** Se justifica la realización del presente trabajo de investigación, porque contribuirá con una metodología para determinar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) y evapotranspiración de cultivo (ET<sub>c</sub>) por método directo a través del instrumento de

lisímetro de nivel freático, bajo las condiciones ambientales de la estación meteorológica del Centro Poblado de Allpachaca.

**Importancia hidrológica.** Los pastos naturales alto andinas garantizan agua, porque las praderas retienen gran cantidad de agua en el suelo durante la época de lluvia y liberan de forma lenta a lo largo de periodos secos. Así mismo estas alimentan las fuentes de agua: ríos, quebradas y manantiales en los periodos secos.

**Valor ecológico.** Los pastos naturales alto andinas, son hábitat y nichos para numerosas especies de fauna y flora alto andina con valor ecológico.

## 1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Teniendo en cuenta a Sandoval (2014), expresa que existen experiencias realizadas en Ecuador sobre la “Determinación de las necesidades hídricas de pastura con manejo orgánico en la zona de influencia del canal de riego Gayambe - Pedro Moncayo”. En donde obtuvieron resultados a través del lisímetro volumétrico evaluando el Kc. Los valores obtenidos de Kc: para la zona alta 0,25 en la fase inicial; 0,32 en la fase de desarrollo y 0,45 en la fase intermedia; para la zona media 0,18 en la fase inicial, 0,21 en la fase de desarrollo y 0,35 para la fase intermedia y finalmente para la zona baja 0,10 para fase inicial, 0,14 en la fase de desarrollo y 0,46 en la fase intermedia. También se realizó una programación de riego. Dentro de programación se obtuvo que para la zona alta un caudal de  $0,71 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , para la zona medio un caudal de  $0,72 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  y finalmente para la zona baja un caudal de  $0,46 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Cordero (2017) declara en su trabajo de investigación titulada “Evapotranspiración potencial (ETP), del cultivo de alveja (*Pisum sativum*) con tres niveles de capa freática en Acobamba-Huancavelica”. Indica que la evapotranspiración es dependiente de condiciones climáticas, condiciones de humedad del suelo, del desarrollo fisiológico de un cultivo; no obstante, las solicitudes de evapotranspiración potencial para un plan, principalmente tienen la posibilidad de estimar si se conoce la evapotranspiración potencial (ETP) para el cultivo de alusión, aplicándose a esta evapotranspiración un coeficiente Kc que relaciona la demanda de agua de un cultivo con (ETP). Sabiendo después, la expansión de área de cada cultivo se puede estimar la demanda total de agua por los cultivos.

En el departamento de Puno se desarrolló la investigación “Determinación experimental de las necesidades hídricas del bofedal en puna seca y húmeda en el Departamento de Puno”.

Indica que en la actualidad existe reducción de las superficies del bofedal por desecamiento e inadecuada programación del riego y distribución del agua por desconocimiento del requerimiento hídrico del bofedal en puna seco y puna húmeda del departamento de Puno. Ocasionando inadecuado manejo del agua, pérdida de agua por escorrentía superficial y subsuperficial; provocando vulnerabilidad, degradación y deterioro de estos ecosistemas; como es la reducción de la cobertura vegetal, disminución de la producción y poca disponibilidad de forraje, desaparición de especies deseables e invasión de especies poco deseables, pérdida de la capacidad productiva del suelo (erosión, lavado de nutrientes, salinización y anegamiento) y finalmente incremento de la tasa de mortalidad ganadera por escasez de pastos, afectando directamente el bienestar económico del productor (Zea, 2015).

Teniendo en cuenta el texto del programa de adaptación al cambio climático (PACCCPeru, 2014). Manual técnico del manejo de pastos naturales alto andinas. Indica que las praderas naturales cubren casi el 12 % de la región del territorio y el 70 % del área agropecuaria en el área elevado andina, distribuidas en especial en las zonas de Puno, Cusco, Ayacucho y Arequipa. Además, conforman la base de la producción ganadera del territorio, primordialmente en las comunidades alto andinas. Debido a que los pastos naturales de la sierra alimentan al 73 % del ganado vacuno, al 94 % de ovinos y al 100 % de los camélidos sudamericanos, es decir, alpacas, llamas y vicuñas.

### **1.3. ZONAS ALTO ANDINAS**

Región alto andina situada por encima de los 3800 m. s. n. m. como promedio, con clima frío de montaña subhúmedo, una flora de tundra y fauna adaptada a la altura.

Cerca de doscientas mil personas que residen sobre los tres mil quinientos metros sobre el nivel del mar en el sur alto andinas del Perú son afectadas cada año por estos incidentes compuestos con estiajes durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre, es la consecuente pérdida para la población de sus principales medios de vida: suelos, biodiversidad, salud y producción agraria (PACC, 2014).

### **1.4. PASTOS NATURALES ALTO ANDINAS**

Malpartida (1999) plantea que es la parte del ecosistema, y está bien adaptado a las condiciones ambientales su ciclo vegetativo, etapas y estados fenológicos de la vegetación generalmente se presenta en estado de crecimiento durante noviembre a enero-febrero: la

floración de enero a marzo, culminado con la formación de semillas en marzo a abril. A consecuencia de las heladas y de la sequía las especies nativas entran en un estado de actividad fisiológica muy reducida, sus nuevas macollas se forman bajo la protección de rastrojos o tallos secos.

Berlijn y Bernadon (1989) afirma que el pastizal natural elevado andino, es la tierra productora de forraje natural que sirve para el consumo de los animales, como tal podría ser revegetado natural y artificialmente para dar una cubierta que se maneje como vegetación nativa. El pastizal comprende una sociedad de plantas y especies vegetales que integran: gramíneas; leguminosas forrajeras; pseudopastos, o sea plantas similares a los pastos y hierbas.

Desde el punto de vista de Miranda (1995), menciona que las praderas naturales alto andinas de la sierra peruana, permanecen conformadas por una diversidad biológica de plantas perennes y temporales.

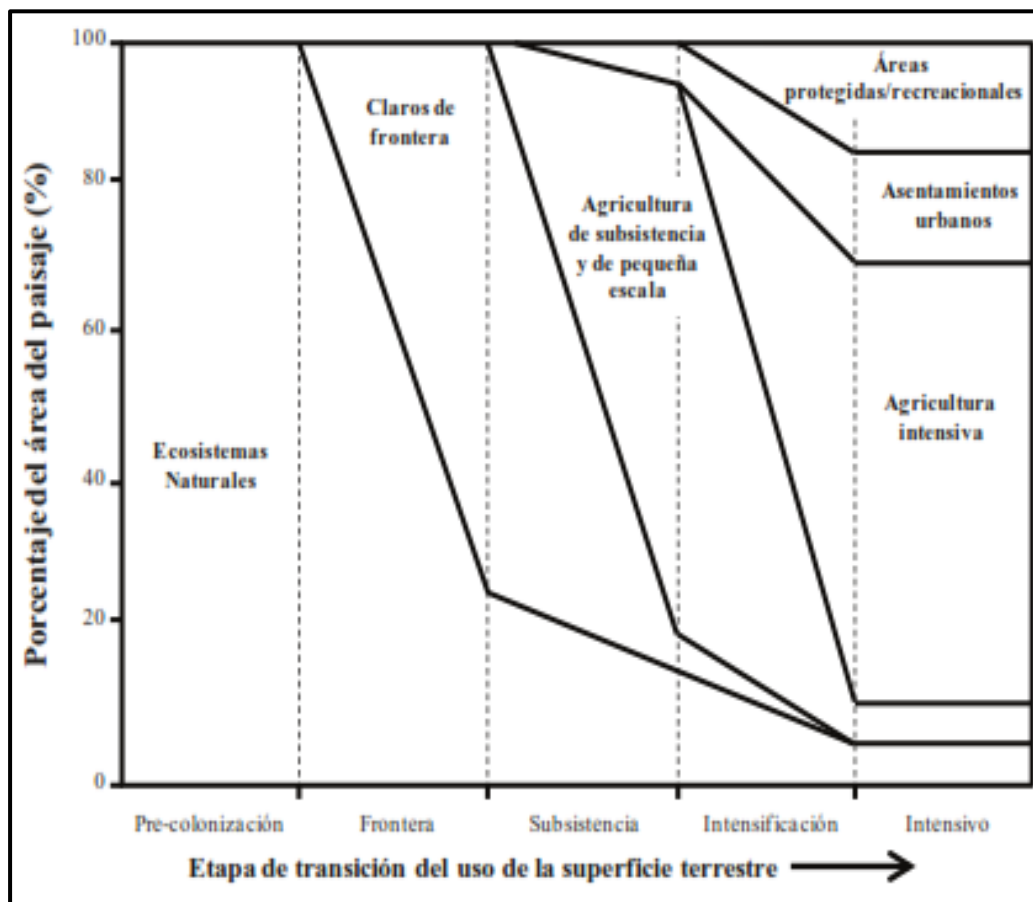
Teniendo en cuenta a Comber (2008), “la cobertura y el uso de pastos naturales” en la superficie terrestre han sido comúnmente confundidos y en algunos casos ha creado dificultades para la integración de información a nivel del manejo y desarrollo de los diferentes pastos naturales alto andinos.

Empleando las palabras de Gregorio *et al.*, (2000), la cobertura de pastos naturales ha sido definida como aquella cobertura natural biofísica observada sobre la superficie de la tierra y cubre la gran superficie de ella.

Lambin *et al.*, (2006) define también a la cobertura de pastos naturales como la subsuperficial limítrofe y por lo que posteriormente la cubierta natural de pastos quedaría conformada por biota, suelo, topografía, agua superficial y subterránea.

La región andina del Perú está conformada por la cordillera de los Andes, que corre del sur al norte del territorio y está ubicado entre la costa y la selva. Se estima que en el Perú la superficie ocupada con pastos naturales altoandinos es de 27.6 millones de hectáreas, que representan el 21 % del territorio nacional, los cuales soportan el 84 % de la ganadería nacional y 50 % de los sitios de los pastizales se encuentran en condición pobre y muy pobre,

como consecuencia del sobrepastoreo y de las deficientes prácticas de manejo que se emplean (Vivanco, 2007).



**Figura 1.1.** Etapa de transición de la cobertura de pastos naturales.

Fuente: Lambin *et al.*, (2006)

La figura muestra las etapas de cambio del uso de la cobertura de la superficie terrestre desde la Pre colonización hasta la etapa intensiva, detallando los procesos de transición que se dieron como consecuencia de la actividad humana. Estos datos permiten generar conclusiones y recomendaciones en el presente trabajo.

#### 1.4.1. Clasificación de los pastizales

PACC (2014) afirma que los tipos de pradera o pastizales se clasifican en pajonales, césped de puna, bofedales, tolares, canllares y juncales.

a) **Pajonal.**- Son agrupaciones de matas de gramíneas de hojas duras, en algunas ocasiones punzantes, conocidas con los nombres vulgares de “ichu” o “paka” a lo largo del territorio alto andina (Quispe, 2003)

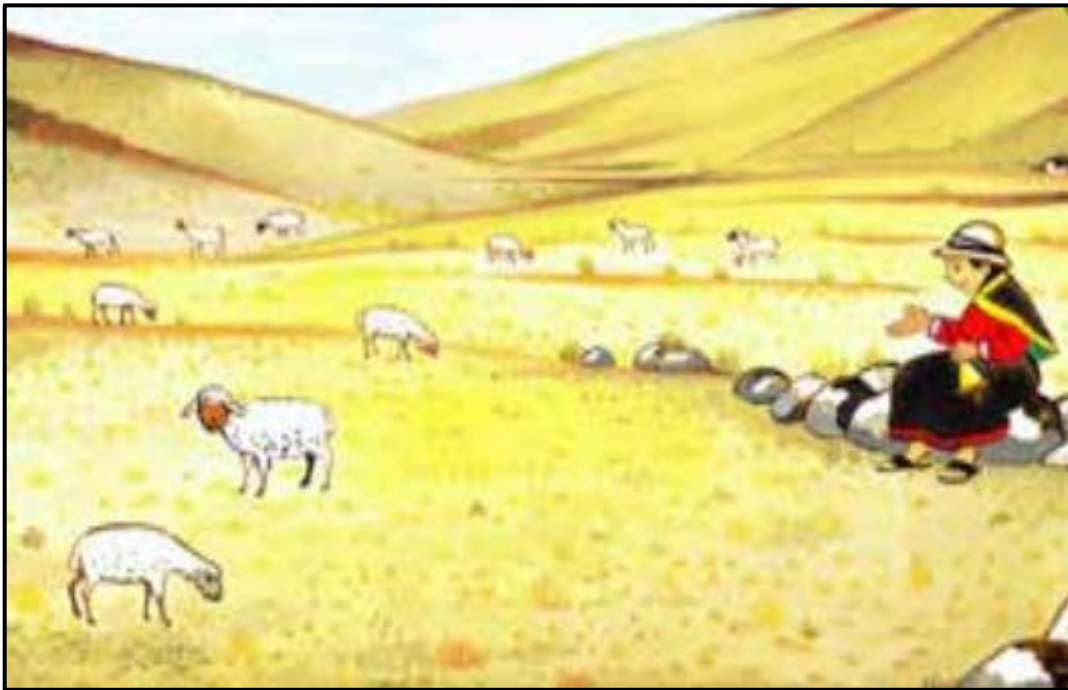
PACC (2014) define es el tipo de vegetación que ocupa más grande expansión en el área de alta montaña, donde predominan las gramíneas altas, habitualmente conocidas como “ichu”.



**Figura 1.2.** Pajonales de zona alto andina.

Fuente: Programa de Adaptación al Cambio Climático - PACC Perú, (2014)

- b) **Césped de puna.-** PACC (2014) deduce que está constituido por plantas infantiles de porte almadillado y arrositado, entre ellas destacan el “pacu pacu”, “mula pilli”, “pilli rosado” y “pasto estrella”



**Figura 1.3.** Césped de puna

Fuente: Programa de Adaptación al Cambio Climático - PACC Perú, (2014)

- c) **Tolares**

Citando a PACC (2014), refiere que son praderas donde predominan especies arbustivas leñosas, similares a ellas tenemos la posibilidad de hallar especies como: “chillca”, “tola”, “pasto estrella”, “peqe” y además gramínea como “chilligua” e “iru ichu”.



**Figura 1.4.** Tolares de zona alto andina

Fuente: Programa de Adaptación al Cambio Climático - PACC Perú, (2014)

## 1.4.2. Descripción de especies estudiadas

### 1.4.2.1. Chilligua (*Festuca dolichophylla*)

Mamani *et al.*, (2013) indica que es una especie de la familia Poaceae. Planta perenne crece en matorros de 30 a 100 cm de altura, hojas que sobresalen las cañas floríferas, inflorescencia en panícula angosta, espiguilla multiflora, con glumas agudas más cortas que la lemma, lemma ligeramente aristada o acuminada.

Se desarrolla desde los 3800 hasta los 4300 m. s. n. m. Crece en suelos recónditos, algo frescos.

Es consumido mayores partes por llamas, vacunos y muy poco consume los ovinos y alpacas. Su valor nutritivo es 7,6 % proteína cruda, y 40 % de fibra cruda.



**Figura 1.5.** Planta de *Festuca dolichophylla*

### **Taxonomía**

Reyno	: Vegetal o plantae
División	: Fanerógamas
Subdivisión	: Angiospermas
Clase	: Liliópsidas
Subclase	: Monocotiledóneas
Orden	: Graminales
Familia	: Poaceae o Gramineae
Subfamilia	: Festucoldeas
Tribu	: Festuceae
Género	: Festuca
Especie	: <i>Festuca dolichophylla</i>
Nombre científico	: <i>Festuca dolichophylla</i> Presl
Nombre común	: Chilligua (Cronquist, 1988)

#### **1.4.2.2. Chilligua (*Festuca rigescens*)**

Mamani *et al.*, (2013) explica que es una especie correspondiente al núcleo familiar de las poáceas. Planta perenne, cespitosa, de 15 a 25 centímetros de elevación, lígula pestañosa, láminas semirrígidas, de ápice obtuso, involuta, finamente pubescente en el haz. Lemma escabroso, pubescente hacia el ápice, brevemente aristada, raquilla escabroso-pubescente.

Se realiza a partir de los 3800 m. s. n. m. hasta los 4600 m. s. n m. crece en suelos algo húmedos y en vegetación tipo pajonal y césped de puna. Es una especie deseable para bovinos, los ovinos y las alpacas solo consumen los brotes de esta especie.



Figura 1.6. Planta de *Festuca rigescens*

### Taxonomía

Reyno	: Vegetal o plantae
División	: Fanerógamas
Subdivisión	: Angiospermas
Clase	: Liliópsidas
Subclase	: Monocotiledóneas
Orden	: Graminales
Familia	: Poaceae o Gramineae
Subfamilia	: Festucoldeas
Tribu	: Festuceae
Género	: Festuca
Especie	: <i>Festuca rigescens</i>
Nombre científico	: <i>Festuca rigescens</i> (Presl) Scribn
Nombre común	: Chilligua (Cronquist, 1988)

### 1.4.2.3. Hatun - Chiji (*Muhlenbergia ligularis*)

Mamani *et al.*, (2013) señala que es una especie perteneciente a la familia Poaceae. Planta perenne, cespitosa con cañas de 4 - 8 cm de largo. Láminas foliares planas o subinvolutas, hojas planas, suaves, panículas pequeñas con espiguillas uniflorales, glumas obtusas, lemna aguda. Crece en suelos húmedos y de textura media, es deseable para ovinos y alpacas.



Figura 1.7. Planta de *Muhlenbergia ligularis*

#### Taxonomía

Reyno	: Vegetal o plantae
División	: Fanerógamas
Subdivisión	: Angiospermas
Clase	: Liliópsidas
Subclase	: Monocotiledóneas
Orden	: Graminales
Familia	: Poaceae o Gramineae
Subfamilia	: Festucoideas
Tribu	: Agrostideae
Género	: Muhlenbergia
Especie	: <i>Muhlenbergia ligularis</i>
Nombre científico	: <i>Muhlenbergia ligularis</i> (Hack.) Hitchc
Nombre común	: Hatun - Chiji (Cronquist, 1988)

#### 1.4.2.4. Trébol nativo, Layo (*Trifolium amabile*)

Mamani et al., (2013) argumenta que es una especie perteneciente a la familia de las Fabáceas. Es una planta perenne que tiene una vida productiva de 4 a 7 años. Planta cespitosa de raíz pivótate, engrosada y bastante hecha de hasta 25 centímetros de extenso, tallo poco alto del área del suelo, hojas trifoliadas, los foliolos son anchos y aovados, inflorescencia en cabezuelas cortamente pedunculadas, corola blanquecina o rosada, fruto o legumbre con 1 o 2 semillas. Se desarrolla desde los 3800 hasta los 4300 m. s. n. m. en suelos de textura media, con buena humedad y en vegetación tipo césped y pajonal.



Figura 1.8. Planta de *Trifolium amabile*

#### Taxonomía

Reyno	: Vegetal o plantae
División	: Fanerógamas
Subdivisión	: Angiospermas
Clase	: Magnoliópsidas
Subclase	: Dicotiledóneas
Orden	: Rosales
Familia	: Fabáceas o Leguminosas
Subfamilia	: Papilionáceas
Tribu	: Trifoliadas
Género	: <i>Trifolium</i>
Especie	: <i>Trifolium amabile</i>
Nombre científico	: <i>Trifolium amabile</i> H.B.K.
Nombre común	: Layo (Cronquist, 1988).

#### 1.4.2.5. Poa (*Poa perligulata*)

Mamani *et al.*, (2013) da a conocer que es una especie perteneciente a la familia de las Poaceas. Planta perenne cespitosa, con cañas de 3,5 a 7 cm de altura. Láminas foliares plegadas o en ocasiones planas, algo suaves, aguas o subagudas, de ápice arqueado, glabras. Eslogan subaguda u obtusa, membranácea pardusca hacia el ápice. Se desarrolla hasta los 4700 m. s. n. m. Crece en suelos húmedos y en vegetación tipo pajonal y césped de puna.



Figura 1.9. Planta de *Poa perligulata*

#### Taxonomía

Reyno	: Vegetal o plantae
División	: Fanerógamas
Subdivisión	: Angiospermas
Clase	: Liliópsidas
Subclase	: Monocotiledóneas
Orden	: Graminales
Familia	: Poaceae o Gramineae
Subfamilia	: Festucoldeas
Tribu	: Festuceae
Género	: Poa
Especie	: <i>Poa perligulata</i>
Nombre científico	: <i>Poa perligulata</i> Sp
Nombre común	: Poa (Cronquist, 1988).

#### 1.4.2.6. *Dactylis glomerata*

Hierba perenne con un color ligeramente azulado; Tallo erecto, aun cuando en ocasiones doblado en los nudos, delgado, sin pelos. Las hojas son alternas, dispuestas en 2 hileras sobre el tallo, con las venas paralelas, divididas en 2 cantidades, la inferior llamada vaina que envuelve parcialmente al tallo y principalmente es más corta que el entrenudo, y la parte preeminente de la hoja llamada lámina que es extensa, angosta y plana, áspera al tacto; entre la vaina y la lámina, por la cara interna (Vibrans, 2009).



**Figura 1.10.** *Dactylis glomerata*

#### **Taxonomía**

Reyno	: Vegetal o plantae
División	: Magnoliophyta
Subdivisión	: Spermatophyta
Clase	: Liliopsida
Subclase	: Commelinidae
Orden	: Poales
Familia	: Poaceae
Subfamilia	: Pooideae
Tribu	: Poeae
Género	: <i>Dactylis</i>
Especie	: <i>Dactylis glomerata</i>
Nombre científico	: <i>Dactylis glomerata</i>
Nombre común	: Pasto ovillo (Cronquist, 1988).

### 1.4.3. Trasplantar

Trasladar planta de la zona en que está adaptada y plantarlas en lugar distinto (RAE, 1989).

Como dice Miranda (2014), es la técnica que se basa en contar con plantas madres vigorosas como “chillihua”, “kuncuna”, entre otras; y desde ellas se obtienen los macollos y esquejes.

El trasplante se hace con una picota, se hace un corte en el suelo y se introduce la base del macollo o del esqueje, después se apisona para crear contacto entre el vegetal y el suelo. La densidad es de 40,000.00 plántulas por hectárea. Para eso, se necesita regar la pradera cada semana para mantenerla húmeda y afirmar el rendimiento de las plántulas.

Trasplante en botánica y particularmente en agricultura es el traslado de plantas del sitio en que están arraigadas y plantarlas en otro. Es una técnica agronómica bastante vieja que, junto con el semillero o almácigo y el vivero, sirve para la reproducción y propagación de las plantas mediante semillas (propagación sexual), como elección a la siembra directa de éstas, así como a la propagación asexual o clonal de las plantas o propagación vegetativa que es la desarrollada mediante tejidos vegetales (bulbos, rizomas, estolones, tubérculos o esquejes e injertos) (Vásquez, 1997).

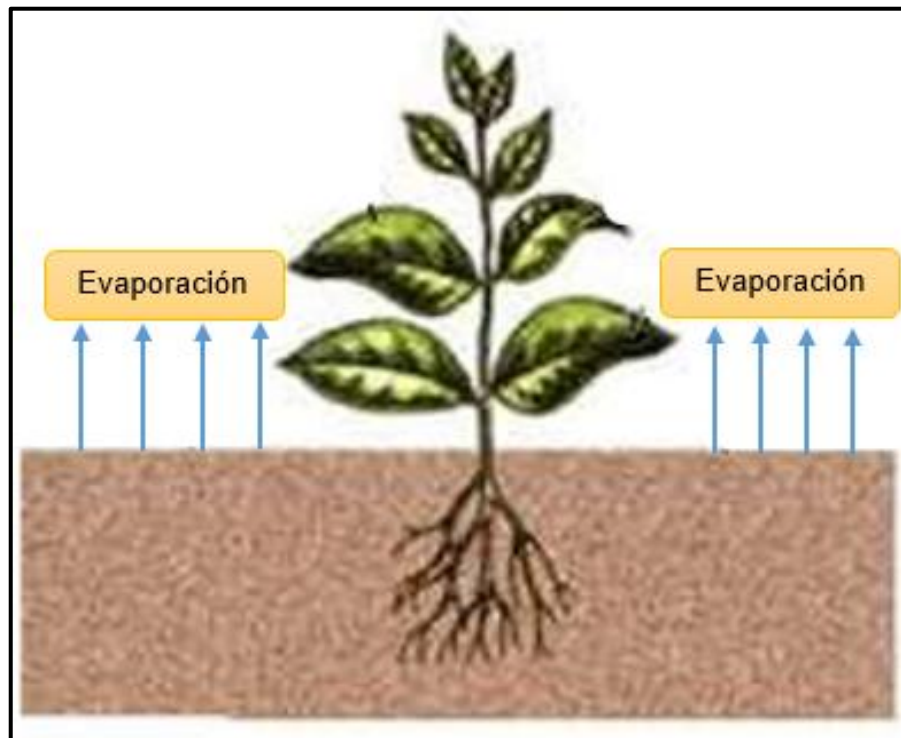


**Figura 1.11.** Recolección de esquejes de pastos naturales

## 1.5. NECESIDADES DE AGUA EN PASTIZALES

### 1.5.1. Evaporación

Empleando las palabras de Allen *et al.*, (2006), la evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor y se retira de la superficie terrestre.



**Figura 1.12.** Esquema de evaporación

Fuente: <http://www.horticom.com/pd/imagenes/56/341/56341.html>

Vásquez *et al.*, (2017) sostiene como como el fenómeno físico por el que el agua en estado de vapor se mueve a partir del mesó filo de la planta hacia la atmósfera. O sea, el río de la planta a la atmósfera pasa por medio de las estomas y de las demás células epidérmicas, por medio de la cutícula de la planta.

Sánchez (2005) manifiesta que es un fenómeno físico en el que el agua pasa de líquido a vapor. Se produce evaporación desde:

- a) La superficie del suelo y la vegetación inmediatamente después de la precipitación.
- b) Desde las superficies de agua (ríos, lagos, embalses).

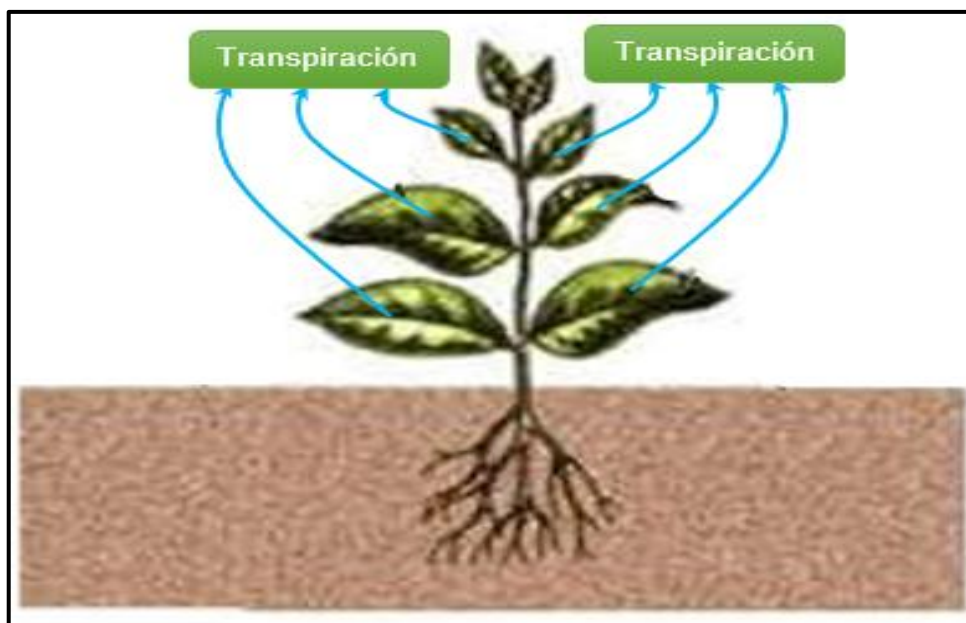
c) Desde el suelo, agua filtrada que se evapora desde la parte más superficial del suelo. Puede tratarse de agua recién filtrada o, en áreas de descarga, de agua que se acerca de nuevo a la superficie después de un largo recorrido en el subsuelo.

### **1.5.2. Transpiración**

Allen *et al.*, (2006) menciona que la transpiración es como un proceso que se apoya en la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su siguiente remoción hacia la atmósfera; o sea los cultivos pierden agua predominantemente por medio de los tejidos especializados a grado de la respiración celular – las estomas. La vaporización pasa en la hoja en los espacios intercelulares y el trueque del vapor con la atmósfera es controlado por la apertura estomática, casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y únicamente una pequeña parte se convierte en cierta medida de los tejidos vegetales.

A partir de la postura de Cordero (2017), la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta y su siguiente remoción hacia la atmósfera. Estas son pequeñas aberturas en la hoja de la planta por medio de las cuales atraviesan los gases y el vapor de agua de la planta hacia la atmósfera. El agua, junto con ciertos nutrientes, es absorbida por las raíces y transportada por medio de la planta.

Vásquez *et al.*, (2017) dice que es el proceso de rí o hacia la atmósfera perteneciente de la evaporación del agua del suelo y de la transpiración de las plantas. Y Sánchez (2005) define como un fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua a la atmósfera en forma de vapor.



**Figura 1.13.** Esquema de transpiración

Fuente: <http://www.horticom.com/pd/imagenes/56/341/56341.html>

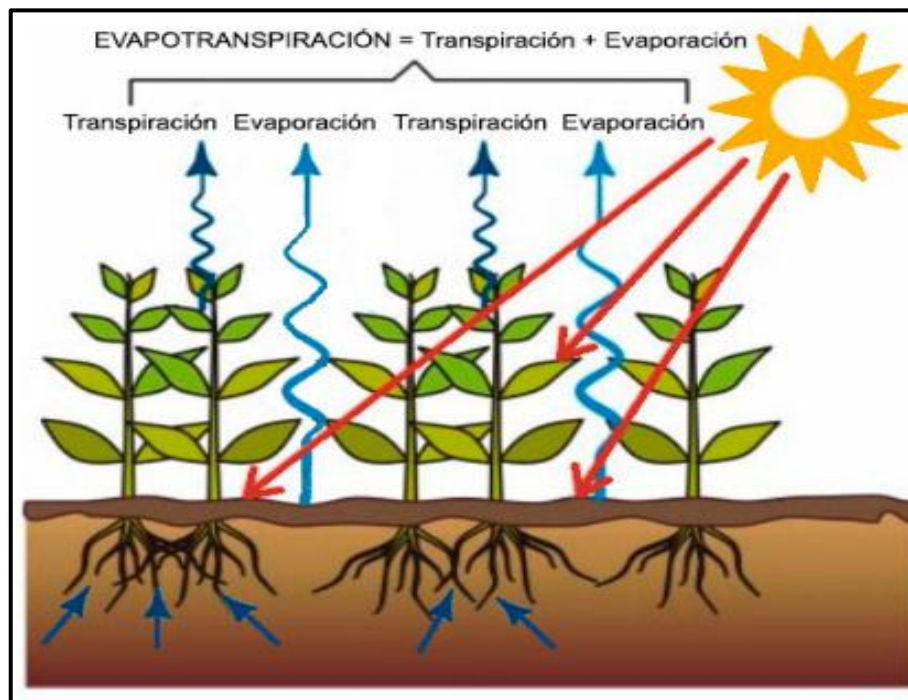
**Tabla 1.1.** Factores que inciden en la evaporación y transpiración

Parámetros que inciden en la evaporación y transpiración	Evaporación depende			Transpiración depende
	La lámina de agua libre	El suelo desnudo		
Poder evaporante de la atmosfera.	X	X		X
Salinidad del agua (inversamente).	X			
Temperatura del agua.	X			
Tipo del suelo (textura, estructura).			X	
Grado de humedad del suelo.			X	X
Tipo de planta.				X
Variaciones estacionales: cultivo, desarrollo de las plantas, zonas de bosque de caduca y caída de la hoja paraliza la transpiración.				X
Variaciones interanuales: en áreas de bosque la ET aumenta con el desarrollo de los árboles.				X

Fuente: Sánchez, (2005)

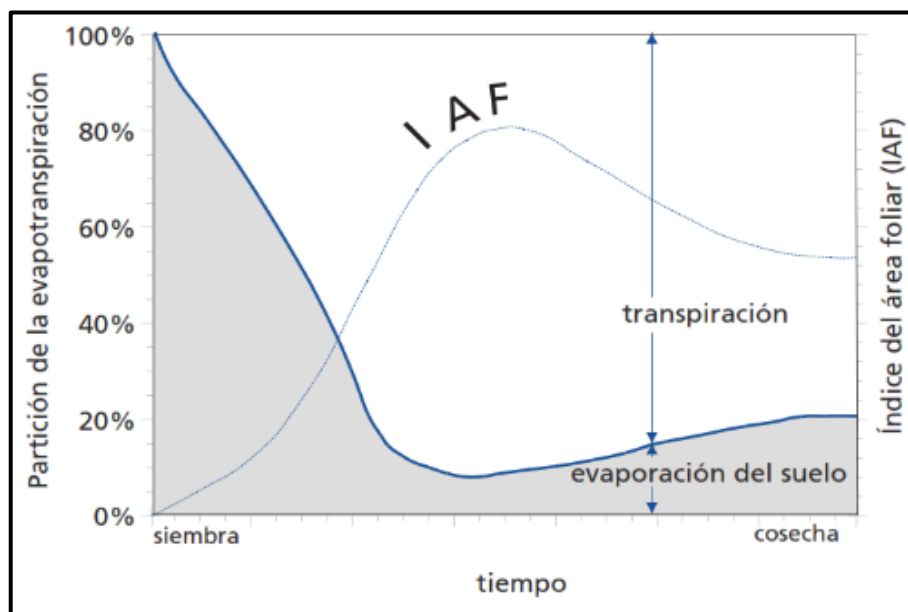
### 1.5.3. Evapotranspiración

Como confirma Cadena (2012), es un proceso de producción, las pérdidas de agua por evaporación del suelo son más grandes al instante del establecimiento del cultivo (siembra), de acuerdo con el cultivo va desarrollando estas pérdidas va decreciendo y la transpiración de las plantas va incrementando. Dichos dos procesos sumados se llaman evapotranspiración.



**Figura 1.14.** Esquema de evapotranspiración

**Fuente:** <https://www.singulargreen.com/riego-en-las-cubiertas-vegetales/>



**Figura 1.15.** Repartición de la evapotranspiración durante el periodo

**Fuente.** Allen et al, (2006)

Vásquez *et al.*, (2017) expone que es un proceso físico por medio del cual el agua pasa de estado líquido a vapor. La evaporación constituye una de las etapas del periodo hidrológico, y está influenciada por distintos componentes. Entre los cuales, se poseen al: Viento, temperatura, humedad relativa, radiación, estructura y color del suelo, entre otros. En la situación de los cultivos, una vez que se habla de evaporación, nos estamos refiriendo a la evaporación del agua que está en el suelo.

Fuentes (1998) manifiesta que es la suma de agua que necesita la vegetal, el consumo de agua por evaporación y por transpiración se puede considerar como el consumo total; agua incorporada a la planta (agua de constitución).

Castellví (1996) argumenta que la vaporización de un líquido en el área que la separa de la etapa gaseosa, con la cual está en contacto. La transpiración es un proceso que se basa en la supresión por evaporación de una sección del agua absorbida por las plantas (ET) que combina ambos procesos discreta y que tiene relación con la pérdida de agua a partir de un área con cubierta vegetal, debido a que en la verdad es un proceso de cambio de etapa de agua, la evaporación es predominante en la cavidad subestomática. Mientras tanto, la transpiración sugiere un flujo de vapor a partir del inferior de la cavidad al exterior.

$$ET = E_s + T \quad \text{Ec. (1.1)}$$

Donde:

ET: Evapotranspiración.

E<sub>s</sub>: Evaporación de agua absorbida por las plantas.

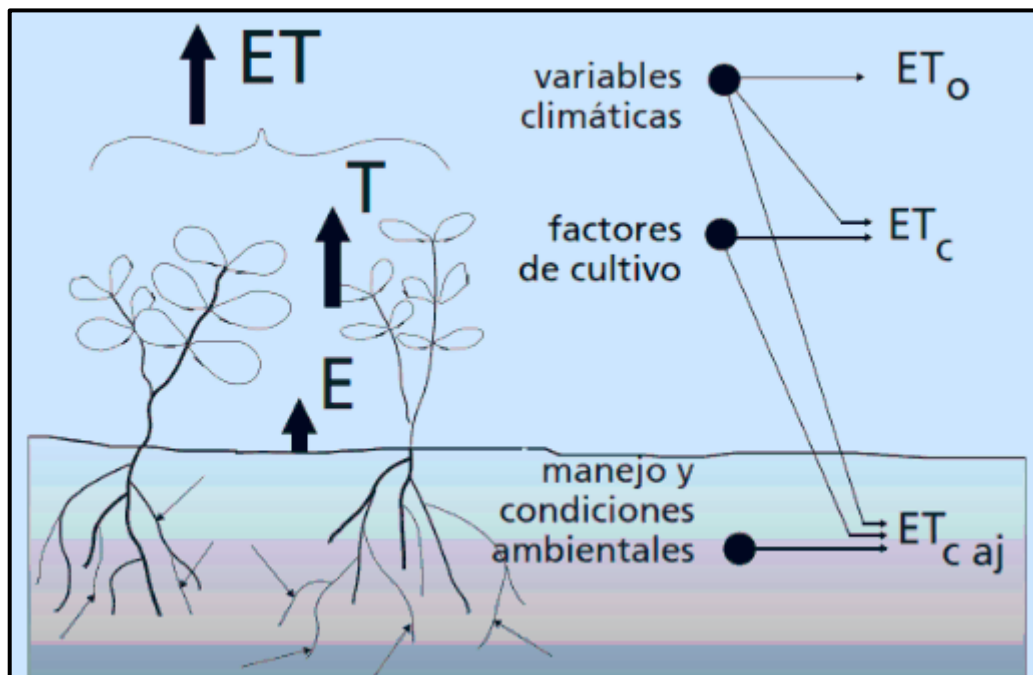
T: Evaporación de agua absorbida por el suelo, las unidades se expresan en mm o m<sup>3</sup>.ha<sup>1</sup>, (1 mm equivalente a 10 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>).

### **Unidades de medida de evapotranspiración:**

Allen *et al.*, (2006), explica que la evapotranspiración se expresa comúnmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la proporción de agua pérdida de un área cultivada en unidades de elevación de agua. La unidad de tiempo podría ser una hora, día, 10 días, mes o inclusive un completo lapso de cultivo o un año.

### Factores que afectan a la evapotranspiración

Allen et al., (2006), especifica a los próximos componentes como: el clima, las propiedades del cultivo, el desempeño y el medio de desarrollo que están afectando a la evaporación y la transpiración. La evaporación es dependiente del poder evaporante de la atmósfera. Los conceptos involucrados a la ET y presentados en la **Figura 1.16** se describen en la parte sobre conceptos de evapotranspiración.



**Figura 1.16.** Factores que afectan la evapotranspiración

Fuente. Allen et al, (2006)

#### 1.5.4. Evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_c$ )

Fuentes (1998) estima que la evapotranspiración del cultivo de alusión es la proporción de agua consumida, a lo largo de un definido lapso de tiempo, en un suelo cubierto de una vegetación homogénea, densa, en plena actividad vegetativa y con un óptimo abastecimiento de agua.

**Tabla 1.2.** Evaporación potencial por zonas

zonas	Evapotranspiración potencial (ETP)
Valles (de 1,000 a 2,000 m. s. n. m.)	4,0 mm.d <sup>-1</sup>
Zonas quechua (de 2,000 a 3000 m. s. n. m.)	3,0 mm.d <sup>-1</sup>
La jalca ( de 3,000 m. s. n. m. o más)	2,5 mm.d <sup>-1</sup>

Fuente: Vásquez, (2016)

**Tabla 1.3.** Las diferencias de evapotranspiración potencial (ETP)

Regiones	Temperatura media diaria °C		
	Fría T < 10 °C	Moderada T = 20 °C	Cálida T > 30 °C
<b>Tropical</b>			
Húmeda	3 - 4	4 - 5	5 - 6
Subhúmeda	3 - 5	5 - 6	7 - 8
Semiárida	4 - 5	6 - 7	8 - 9
Árida	4 - 5	7 - 8	9 - 10
<b>Subtropical</b>			
<b>Lluvia de verano:</b>			
Húmeda	3 - 4	4 - 5	5 - 6
Subhúmeda	3 - 5	5 - 6	6 - 7
Semiárido	4 - 5	6 - 7	7 - 8
Árida	4 - 5	7 - 8	10 - 11
<b>Lluvias de invierno:</b>			
Húmeda - Subhúmeda	2 - 3	4 - 5	5 - 6
Semiárida	3 - 4	5 - 6	7 - 8
Árida	4 - 5	6 - 7	10 - 11
<b>Templada</b>			
Húmeda - Subhúmeda	2 - 3	3 - 4	5 - 7
Semiárida - Árida	3 - 4	5 - 6	8 - 9

Fuente: Vásquez, (2016)

Las diferencias en ETP, según las zonas, temperatura y entre zonas más bajas y las alturas.

#### 1.5.4.1. Métodos para estimar la evaporación de referencia (ET<sub>o</sub>)

Benites (1999) examina que los intentos de medida de la evapotranspiración de alusión han desarrollado diferentes metodologías, varias de ellas trataron de evaluar los flujos controlables e inferir los de difícil decisión, y otros han usado recursos meteorológicos medidos para hallar una correlación con la evaporación o evapotranspiración. Es por esto que se puede agrupar los

procedimientos directos e indirectos usando la información concedida por estaciones meteorológicas.

**Tabla 1.4.** Métodos para estimar la evapotranspiración de referencia

<b>Método directo</b>	<b>Método indirecto</b>
Método de lisímetro	Método de Penman - Monteith
Método gravimétrico	Método de Blaney y Criddle.
Medida del tanque de evaporación	Método Hargreaves, Serruto y otros.

Fuente: Benites, (1999)

#### **A) Método directo:**

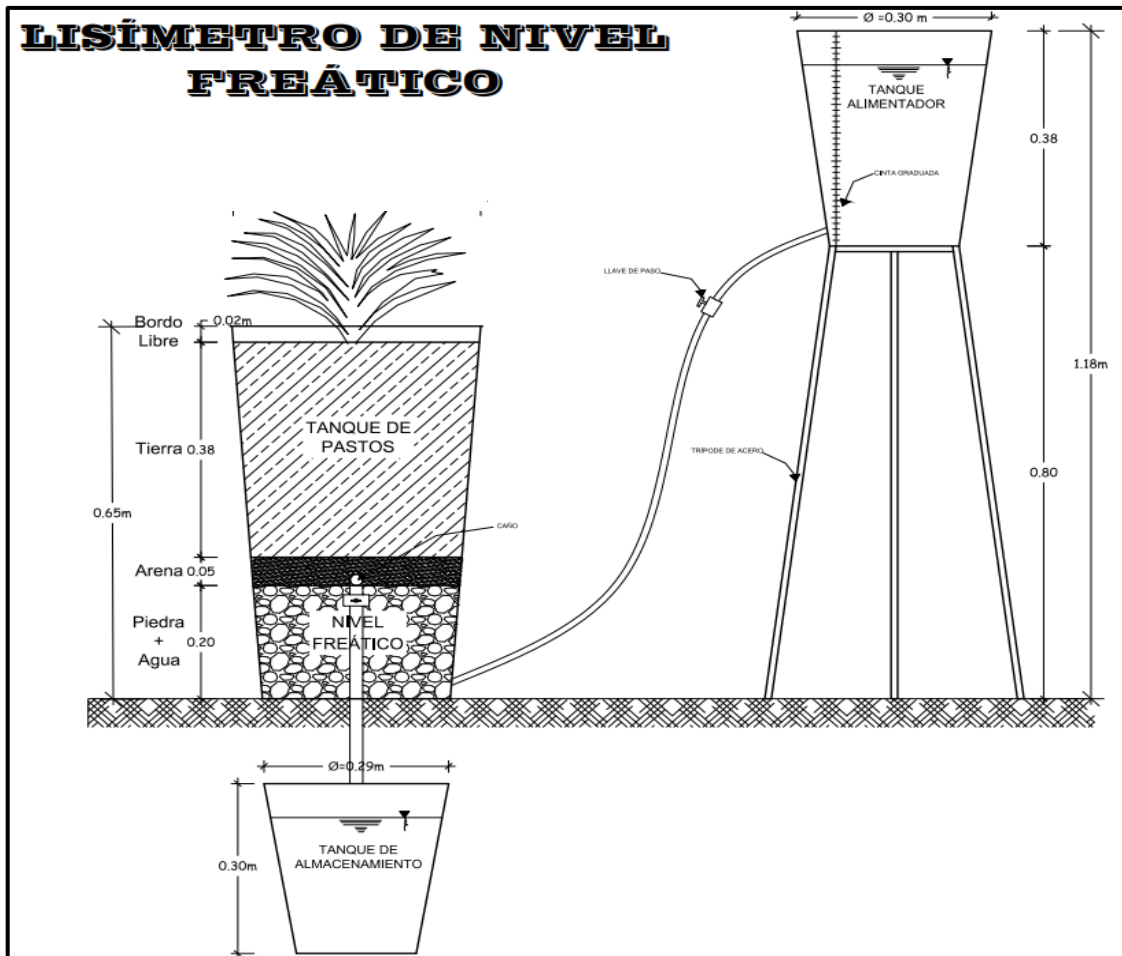
Castellvi (1996) Menciona que, para medir la evapotranspiración real con exactitud, se usa los lisímetros que son bloques de suelo aislado donde se controla su grado de humedad, que se ha usado como procedimiento para calibrar el agua que se aplica por riego.

#### **1.5.4.2. Lisímetro**

Teniendo en cuenta a Cordero (2017) los lisímetros son aparatos o equipos que permiten medir la evapotranspiración del cultivo que está dentro de ello. Los lisímetros son los procedimientos más adecuados para medir de manera directa el ritmo de la evapotranspiración de alusión o la evapotranspiración de cultivo.

#### **1.5.4.3. Lisímetro de nivel Freático**

Empleando las palabras de Cordero (2017), lisímetro de nivel freático constante, consiste en un tanque con suelo en que se mantiene el nivel freático constante en el suelo por medio del tanque alimentador que provee el agua.



**Figura 1.17.** Lisímetro de nivel freático constante que se utilizó para presente investigación

### 1.5.5. Evapotranspiración real o actual (ETr)

Allen *et al.*, (2006) define que la evapotranspiración real o presente es la que se crea cualesquiera que sean las condiciones de las plantas y del suelo. Se la define además como la tasa real de consumo de agua de un cultivo. Entre los componentes que están afectando o definen la evapotranspiración real o uso consuntivo de agua de un cultivo, permanecen los mismos que están afectando a la evaporación del agua del suelo y a la transpiración de las plantas, como, por ejemplo:

- Elementos climáticos.
- Especie vegetal o cultivo y sus características genéticas.
- Nivel de humedad del suelo.
- Características físicas y químicas del suelo.
- Sanidad y vigorosidad del cultivo.
- La fase vegetativa del cultivo.

La evapotranspiración actual o real puede calcularse mediante la relación:

$$ETA = Kc * Ks * Kb * ETP \quad \text{Ec. (1.2)}$$

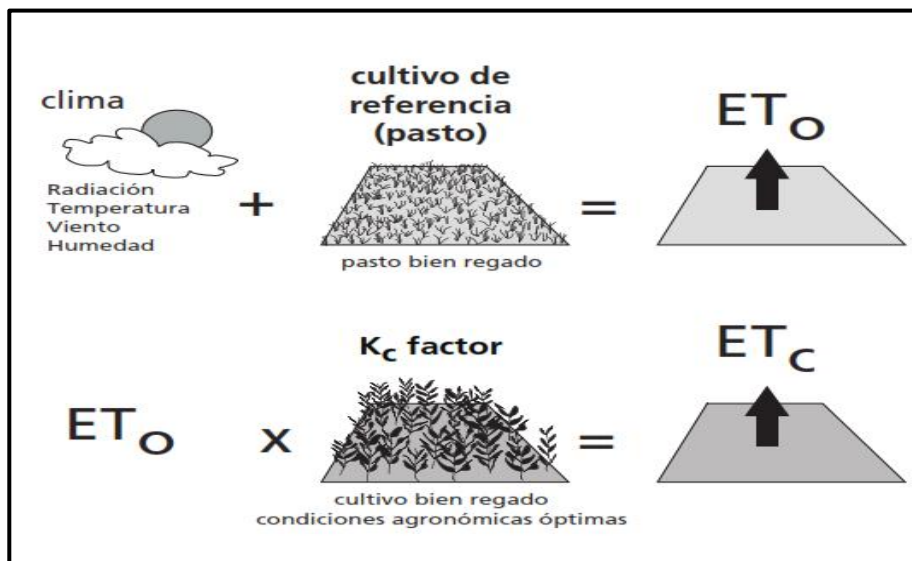
Donde:

$K_c$  : Factor de cultivo.

$K_s$  : Factor de humedad.

$K_b$  : Factor de suelo.

ETP : Evapotranspiración Potencial.



**Figura 1.18.** Evapotranspiración bajo condiciones estándar y no estándar

Fuente: Allen *et al.*, (2006)

## 1.6. COEFICIENTE DE CULTIVO (K<sub>C</sub>)

Es un coeficiente que tiene presente las propiedades del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo y se explica las variaciones de la proporción de agua que las plantas extraen del suelo mientras se van desarrollando, a partir de la siembra hasta la recolección (Allen *et al.*, 2006).

Citando a Benítez (1999), lo define como un componente que sugiere el nivel de desarrollo de un cultivo y está desarrollado con la cobertura del suelo del mismo, que es la que va a influenciar la evapotranspiración.

Calvache (2012) dice que el coeficiente de cultivo es el factor primordial, debido a que explica las variaciones de la proporción de agua que las plantas extraen del suelo mientras se va desarrollando, a partir de la siembra hasta su cosecha los cultivos se desarrollan no de una forma regular si no una forma dinámica y conforme a las propiedades de su ámbito. El  $K_c$

muestra valores pequeños al principio del desarrollo del cultivo e incrementa mientras aumenta la cobertura del suelo. El costo más alto se alcanza a lo largo de la floración, se conserva a lo largo de la etapa media y al final decrece a lo largo de la maduración.

### **1.6.1. Fenología del cultivo**

Fillat *et al.*, (2008) indica que el desarrollo fenológico de los pastos sigue estrechamente las diferenciaciones meteorológicas a lo largo de la gradiente altitudinal, es decir que una misma especie de pasto no se comporta de igual manera cuando se encuentra en una altura de 1800 m. s. n. m. con respecto a una que se encuentra a una altura de 2500 m. s. n. m. o 3500 m. s. n. m. precisamente este gradiente fenológico constituye la base de utilización ganadera y puede dedicarse a la producción de carne o a la producción lechera. Dentro del desarrollo fenológico podemos identificar en la etapa de establecimiento a la fase inicial, fase de desarrollo, fase intermedia y la fase final; y etapa producción podemos encontrar a la fase de rebrote y la fase de desarrollo.

#### **1.6.1.1. Etapa de establecimiento**

##### **a) Fase inicial**

Comprende el intervalo desde la siembra o trasplante hasta que el cultivo cubra alrededor de un 10 % del suelo o sea de 2 a 3 macollos. Esta fase puede ser afectada ya sea por la semilla, la humedad y/o el método de siembra, teniendo una duración en promedio de 10 a 20 días (Ruiz, 1995)

##### **b) Fase de desarrollo**

Comienza al final de la fase inicial y se prolonga hasta que se alcance el 70 -80 % de la cobertura del suelo, tiene 6-7 semanas de edad (40-50 días desde la siembra); esto no quiere decir que el cultivo alcanzado su máximo altura, hay un aumento de material fotosintetizante que resulta en un rápido aumento de la masa vegetal. Esta fase puede ser afectada por el ambiente, suelo y la misma planta (Ruiz, 1995)

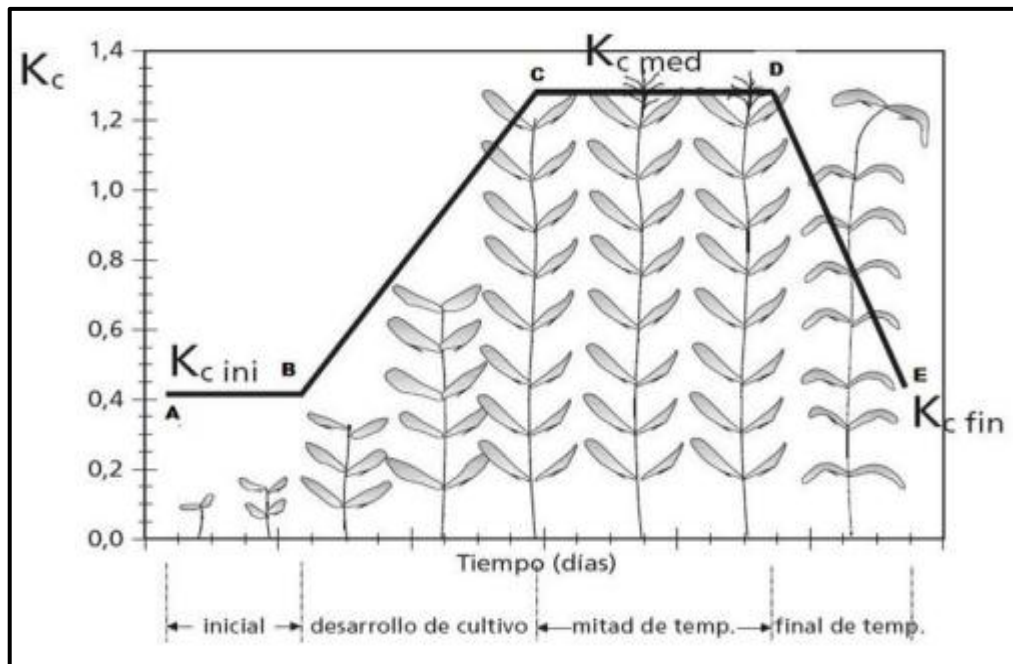
##### **c) Fase de intermedia**

Comienza al final del máximo crecimiento y se prolonga hasta su madurez, incluye las fases de floración y de fructificación (en plantas con frutos). Esta fase coincide con el mayor IAF (índice de área foliar). Esta fase puede ser afectada por las hojas bajo sombra, la senescencia y mortalidad de las hojas de la base de los tallos, tiene una

duración por lo regular de 40 a 50 días desde el final de la fase de desarrollo (Ruiz, 1995)

#### d) Fase final

Comienza al final de la fase intermedia y dura de 20 a 30 días hasta el momento de la recolección de los frutos, en el pasto hasta cuando se libera las semillas, incluye la fase de madurez fisiológico (Ruiz, 1995)



**Figura 1.19.** Curva generalizada de coeficiente de cultivo  $K_c$

Fuente: Estudios FAO Riego y Drenaje 56

### 1.6.2. Fenología de pastos naturales alto andinas

#### 1.6.2.1. Etapa vegetativa

De acuerdo con Durand *et al.*, (2008) esta etapa vegetativa incluye el estado de rebrote hasta inicio de elongación del tallo que ocurre en los primeros meses de trasplante de pastizales y en esta etapa ocurre las siguientes actividades como: descanso de pastizal, riego en caso si tenga fuente de agua, abonamiento con estiércol de la zona, establecimiento de esquejes en lugares sobres pastoreados y siembra o trasplante a través de labranza mínima.

#### 1.6.2.2. Etapa de reproducción

Teniendo en cuenta a Durand *et al.*, (2008) en esta etapa reproductiva incluye los estados de aparición de la hoja bandera, inicio de panoja, inicio de floración y plena floración. Así mismo se hacen las siguientes actividades: descanso de pastizal, recolección de plantas indeseables y tóxicas para evitar la formación de las semillas y colección de muestras.

### 1.6.2.3. Etapa de maduración

Empleando la palabra de Durand *et al.*, (2008) la etapa de maduración se encuentra tres estados fenológicos: grano lechoso de la semilla, grano pastoso de la semilla y el semilleo (semilla propiamente dicho); las actividades son: descanso de pastizales, recolección de las semillas para su establecimiento a través de labranza mínimas.

### 1.6.2.4. Etapa de diseminación

Desde el punto de vista de Durand *et al.*, (2008) esta etapa solo incluye la caída de las semillas por acción de los vientos o el paso de los animales al debilitarse el punto de inserción entre la gluma y la raquilla de la semilla y también el pastoreo de los pastizales para facilitar la diseminación de las semillas a través del pisoteo por los animales.

### 1.6.2.5. Etapa de hibernación

Desde la posición de Durand *et al.*, (2008) esta etapa se refiere al periodo de descanso de las plantas, que se inicia al término de la maduración de las semillas y diseminación de las semillas respectivamente hasta el inicio del nuevo periodo de lluvias (noviembre-diciembre), en donde se da inicio nuevamente el rebrote de las plantas y recolección y selección de plantas y esquejes para su establecimiento en lugares degradados y también la apertura de zanjas de infiltración para evitar la erosión.

## 1.6.3. Estados fenológicos de gramíneas (Poaceas) y leguminosas (Fabaceas)

Tabla 1.5. Estados fenológicos de la gramínea

Estados fenológicos	Características
Rebrote	Aparición del primer tallo y/o hoja foliar.
Inicio de elongación	Aparición del primer tallo (diferenciación del nudo y entrenudo)
Aparición de la hoja bandera	Aparición de la última hoja (antes de la aparición de la inflorescencia)
Inicio de panoja	Aparición de la primera inflorescencia.
Inicio de floración	Cuando 1/3 de las inflorescencias presentan las anteras visibles.
Plena floración	Cuando el 80 % de las inflorescencias presentan las anteras visibles.
Grano lechoso de la semilla	Cuando 1/3 de las inflorescencias presenta semillas con grano lechoso.
Grano pastoso de la semilla	Cuando el 80 % de las inflorescencias presentan semillas con grano pastoso.
Semilleo	Cuando 1/3 de las inflorescencias presentan semillas maduras

Fuente: Durand *et al.*, (2008)

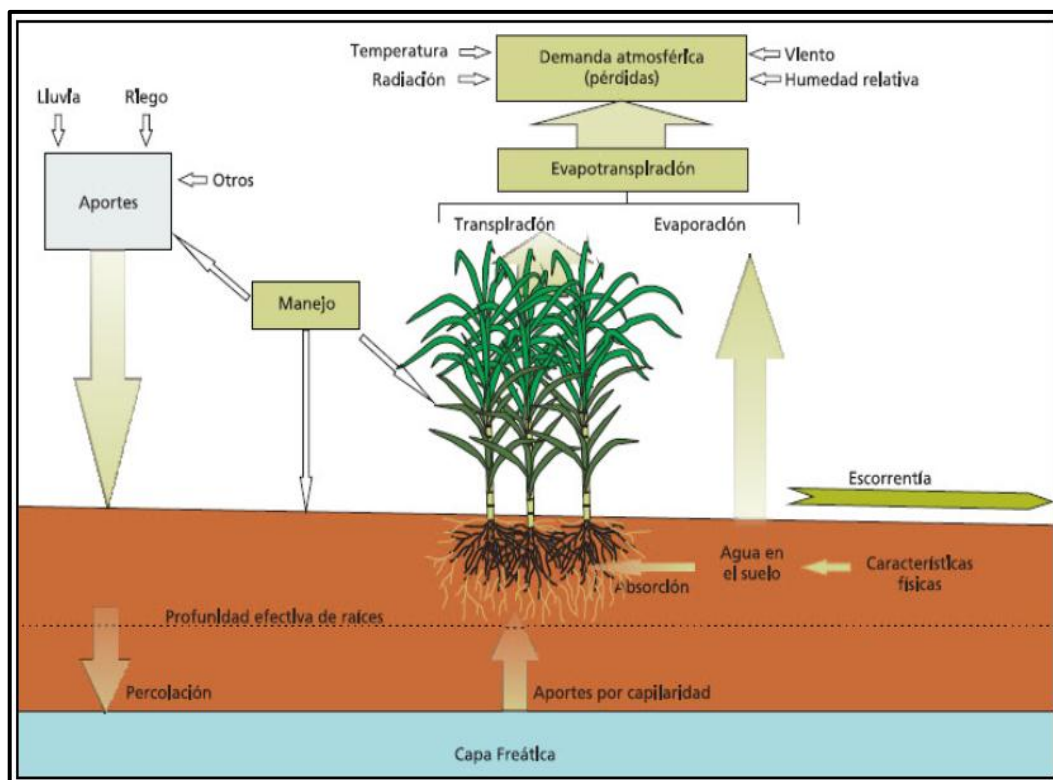
**Tabla 1.6.** Estados fenológicos de leguminosas

Estados fenológicos	Características
Rebrote	Aparición de la primera hasta quinta o sexta hoja trifoliar.
Inicio de elongación	Desde el alargamiento de las primeras yemas de la corona hasta elongación de los primeros tallos.
Botones florales	Cuando 1/3 de los tallos presentan botones o primarios florales.
Inicio de floración	Cuando 30 % de los botones florales presentan pétalos abiertos.
Plena floración	Cuando el 80 % de los botones florales presentan pétalos abiertos.
Formación de vainas	Cuando 1/3 de las inflorescencias presentan los pétalos secos con desprendimiento de las mínimas.
Llenado de vainas	Cuando 1/3 de las inflorescencias de la parte inferior muestra vainas o caracoles de color pardo.
Grano lechoso de la semilla	Cuando el 1/3 de las inflorescencias presentan semillas con grano lechoso.
Grano pastoso de la semilla	Cuando el 80 % de las inflorescencias presentan semillas con grano pastoso.
Semilleo	Cuando 1/3 de las inflorescencias presentan semillas maduras.

Fuente: Durand *et al.*, (2008)

## 1.7. RELACIÓN SUELO AGUA PLANTA

Pizarro (1996) estima que el agua es el elemento primordial de las plantas, en ciertos de cuyos órganos representan más del 90 % del peso. Actúa como disolvente y medio de transporte de gases, minerales y otras sustancias fundamentales para la vida vegetal y es del mismo modo un reactivo de procesos primordiales, como la fotosíntesis. Empero a partir de la perspectiva de la tecnología de riego lo que atrae es conocer el desplazamiento del agua en el sistema suelo – planta – atmósfera y más que nada dos preguntas prácticas: el instante óptimo de riego y las necesidades hídricas.



**Figura 1.17.** Relación suelo agua planta

Fuente: Zea, (2015)

## 1.8. NECESIDADES DE AGUA DEL CULTIVO

A partir de la perspectiva de Allen et al., (2006), define como la proporción de agua solicitada para indemnizar la pérdida por evapotranspiración del cultivo. Pese a que los valores de la evapotranspiración del cultivo y de las necesidades de agua del cultivo son idénticos, sus definiciones conceptuales son diferentes:

Las necesidades de agua del cultivo se refieren a la proporción de agua que requiere ser concedida al cultivo como riego o precipitación, mientras que la evapotranspiración del cultivo tiene relación con la proporción de agua perdida por medio de la evapotranspiración.

$$Nr = Na - PE \quad \text{Ec. (1.3)}$$

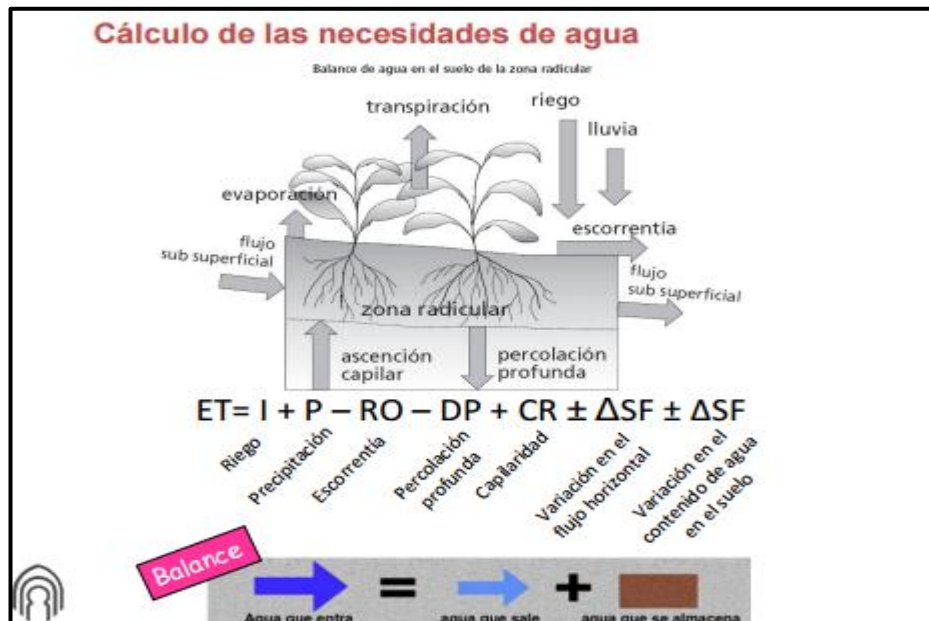
Donde:

Nr : La necesidad de riego (mm)

Na : Necesidad de agua del cultivo (mm)

PE : Precipitación efectiva (mm)

El requerimiento de agua de riego también incluye agua adicional para el lavado de sales, y para compensar la falta de uniformidad en la aplicación de agua.



**Figura 1.18.** Requerimiento hídrico de las plantas

Fuente: Allen et al., (2006)

## 1.9. BALANCE HÍDRICO

García (1990) afirma que el balance hídrico se debe conocer las entradas de agua, que permanecen dadas por la precipitación (P), cuantificada por medio de un pluviómetro; el riego, medido volumétricamente, y las salidas de agua de un cultivo, que se proporcionan por la evapotranspiración de cultivo (ETc), que es la pérdida de agua por evaporación a partir de cualquier área evaporante más la transpiración de la vegetación que existe, y por el drenaje (D), que es la proporción de agua que percola por medio del suelo por impacto de la gravedad. Además, se debería conocer el contenido de agua en la masa de suelo o agua retenida (AR); para eso decidir las curvas de retención de humedad del suelo en los lisímetros y se localizó que entre 10 y 32 centibares este tiene una humedad de 32.6 y 30.6 % basado en volumen. Por consiguiente, los cambios en el contenido de humedad del suelo se aproximaron a cero y no se tomaron presente para el cálculo de evapotranspiración de cultivo.

La evapotranspiración puede ser representada mediante la siguiente ecuación:

$$ETc = P + R - D \quad \text{Ec. (1.4)}$$

Donde:

P: Precipitación (mm)

R: Riego (mm)

D: Drenaje (mm)

### 1.10. EFICIENCIA EN EL RIEGO POR GRAVEDAD

A partir de la perspectiva de Vásquez et al., (2017) es llamada además eficiencia de riego del plan, del fundo o del campo de cultivo. Sirve para contestar cuestiones como ¿Cuál es la demanda de agua del proyecto?, ¿Qué proporción de agua se va a aplicar en el riego?, ¿Cuál va a ser la frecuencia entre riegos?, etcétera. La eficiencia de riego está dada por la interacción entre el volumen de agua evapotranspirada por las plantas y evaporada del suelo (ETo) más la proporción de agua elemental para conservar una concentración correcta de sales en el perfil enraizado del suelo (Lsa), menos la precipitación positiva caída (Pe), menos la ascensión capilar producida a partir de la napa freática por un lado; y, por el otro lado, al volumen de agua derivado o extraído de la fuente de suministro, que podría ser un flujo de agua, reservorio, un pozo tubular o un manantial para ser utilizado en el riego (Vex). Después, la expresión matemática va a ser:

$$Va = (ETo + Lsa - Lac - Pe) * \text{Área} \quad \text{Ec. (1.5)}$$

$$Er (\%) = \frac{Va}{Vex} * 100 \quad \text{Ec. (1.6)}$$

Donde:

Er (%): Eficiencia de riego (%).

Va: Volumen de agua necesario para el cultivo o usado por el cultivo (m<sup>3</sup>) o (mm).

Vex: Volumen de agua extraído o captado de la fuente de abastecimiento (m<sup>3</sup>)

Los componentes de la eficiencia de riego son:

- Eficiencia de almacenamiento (Es)
- Eficiencia de conducción (Ec)
- Eficiencia de distribución (Ed)
- Eficiencia de aplicación (Ea)
- Eficiencia de uso del agua del suelo (Eu)

$$Er (\%) = (Es * Ec * Ed * Ea * Eu) * 100 \quad \text{Ec. (1.7)}$$

**Tabla 1.7.** Eficiencia en el riego por gravedad (%)

Textura del suelo y topografía	Sistema de riego		
	Melgas	Surco	Melga en contorno
<b>Arenoso</b>			
Bien nivelado	40	40 - 50	40
Nivelación insuficiente	20 - 30	30	30
Quebrado o con pendiente	15 - 20	20 - 30	20
<b>Media y profundo</b>			
Bien nivelado	45 - 55	50	45
Nivelación insuficiente	35 - 45	35	35
Quebrado o con pendiente	30 - 40	30	30
<b>Media o poco profundo</b>			
Bien nivelado	60	50	45
Nivelación insuficiente	40 - 50	35	35
Quebrado o con pendiente	30	30	30
<b>Pesado</b>			
Bien nivelado	50 - 60	50 - 65	40 - 60
Nivelado insuficiente	40 - 50	45 - 55	30 - 45
Quebrado o con pendiente	20 - 40	25 - 45	20 - 30

Fuente: Vázquez *et al.*, (2017)

### 1.11. INFILTRACIÓN

Teniendo presente a Vázquez *et al.*, (2017) las propiedades de infiltración de un suelo conforman un factor principal para lograr realizar un correcto diseño del sistema de riego, y establecer, de esta forma, la era de riego apropiado. La infiltración podría ser determinada como el acceso vertical (gravitacional) del agua en el perfil del suelo. Los componentes más relevantes que están afectando la rapidez de infiltración son: propiedades físicas del suelo, carga hidrostática utilizada en la prueba, contenido de materia orgánica y carbonatos, propiedades de humedad del suelo, procedimiento de riego y funcionamiento del agua, acción microbiana en el suelo, temperatura del suelo y del agua, prácticas culturales llevadas a cabo y otros de menor importancia. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina de agua infiltrada y el tiempo en que se infiltra dicha lámina. Las unidades en que normalmente se expresan son: cm/hora, cm/minuto, mm/hora ó mm/minuto.

#### 1.11.1. Velocidad de Infiltración Instantánea (i)

Vásquez *et al.*, (2017) argumenta que también es llamada, simplemente, como velocidad de infiltración. Puede ser definida como la velocidad de entrada vertical del agua en el perfil del suelo cuando la superficie del terreno se cubre con una lámina delgada de agua. La función que describe la velocidad de infiltración en un punto cualquiera corresponde a un modelo exponencial de la forma:

$$i = a T_0^b \quad \text{Ec. (1.8)}$$

Donde:

$i$  = Velocidad de Infiltración (L.T-1), expresada en mm/hora, cm/hora u otras unidades.

$T_0$  = Tiempo de oportunidad (tiempo de contacto del agua con el suelo) expresado en minutos u horas.

$a$  = Coeficiente que representa la velocidad de infiltración para  $T_0 = 1$  min.

$b$  = exponente que varía entre 0 y -1.

### 1.11.2. Infiltración acumulada ó lámina infiltrada acumulada ( $I_{cum}$ )

Vásquez *et al.*, (2017) plantea de la siguiente manera la ecuación para infiltración acumulada.

$$I_{cum} = A * T_0^B \quad \text{Ec. (1.9)}$$

Donde:

$$A = \frac{a}{b+1} \quad \text{y} \quad B = b + 1 \quad \text{Ec. (1.10)}$$

### 1.11.3. Velocidad de infiltración básica ( $i_b$ )

Como afirma Vásquez *et al.*, (2017) es llamada también infiltración básica, es el valor instantáneo de la velocidad de infiltración la cual ocurre cuando la variación de la velocidad de infiltración ( $i$ ) con respecto a un periodo (tiempo) estándar es menor o igual que el 10% de su valor.

$$T_b = - 10 * b, \quad \text{en horas} \quad \text{Ec. (1.11)}$$

$$T_b = - 600 * b, \quad \text{en minutos} \quad \text{Ec. (1.12)}$$

$$I_b = a (-10*b)^b, \quad \text{para } T_b \text{ en horas} \quad \text{Ec. (1.13)}$$

$$I_b = a (-600*b)^b, \text{ para } T_b \text{ en minutos} \quad \text{Ec. (1.14)}$$

#### 1.11.4. Velocidad de infiltración promedio ( $i_p$ )

Vásquez *et al.*, (2017) define también infiltración promedio, es la relación entre la infiltración acumulada o lámina infiltrada acumulada ( $I_{cum}$ ), y el tiempo acumulado ( $T_o$ ).

$$I_p = \frac{I_{cum}}{T_o} = \frac{a}{b+1} T_o^B \quad \text{Ec. (1.15)}$$

### 1.12. DISEÑOS EXPERIMENTALES

#### 1.12.1. Diseño completamente al azar (DCA)

Cortés (1981) argumenta que el diseño más sencillo de cuánto se usan, cuando se está ante el problema de haber comparaciones o contrastes, donde se cuenta con más de dos promedios, cuando se dispone un terreno con uniformidad manifiesta, por ejemplo, no se obtiene ninguna ventaja, tratando de agrupar los tratamientos en unidades mayores como bloques. Igual ocurre con ensayos llevados a cabo en los laboratorios donde las condiciones son muy uniformes siempre. En caso de ensayo de animales, los pollos dan un material adecuado para conducir ensayos utilizando el diseño completamente al azar, pues al nacer de un mismo equipo de incubadoras, a veces el mismo día, etc. Representa un material muy homogéneo; luego, si se procede al sexado, la uniformidad aumenta en un grado deseable. Cuando el experimento se conduce utilizando macetas, tampoco constituye ventaja la agrupación de los tratamientos por cuanto, las macetas al realizar las evaluaciones, son cambiadas de un lugar constantemente. Igual ocurre en lugares de ambiente controlado, como los invernaderos. En resumen, es un diseño en el cual los tratamientos son “arreglados” o dispuestos teniendo en cuenta todo el material experimental, no adaptándose ningún procedimiento para confinar o “colocar” los tratamientos a una porción determinada del área, material, espacio o tiempo. Los diferentes autores coinciden en señalar las siguientes ventajas:

- Fácil de planificar y replantear.
- Permite el máximo número de grados de libertad para el error.
- Su análisis es sencillo.
- Puede utilizarse desigual número de repeticiones, sin unas complicaciones serias en el análisis.

Como desventajas principales se anota una utilidad sólo para ensayos con pequeño número de tratamientos, ya que al aumentar los aumenta considerablemente el número de grados de

libertad para el error y porque cuando los tratamientos aumentan en número. Se corre el riesgo de abarcar zonas no homogéneas o condiciones de uniformes. Resumiendo, el diseño completamente al azar es utilizable:

- Cuando el material experimental es homogéneo.
- Donde es posible la pérdida de unidades experimentales.
- Cuando el material experimental es pequeño, por eso su uso en condiciones de campo es limitado.

### **Aleatorización**

Se puede utilizar cualquier medio: los dados, las barajas o una tabla de números al azar, uno de los cuyos modelos se reproduce al final del texto.

Supongamos que se trata de un ensayo de plantas, donde se quiere evaluar el rendimiento de seis clones iniciales de papas, de los que de cada uno se tiene un número pequeño de tubérculos, veinte, por ejemplo. Surge la alternativa de establecer parcelas de cuatro o de cinco tubérculos, podremos establecer cuatro repeticiones en cada tratamiento (clon), o en su defecto, decidimos asignarle cuatro tubérculos a cada parcela, estaremos en condiciones de repetir cada tratamiento cinco veces, de lo que resulta que en el primer caso estableceremos un ensayo de seis tratamientos con cuatro repeticiones; y, en el segundo caso uno de seis tratamientos con cinco repeticiones.

Para visualizar mejor la explicación, designaremos con las letras: A, B, C, D, E y F a los clones; dichas letras son propias y constantes para cada tratamiento en el transcurso del ensayo. El primer caso de seis tratamientos con cuatro repeticiones requerirá establecer veinticuatro parcelas, que en el terreno pueden quedar distribuidos de la siguiente manera: (6\*4 = 24)

**Tabla 1.8.** Ejemplo de un diseño de completamente al azar

T1	T2	T3	T4	T5	T6
D	F	E	D	D	C
A	F	D	E	C	C
F	A	F	B	A	E
E	C	B	A	B	B

### **1.12.2. Diseño en bloque completamente al azar (DBCA)**

Cortés (1981) expresa que, desde su introducción en los diseños experimentales, este diseño se ha convertido en el más popular y el más usado, tanto en experimentación agrícola como en experimentación pecuario. El fundamento de este tipo de disposición experimental es el hecho de que en la mayoría de los casos es muy difícil encontrar un material experimental o un terreno experimental tan homogéneo, que haga posible la localización de los tratamientos completamente al azar. En este tipo de diseño, el control local está representado por el bloque, el cual está constituido por todos los tratamientos o variantes, repetido una sola vez, siendo el bloque completo una repetición, con la condición de que los tratamientos dentro del bloque sean distribuidos completamente al azar. O sea, si deseamos, por ejemplo, estudiar el comportamiento de 8 variedades de papas, el bloque estará constituido por las ocho variedades, repetidas una sola vez cada una; todo este conjunto será una repetición. Si en el planteamiento del experimento hemos decidido conformar cinco bloques, entonces estaremos en presencia de un experimento en bloques completamente al azar, con cinco repeticiones. El nombre de bloques completos al azar, vienen precisamente del hecho de que en cada bloque están todos los tratamientos (completos), y distribuidos al azar; es decir, sin seguir un orden sistemático. La formación de los bloques, pueden estar constituidos por dos etapas: la primera, que consistiría en reunir de todas las unidades experimentales parecidas, para formar un grupo homogéneo, cada grupo así formado, como ya se dijo, recibe el nombre el nombre de bloque. La segunda etapa es la localización de la unidad experimental dentro del bloque, que como se tiene dicho debe ser completamente al azar. De esto se desprende, que cada bloque debe ser lo más uniforme posible, no teniendo importancia que haya diferencia de un bloque a otro. Esto trae como consecuencia, que la exigencia que hasta hace poco se tenía, que todo el terreno o todo el material experimental sea completamente uniforme pase a segundo plano, no importando en definitiva sino la uniformidad dentro de cada bloque.

#### **Aleatorización**

En el diseño de bloque completo al azar, como se dejó entender párrafos arriba, la aleatorización; es decir, la localización de los tratamientos o variables en estudio, son asignados por sorteo, independientemente en cada bloque, vale decir, que se realiza un sorteo diferente o independiente para cada repetición. Para realizar el sorteo existen diferentes procedimientos, desde el uso de los dados o los naipes, hasta el uso de las tablas especiales, conteniendo números distribuidos al azar.

Ejemplo: Se toma como ejemplo, el estudio comparativo de rendimiento de ocho cultivos de “Unkucha” (*Xanthosoma Sagitifolium*). Los cultivares en estudio son: (1) “Oñaty”; (2) “Pika Unkucha”; (3) “Lima Unkucha”; (4) “Papa Unkucha” ; (5) “Klello Unkucha”; (6) “Waskjamanuco”; (7) “Zando” y (8) “Platillo Unkucha”. El trabajo fue realizado por Segovio Medina Daniel.

**Tabla 1.9.** Ejemplo de un diseño en bloque de completamente al azar

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
I	4	6	7	5	2	3	1	8
II	8	2	4	1	7	6	5	3
III	3	5	6	8	2	4	7	1
IV	7	8	2	1	6	5	3	4
V	2	1	3	7	5	4	8	6

Esta tabla muestra un diseño en bloques completamente al azar que comprende de cinco bloques, ocho tratamientos cada una con cinco repeticiones.

Todo el tiempo que se viene usando este diseño, ha mostrado ser más preciso que el diseño completamente randomizado, en la mayoría de los tipos de trabajos experimentales.

## CAPÍTULO II METODOLOGÍA

### 2.1. UBICACIÓN DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación se efectuó en la zona alto andina de la Comunidad de Allpachaca del departamento de Ayacucho en los campos del fundo experimental Allpachaca de la Universidad Nacional de San Cristóbal Huamanga.

✓ **Ubicación política**

Región	: Ayacucho.
Provincia	: Huamanga.
Distrito	: Chiara.
Localidad	: Allpachaca.

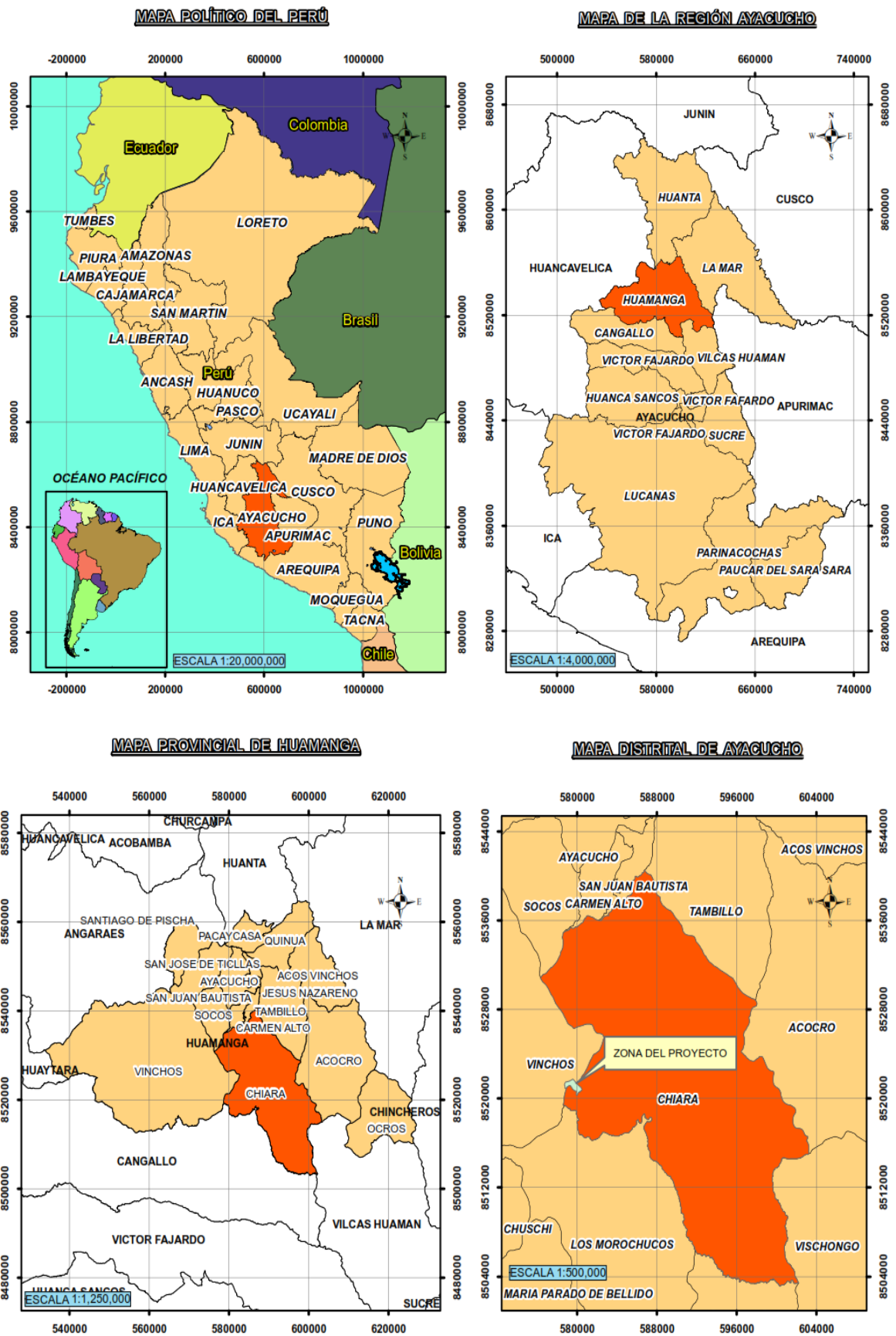
✓ **Ubicación geográfica.**

Latitud Sur	: 13°15'12"S
Longitud Oeste	: 74°12'16"O
Altitud media	: 3550 m. s. n. m.

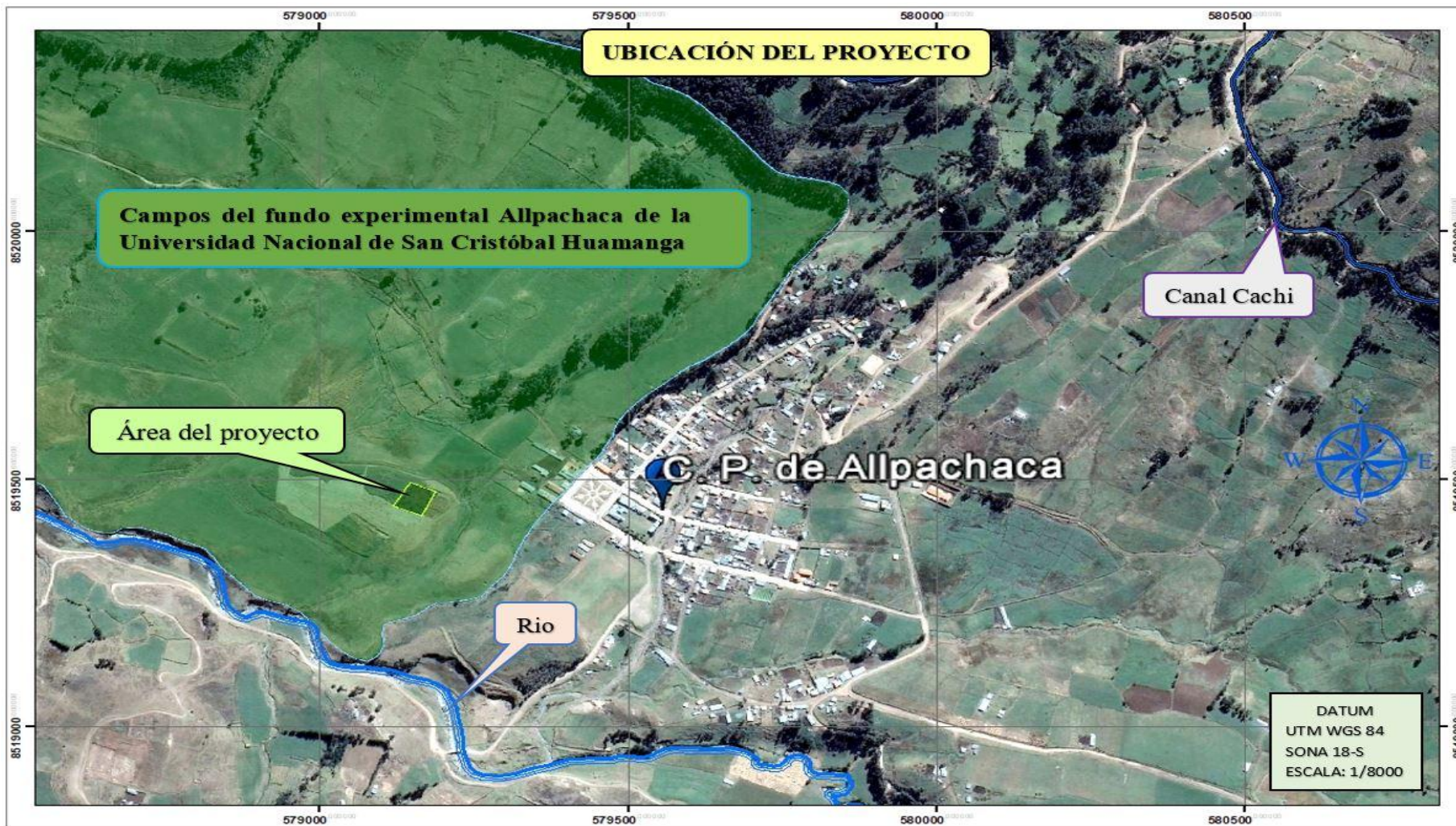
✓ **Coordenadas UTM**

Este	: 586185
Norte	: 8534711
Altura	: 3550 m. s. n. m.
Datum	: WGS 84
Zona	: 18-S

✓ **Zona de vida:** pertenece a la región natural de la sierra



**Figura 2.1.** Localización Departamental, Provincial y Distrital del Proyecto  
Fuente: <http://www.geogpsperu.com/2014/03/base-de-datos-peru-shapefile-shp-minam.html>



**Figura 2.2.** Ubicación geográfica de área destinada a las parcelas experimentales en campos del fundo de UNSCH -Centro Poblado de Alpachaca  
Fuente: Google Earth Pro - 2020

## **2.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS**

Según el registro de la estación meteorológica de Allpachaca, tenemos los siguientes parámetros:

### **a) Precipitación**

De acuerdo a los registros de la estación meteorológica instalado en la Comunidad de Allpachaca del departamento de Ayacucho en los campos del fundo de la Universidad Nacional de San Cristóbal Huamanga; Las precipitaciones promedias mensuales de mayores laminas son los meses de diciembre a marzo y el resto de los meses constituyen épocas secas con bajas precipitaciones y ocasionales. Durante el tiempo de ejecución de proyecto (mayo hasta diciembre del 2019) se reportó una precipitación máxima de 202,10 mm, en el mes de diciembre y una mínima de 0,00 mm en el mes de agosto. Ver anexo F (**Tabla F.1**), asimismo presenta 820 mm por año, según los registros de la estación meteorológica del Centro Poblado de Allpacha.

### **b) Temperatura mínima**

De acuerdo a la estación meteorológica de Allpachaca, presenta una temperatura mínima mensual máxima de 1,32 °C en el mes de marzo y una mínima media mensual es de -5,16 °C en el mes de julio registrado durante los últimos 25 años. Ver anexo (**Tabla F.2**).

### **c) Temperatura máxima**

Así mismo de la estación meteorológica de Allpachaca, presenta una temperatura máxima mensual es de 23,5 °C y una mínima mensual es de -5,10 °C registrado durante los últimos 25 años. Ver anexo (**Tabla F.3**).

### **d) Temperatura media**

De acuerdo a la estación meteorológica de Allpachaca, presenta una temperatura media mensual máxima de 10,5 °C y una mínima media mensual de 15,10 °C registrado durante los últimos 25 años. Ver anexo (**Tabla F.4**).

### **e) Humedad Relativa**

La humedad relativa de la zona experimenta variaciones a lo largo del año (entre 65,30 % y 81,13 %), siendo la humedad relativa promedio 72,50 %. Ver anexo F (**Tabla F.5**).

### **f) Horas del sol**

Las horas del sol son muy variables durante todo el año con un cielo despejado en algunos meses y en otros meses con nubosidad alta. La insolación máxima por día llega hasta 8,6 horas y la mínima de 4,8 horas. Ver anexo F (**Tabla F.6**).

## **2.3. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO**

### **2.3.1. Análisis físico del suelo**

En el área donde se condujo el proyecto, presenta una profundidad de 35 a 60 cm. de capa arable, al cual continua una capa dura que es considerado como roca semidura, con una pendiente superficial de 2 a 3 %.

Las características físicas, químicas y hídricas de un suelo son muy importante para saber el grado de fertilidad en que se encuentra dicha área del proyecto: para ello se ha tomado una referencia de la muestra realizadas por el proyecto: “Sistema de pastoreo en vacunos criollos y de doble propósito como alternativa para la preservación de ecosistema de pastizales en el distrito de Chiara” las muestras de suelo fueron extraídas en campos del fundo de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga en sector Allpachaca. El cual se analizó en laboratorio “GEOSIG INGENIEROS E.I.R.L.” obteniendo los siguientes resultados como se indica en la **Tabla 2.1**, estos resultados se pueden ver en anexo G (**Figura G.1, Figura G.2, Figura G.3 y Figura G.4**).

Según los resultados de análisis de suelo se puede definir que son suelos de textura orgánica, porque presenta la materia orgánica alto mayores de 10 % y presenta una mínima cantidad de porcentaje de arena, limo y arcilla. Estos suelos son definidos como suelos turbosos o también llamados suelos de puna. Esta muestra se extrajo de un área representativa de la comunidad de Allpachaca por el equipo técnico del proyecto: “Sistema de pastoreo en vacunos criollos y de doble propósito como alternativa para la

preservación de ecosistema de pastizales en el distrito de Chiara” dentro de ello se encuentra la presente investigación.

**Tabla 2.1.** Características físico químico de suelo

<b>Características</b>	<b>Resultados</b>	<b>Interpretación</b>
<b>Análisis de suelo: Coeficiente hídrico</b>		
Arena (%)	Orgánico	
Limo (%)	Orgánico	
Arcilla (%)	Orgánico	
Textura	Orgánico	
Capacidad de campo (%)	30,00	
Punto de marchitez (%)	16,42	
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,99	
<b>Caracterización de suelo</b>		
pH	5,72	Ácido
C.E (ds/m)	0,65	Suelo no salino
CaCO <sub>3</sub> (%)	0,00	-
M.O (%)	13,13	Alto
Nt (%)	0,64	-
P (ppm)	29,58	Contenido muy alto
K (ppm)	269	Contenido muy alto
CIC (Cmol(+)/kg)	25,5	-
Ca <sup>+2</sup> (Cmol(+)/kg)	8,41	Alto
Mg <sup>+2</sup> (Cmol(+)/kg)	1,84	Alto
K <sup>+</sup> (Cmol(+)/kg)	0,96	Alto
Na <sup>+</sup> (Cmol(+)/kg)	0,19	Normal
Al <sup>+3</sup> (Cmol(+)/kg)	0,00	-
H <sup>+</sup> (Cmol(+)/kg)	0,00	-
% Sat. de bases	45	-
<b>Análisis de suelo: Micro elementos</b>		
Fe(ppm)	216,00	-
Cu(ppm)	1,00	-
Zn(ppm)	1,20	-
Mn(ppm)	6,20	-

**Fuente:** Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes GeoSIG INGENIEROS – 2019

## **2.4. MATERIALES Y EQUIPOS**

### **Cerco perimétrico**

- ✓ Rollizos
- ✓ Alambre galvanizado
- ✓ Varilla de tensor
- ✓ Aislador de poste
- ✓ Aislador extremo a extremo
- ✓ Grapas para rollizos

### **Delimitación de las unidades experimentales**

- ✓ 72 estacas
- ✓ 2 kg de yeso
- ✓ wincha de 5 m
- ✓ cinta métrica de 50 m

### **Armado de lisímetros**

- ✓ Tacho de 60 L
- ✓ Baldes de 20 y 16 L
- ✓ Manguera de 22 mm polietileno
- ✓ Manguera de nivel
- ✓ Acopladores (conector inicial)
- ✓ Codo dentado (20 mm \* 90°)
- ✓ Caño
- ✓ Pegamento instantáneo
- ✓ Fierro de ½"

### **Insumos**

- ✓ Pastos naturales alto andinas:
  - Planta de *Festuca dolichophylla*
  - Planta de *Festuca rigescens*
  - Planta de *Muhlenbergia ligularis*
  - Planta de *Trifolium amabile*
  - Planta de *Poa perligulata*

- ✓ Cultivo de referencia:  
Semilla de *Dactylis glomerata*
- ✓ Agua de riego
- ✓ Piedras medianas
- ✓ Arena y tierra

### **Sistema de riego**

- ✓ Manguera de 1”

### **Equipos**

- ✓ Computadora con Software Word, Excel, R, RStudio y AutoCAD civil 3D
- ✓ GPS Garmin
- ✓ 01 cámara fotográfica
- ✓ 01 balanza gramera digital, capacidad 1gr a 300 g
- ✓ 01 probeta de 2 L.

### **Herramientas**

- ✓ Nivel de mano
- ✓ Sierra y hoja metálica
- ✓ Martillo
- ✓ Pico
- ✓ Pala
- ✓ Barreta
- ✓ Rastrillo
- ✓ Carretilla

## **2.5. DISEÑO EXPERIMENTAL**

En el presente experimento se utilizó el diseño en bloques completamente al azar; considerándose 03 bloques con 05 tratamientos de especies de pastos naturales alto andinas (*Festuca dolichophylla*, *Festuca rigescens*, *Muhlenbergia ligularis*, *Trifolium amabile* y *Poa perligulata*) cada tratamiento con 03 repeticiones y un diseño completamente al azar para el tratamiento seis con cultivo de referencia (*Dactylis*

*glomerata*) con 03 repeticiones; como se muestra el plano de croquis de unidad experimental (Ver **Figura 2.3.**).

### **2.5.1. Características de la parcela experimental**

A continuación, se detallan las dimensiones del campo experimental.

(Ver **Figura 2.3.**).

a) De las cinco especies de pastos naturales alto andinas estudiadas:

Bloques.

- Número de bloques (und) : 03
- Ancho de bloques (m) : 3,0
- Largo de bloques (m) : 14
- Área del bloque (m<sup>2</sup>) : 42
- Ancho de las calles (m) : 1,0

Parcelas:

- Número de parcelas por bloque : 05
- Distancia entre parcelas (m) : 1,0
- Ancho de parcela (m) : 2,0
- Largo de parcela (m) : 3,0
- Área de la parcela (m<sup>2</sup>) : 6,0

b) Del cultivo de referencia

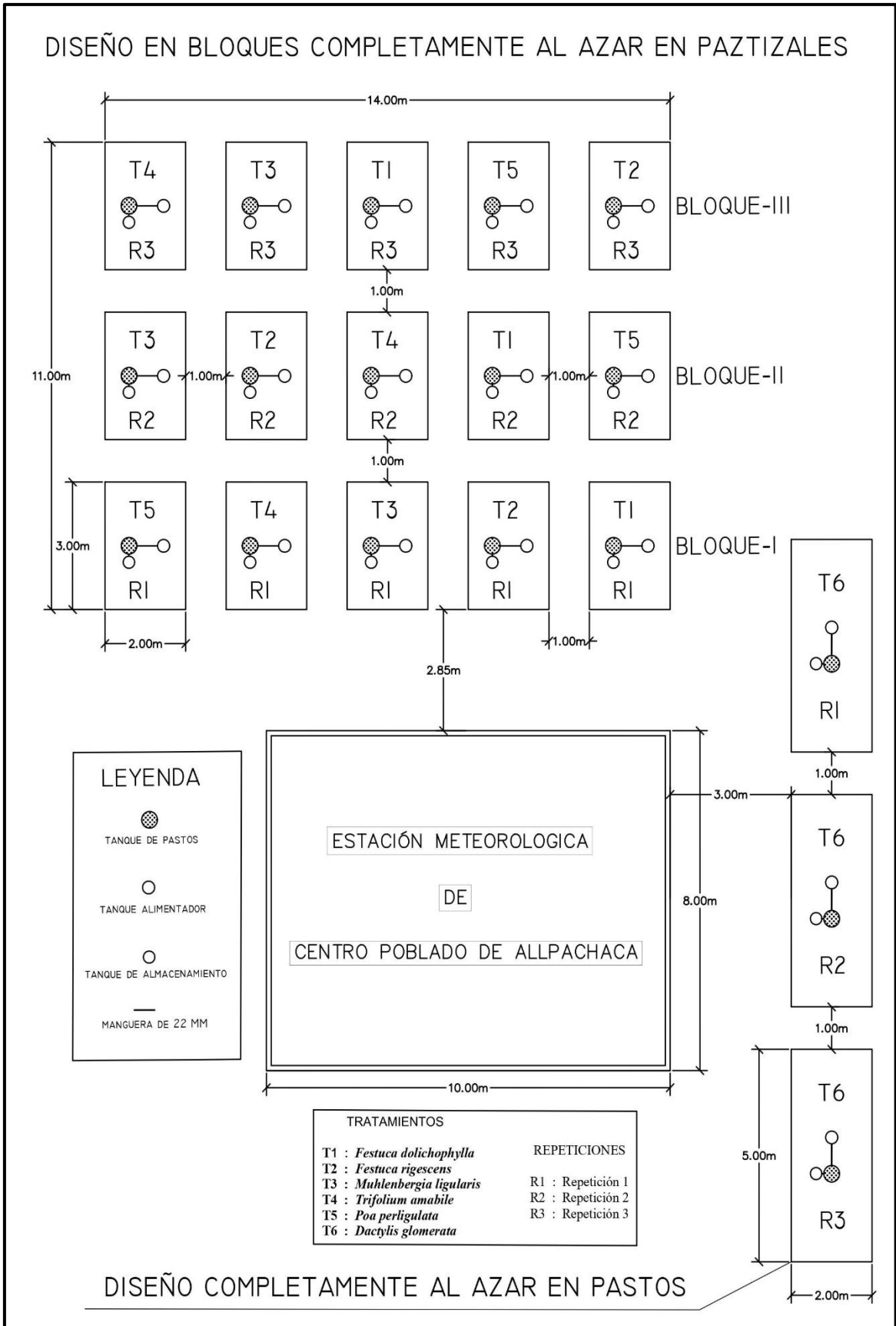
- Número de parcela : 3,0
- Ancho de parcela (m) : 2,0
- Largo de parcela (m) : 3,0
- Área de la parcela (m<sup>2</sup>) : 6,0

c) Área efectiva del experimento : 108 m<sup>2</sup>

d) Área total del experimento : 154 m<sup>2</sup>

e) Área cercado con alambre : 2,003.00 m<sup>2</sup>

h) perímetro cercado con alambre : 201ml



**Figura 2.3.** Croquis de la unidad experimental con la distribución de las especies estudiadas

## **2.5.2. Instalación y conducción de estudio**

### **1. Programación del trabajo experimental**

Antes de la ejecución del presente trabajo de investigación, se hizo un estudio preliminar para definir principalmente los siguientes: seleccionar las especies de pastos naturales alto andinas a estudiar, elegir el lugar apropiado donde se pueda contar con suficiente información meteorológica, la metodología y lo más importante la aportación del proyecto.

### **2. Prueba de lisímetros de nivel freático**

Ya definida la metodología de la investigación, se realizó una prueba de lisimetría con dos lisímetros de nivel freático, fabricado. Para esta prueba se sembró cebada en los dos lisímetros. Realizando una evaluación del requerimiento hídrico por el principio de lisimetría durante 30 días.



**Figura 2.4.** Prueba de lisimetría

### **3. Reconocimiento de la parcela experimental**

Se realizó un viaje a la comunidad de Allpachaca, con el propósito de reconocer el área del proyecto. Al llegar a este campo experimental se ubicó en los campos del fundo de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Para proceder con las siguientes actividades.

### **4. Adquisición y traslado de materiales y herramientas**

Los materiales y herramientas para la presente investigación han sido financiados por la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, a través del Fondo de Desarrollo

Socioeconómico de Camisea (FOCAM). Ya teniendo todos los materiales, posteriormente fueron trasladados a la comunidad de Allpachaca.



**Figura 2.5.** Traslado de materiales y herramientas al Centro Poblado de Allpachaca

### **5. Estación Meteorológica de Allpachaca.**

Está ubicado a 3m de distancia de la parcela experimental, en la cual se encuentra todo el equipo de la estación meteorológica, con la finalidad de registrar la evaporación, precipitación, velocidad del viento, temperatura, radiación solar, y porcentaje de humedad. De ello se tomaron los datos respectivos para los cálculos de requerimiento hídrico de los pastizales.



**Figura 2.6.** Estación meteorológica de Allpachaca

## 6. Muestreo de suelo

El muestreo para análisis físico químico lo realizaron los encargados del proyecto: “Sistema de pastoreo en vacunos criollos y de doble propósito como alternativa para la preservación de ecosistema de pastizales en el distrito de Chiara”



Figura 2.7. Calicata del zona 12 - Allpachaca

## 7. Prueba de infiltración

Esta prueba se realizó en dos puntos como se muestra en la **Figura 2.8** y Anexo J; **Figura I.3.** con la finalidad de saber la velocidad de infiltración.



Figura 2.8. Prueba de infiltración N° 01 realizada en campo

## 8. Limpieza y nivelación del terreno

Una vez delimitado el área de trabajo se procedió con la limpieza, desbroce y nivelación correspondiente de la parcela experimental antes de su instalación de los lisímetros de nivel freático.

## 9. Instalación de cerco perímetro con alambre galvanizado

Esta actividad se ejecutó antes de la instalación de los lisímetros de nivel freático. Con el propósito de evitar el ingreso de los ganados que son pastoreados por esta zona. Se llegó a cercar un área de 2,503.00 m<sup>2</sup> y un perímetro de 201 ml, utilizando rollizos de eucalipto, alambre galvanizado y grapas. Se puede percibir en la **Figura 2.9**.



**Figura 2.9.** Instalación de cerco perimétrico

## 10. Trazo y replanteo

Se procedió a elaborar el trazo y el replanteo haciendo el uso de las estacas y el cordel, según el croquis de la unidad experimental con la distribución de los cinco tratamientos, considerando un distanciamiento de calles de 1 m y un área de 6 m<sup>2</sup> de cada parcela por cada tratamiento de los pastos naturales alto andinas. Ver **Figura 2.10**.



**Figura 2.10.** Trazo y replanteo del área de trabajo

## 11. Fabricación e instalación de los lisímetros

La experimentación se llevó a cabo en 18 lisímetros de nivel freático constante, a continuación, se detalla el diseño (Ver **Figura 2.11** y **Anexo K**: plano de lisímetro).

- Tanque alimentador de plástico transparente (balde de 20 L); Este tanque es el encargado de suministrar el agua al tanque de pastos y lleva anexado una cinta métrica graduada en milímetros (mm) que constituye el sistema de control.
- Tanque de pastos (tacho de 20 L); cuyas medidas son de 0,43 m de diámetro y 0,65 m de altura, dispositivo en el cual se sembró el pasto de referencia y también se hizo el trasplante de las cinco especies de pastos naturales alto andinas.
- Tanque de almacenamiento (balde de 16 L); recipiente para almacenar, controlar y registrar el drenaje de agua de tanque de pasto.
- Trípode de acero; Este trabajo consistió en armar un trípode de acero de ½” que tiene una altura de 0,80 m y que está empotrada al suelo con una mezcla de concreto simple. Esto se realizó con la finalidad de sostener el tanque alimentador.
- Colocación de manguera de 22 mm para el drenaje; Se unió una manguera 1,5 ml desde la base del tanque alimentar hasta la base del tanque de pastos para conducir el drenaje de agua constante en gotas. así mismo se colocó manguera del tanque de pasto al tanque de almacenamiento con la finalidad de registrar y evaluar.
- Llave de paso; este accesorio se encuentra entre el tanque alimentador y tanque de pastos que sirven para graduar y cerrar el caudal de entrada.
- Caño; este accesorio se ubicó en la parte inferior del tanque de pastos a una altura de 0,20 m, por esta cañería drena el agua.



**Figura 2.11.** Conexión de accesorios con tanque de alimentador y pasto



**Figura 2.12.** Lisímetro de nivel freático constante y sus componentes

### **12. Primera prueba hidráulica**

Antes de realizar el trabajo de llenado de piedra mediana, arena y tierra al tanque de pastos, se realizó la prueba hidráulica para verificar el buen funcionamiento de todos los componentes del sistema lisimétrico y que no presente ninguna fuga de agua en las uniones de llave, caño y otros.

### **13. Llenado de piedras medianas, arena y tierra al lisímetro de nivel freático**

Esta actividad se realizó después de instalar y pasar la primera prueba hidráulica. Se colaron piedras medianas hasta una altura de 0,20 m, arena de 0,05 m y finalmente tierra de 0,38 m. así dejando un borde libre de 0,02 m del tanque de pasto.



**Figura 2.13.** Llenado de piedras medianas al tanque de pastos



**Figura 2.14.** Llenado de tierra al tanque de pastos

#### **14. Segunda prueba hidráulica**

Después de realizar el trabajo de llenado de piedra mediana, arena y tierra al tanque de pastos, se realizó la prueba hidráulica para verificar el buen funcionamiento de todos los componentes del sistema lisimétrico y que haya un drenaje constante al tanque de almacenamiento.



**Figura 2.15.** Drenaje de agua del tanque alimentador hasta el tanque de almacenamiento

### **15. Riego a capacidad de campo**

Dos días antes de realizar la siembra de pasto de referencia y el trasplante de los pastizales se realizó un riego pesado a los lisímetros hasta obtener un suelo saturado y de esta manera después de 48 horas conseguir un suelo a capacidad de campo.

### **16. Siembra de pasto de referencia**

Se sembró el pasto cultivable que es el tratamiento seis (*Dactylis glomerata*) el 18 de febrero del 2019. Se dejó crecer los meses de febrero y marzo para luego realizar la primera poda el 01 de abril del 2019, para luego evaluar la evapotranspiración de referencia del 01/05/2019 hasta 01/01/2020. Este tratamiento se mantuvo a una altura constante de 12 cm desde el primer corte hasta finalizar con la investigación; a diferencia de los otros tratamientos no se pudo observar las etapas fenológicas para este tratamiento.

### **17. Trasplante de pastos naturales alto andinas**

Las cinco especies alto andinas (*Festuca dolichophylla*, *Festuca rigescens*, *Muhlenbergia ligularis*, *Trifolium amabile* y *Poa perligulata*), se realizó el trasplante el 04 de febrero del 2019. Las muestras de pastizales se extrajeron de las alturas de Toccto y de zonas cercanas del lugar del proyecto. Los cinco tratamientos en su estado fenológico de inicio y final de panoja a la vez en etapa de reproducción de los pastizales.



**Figura 2.16.** Recojo de muestras de pastizales de las alturas de Toccto

### **18. Adaptación de los pastizales**

Los pastizales se dejaron adaptar en los tanques durante los meses de febrero, marzo y abril para luego podar el 1 mayo del 2019 (primer corte) y así continuar con la evaluación

de evapotranspiración de cultivo. Mientras al pasto de referencia se dejó crecer hasta los finales del mes de marzo para luego podar y evaluar la evapotranspiración de referencia del mes abril hasta finales de diciembre del 2019, manteniendo una altura constante de 12 cm.



**Figura 2.17.** Pastizales en adaptación en los meses de lluvia

### **19. Poda de pastizales y pasto cultivada**

Esta actividad se realizó el 01 de mayo del 2019 para luego continuar con la evaluación de evapotranspiración. Los T1, T2 y T5 se hizo el corte en sus estados fenológicos grano lechoso y granos pastosos; mientras T3 y T4 en estado de llenado de granos. Las cinco especies de pastos naturales alto andina en su etapa de maduración.



**Figura 2.18.** Poda de pastizales después de su adaptación

## **20. Registro de datos y aplicaciones de agua**

Los registros se realizaron a cada 3, 4, 5, 6, 7 y 8 días, durante todo el periodo vegetativo de los pastos y pastizales en estudio. Se registraron y evaluaron el flujo de entrada y salida de agua del sistema lisimétrico. La entrada representa el riego localizado más el aporte de la precipitación y la salida es el agua drenada o el agua no aprovechada por la planta que son registrados en el tanque de almacenamiento, utilizando una probeta graduada de 2 L en la cual se registran volúmenes conocidos tanto de la entrada y salida. Luego de tomar los datos se procedió a llenar agua al tanque alimentador hasta el punto cero.



**Figura 2.19.** Registro y evaluación del drenaje de agua al tanque del almacenamiento



**Figura 2.20.** Llenado de agua al tanque alimentador

## **21. Deshierbo**

Esta actividad se realizó en todas las etapas fenológicas de los pastos y pastizales, con la finalidad de que no influya en el balance de evapotranspiración del cultivo.



**Figura 2.21.** Deshierbo de los pastos

## **22. Poda final (segundo corte) a los síes tratamientos**

La segunda poda se realizó a los 245 días después del primer corte a los cinco primeros tratamientos y a los 275 se cortó el tratamiento 6. Para determinar el peso de forraje verde y peso seco como se muestra en la **Figura 2.22**, **Figura 2.23**, **Figura 2.24**, **Figura 2.25**, **Figura 2.26** y **Figura 2.27**.



**Figura 2.22.** Forraje verde del tratamiento 1 del bloque II



**Figura 2.23.** Recajo de forraje verde del tratamiento 2 del bloque I



**Figura 2.24.**Recojo de forraje verde del tratamiento 6 de pasto de referencia



**Figura 2.25.** Muestra de los 18 tratamientos



**Figura 2.26.** Peso de forraje verde de las especies estudiadas



**Figura 2.27.** Secado a estufa para su peso seco de los pastos

Los resultados de materia verde y materia seca se presentan en **Anexo I (Tabla I.1 y Tabla I.2)** con sus respectivos resultados de cada tratamiento y también en **Anexo H (Tabla H.1)** se adjunta un resumen detallado de todas las actividades realizadas durante la ejecución del proyecto, incluidos las etapas y estados fenológicos de los pastos naturales alto andinos.

## 2.6. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

### 2.6.1. Determinación de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)

Se realizó la evaluación y registro de la entrada y salida de agua de los lisímetros de nivel freático constante, sembrado pasto cultivable (*Dactylis glomerata*), la que representa la tasa de evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) evaluados durante los 09 meses (abril a diciembre del 2019). Con los datos registrados en litros y transformados en milímetros de lámina de agua se calculó la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>).

Para determinar la evapotranspiración de referencia experimental y la evapotranspiración de cultivo experimental se utilizó la siguiente ecuación:

$$ET_o = PP + R - D \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde:

- ET<sub>o</sub> : Evapotranspiración de referencia (mm/mes)
- PP : Precipitación efectiva (mm)
- R : Riego localizado (mm)
- D : Percolación profunda o drenaje de agua (mm)

El parámetro precipitación (PP) en mm, es proporcionado por registros diarios de la estación meteorológica de Allpachaca, durante el ciclo vegetativo del cultivo.

El parámetro de riego (R), la cantidad de agua aplicada al tanque de pastos es constante para garantizar que exista drenaje en los lisímetros de nivel freático.

Los registros de drenaje (D), se obtuvieron recolectando el agua que escurre a través de la parte inferior del lisímetro de nivel freático y que se almacena en el tanque almacenamiento., cuyo volumen dividido para el área del lisímetro, genera la lámina drenada (mm/día).

$$1 \text{ mm} = 1 \text{ L.m}^{-2} = 10 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1} \quad \text{Ec (2.2)}$$

### 2.6.2. Determinación de la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>)

Luego de instalar los lisímetros del nivel freático, se realizó el trasplante de los pastos naturales alto andinas. Posteriormente cada 3, 4, 5, 6, 7 y 8 días se midió el agua drenada y se repone el mismo volumen hasta llegar al punto cero. La determinación de evapotranspiración de cultivo se llegó a determinar con ecuación 2.3. Similar al procedimiento de la evapotranspiración de referencia.

### **2.6.3. Calculando el coeficiente de cultivo (Kc)**

Vásquez (1994) manifiesta que el coeficiente de evapotranspiración del cultivo (Kc) expresa la relación entre el uso consuntivo del cultivo (ETc) y la Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo), evaluados experimentalmente bajo idénticas condiciones climáticas y edáficas del lugar del experimento.

Con la información de la ETc del cultivo encontrada en el segundo objetivo anterior y con los valores de evapotranspiración de referencia (ETo) calculados en el primer objetivo se procedió a calcular los valores de coeficiente de cultivo (Kc) para los datos obtenidos, con la siguiente fórmula:

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde:

Kc = Coeficiente de cultivo (experimental)

ETc = Evapotranspiración del cultivo, mm.día<sup>-1</sup>

ETo = Evapotranspiración del cultivo de referencia, mm.día<sup>-1</sup>

Luego se procedió a calcular el coeficiente del cultivo (experimental) para cada especie (*Festuca dolichophylla*, *Festuca rigescens*, *Muhlenbergia ligularis*, *Trifolium amabile* y *Poa perligulata*), durante los meses de mayo hasta diciembre del 2019. Considerando el consumo de agua de los pastizales del mismo mes que de cultivo de referencia (*Dactylis glomerata*).

#### **c.1. Determinación de la etapa crítica del agua**

Luego de realizar el balance hídrico y haber cuantificado las necesidades de agua de los pastizales en mm.mes<sup>-1</sup> y mm.día<sup>-1</sup>, se consideraron los valores más altos mensuales para

cada cultivo y que estos demuestren la etapa o periodo que la planta reporta un consumo de agua máximo durante todo el periodo vegetativo, reflejando la etapa crítica de consumo de agua de las especies estudiados.

#### 2.6.4. Programación de riego para las cinco especies de pastos naturales alto andinas

Determinación de programación de riego de los pastizales estudiados. Con los resultados obtenidos de la demanda de agua (mm/mes) y la precipitación efectiva mensual correspondiente, durante el periodo vegetativo de cada especie (*Festuca dolichophylla*, *Festuca rigescens*, *Muhlenbergia ligularis*, *Trifolium amabile* y *Poa perligulata*) se realizó el cálculo de la dosis de agua, con lo que respecta a la programación de riego y se determinó la necesidad de riego bruta y neta, lámina de agua, lámina de agua neta, frecuencia de riego y tiempo de riego cuyos resultados se reportan en el capítulo resultados y discusiones.

- **Determinación de la precipitación efectiva (PE)**

Vásquez (1994) indica que la precipitación efectiva es el volumen de lluvia parcial que es utilizado por las plantas para satisfacer sus necesidades hídricas para su normal desarrollo. Para el cálculo de la precipitación efectiva, se emplea el método de Wáter Power Resources Services (WPRS – USA), que considera la precipitación efectiva de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 2.2.** Distribución de la Precipitación Efectiva.

Incremento de la precipitación (mm)	% de la precipitación efectiva
5	0
30	95
55	90
80	82
105	65
130	45
155	25
>155	5

Considerando que la precipitación es una variable aleatoria, conviene analizar la lluvia total, con el objeto de determinar el valor probable que cae. Para determinar la frecuencia o probabilidad de ocurrencia de la precipitación media mensual, se utilizó la fórmula de Weibull, cuya ecuación matemática es:

$$f = \frac{m}{N + 1} * 100 \quad \text{Ec. (2.4)}$$

Donde:

f: Frecuencia o probabilidad de ocurrencia.

m: Valor de posición de la lluvia ordenada en forma creciente.

N: Número total de valores de precipitación mensual (mm).

La probabilidad de ocurrencia de la lluvia que se adopta, dependerá del valor económico del cultivo, considerándose por lo general un valor del 75 % de probabilidad de ocurrencia como el más adecuado.

- **Lámina neta de agua**

Como señala Olarte (2003), es la cantidad de agua aplicada a un suelo en cada riego. Por tanto, su unidad de medida se expresa en mm de altura de agua aplicada. La lámina neta de agua aplicada a un suelo, depende de los factores básicos: la capacidad retentiva de humedad del suelo y la profundidad de riego. Su determinación es haciendo uso de la siguiente fórmula.

$$L_n = \frac{(CC \% - PM \%)}{100} * D_a * P_R \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Donde:

$L_n$  : Lámina neta de agua (mm).

$C_c$  : Capacidad de campo (% de Pss).

$P_M$  : Punto de marchitez permanente (% de Pss).

$D_a$  : Densidad aparente (gr/cm<sup>3</sup>).

$P_R$  : Profundidad de raíces (mm).

- **Lámina bruta de riego (Lb)**

Olarte (2003) manifiesta que cuando se aplica un riego a la parcela, se trata de que produzca la menor cantidad de pérdidas posibles, aunque en la práctica no existe un riego totalmente eficiente. Indudablemente la eficiencia depende de la habilidad, destreza y experiencia del agricultor cuando nos referimos al riego por gravedad, pero cuando aplicamos riego por aspersión depende más del clima y de la tecnología de riego propuesto.

$$Lb = \frac{Ln}{Er} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Donde:

Lb : Lámina bruta (mm).

Ln : Lámina neta (mm).

Er : Eficiencia de riego (%).

- **Frecuencia de riego (Fr)**

Como plantea Olarte (2003), la frecuencia de riego, es el tiempo transcurrido entre dos riegos sucesivos, se mide por la relación entre la lámina neta en (mm) y la evapotranspiración real de cultivo o consumo diario (mm/día).

$$Fr = \frac{Ln}{ETc} \quad \text{Ec. (2.7)}$$

Donde:

FR : Frecuencia o intervalo de riego (días).

Ln : Lámina neta (mm).

ETc : Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

- **Tiempo de riego (Tr)**

Olarte (2003) da a conocer que es el tiempo necesario para que la lámina de agua que corresponde exactamente al descenso de humedad existente, se infiltre en el terreno.

$$Tr = \frac{Lr}{P_p} \quad \text{Ec. (2.8)}$$

Donde:

Tr : Tiempo de riego (Hrs).

Lr : Lámina real o lámina de riego (mm).

Ib : Velocidad de infiltración básica (mm/hr).

## **2.7. IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES**

### **2.7.1. Variables independientes**

- Precipitación.
- Radiación solar.
- Temperatura.

### **2.7.2. Variables dependientes**

- Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)
- Evapotranspiración de cultivo (ET<sub>c</sub>)
- Coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>)

### **2.7.3. Variable interviniente**

- Clima.

**Tabla 2.3.** Definición operativa de variables e indicadores.

<b>Variables independientes</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Indicador</b>	<b>Categoría o escala</b>	<b>Criterio de medición de las categorías</b>
Precipitación	Historial ciclo de cultivo	mm	mm/día	Estación Allpachaca
Radiación solar	Historial ciclo de cultivo	Hr	Hr/día	Estación Allpachaca
Temperatura	Historial ciclo de cultivo	°C	°C	Estación Allpachaca
<b>Variables dependientes</b>				
ETo	$ETo = 0.0075 * RSM * TF * CE$ y $ETo = CE * TF * CH * MF$	mm/día	ETo Mayo ETo Junio ETo Julio ETo Agosto ETo Setiembre ETo Octubre ETo Noviembre ETo Diciembre ETc Mayo ETc Junio ETc Julio ETc Agosto ETc Setiembre ETc Octubre ETc Noviembre ETc Diciembre Kc Mayo Kc Junio Kc Julio Kc Agosto Kc Setiembre Kc Octubre Kc Noviembre Kc Diciembre	Altura constante de pasto cultivado  Estado fenológico de los Pastizales.  Estado fenológico de los Pastizales.
ETc	Medición de Lisímetro	mm/día		
Kc	$Kc = ETc / ETo$	Coficiente		

**Tabla 2.4.** Operacionalización de la metodología.

---

<b>Metodología</b>	
<b>Tipo de investigación:</b>	Básica.
<b>Diseño:</b>	Experimental (DCA y DBCA)
<b>Población:</b>	Campos del fundo experimental Allpachaca de la Universidad Nacional de San Cristóbal Huamanga.
<b>Muestra:</b>	Cinco especies de pastos naturales alto andinas y una muestra de pasto cultivable.
<b>Instrumentos:</b>	Equipos del lisímetro de nivel freático y Estación meteorológica de Allpachaca.

---

## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET<sub>o</sub>)**

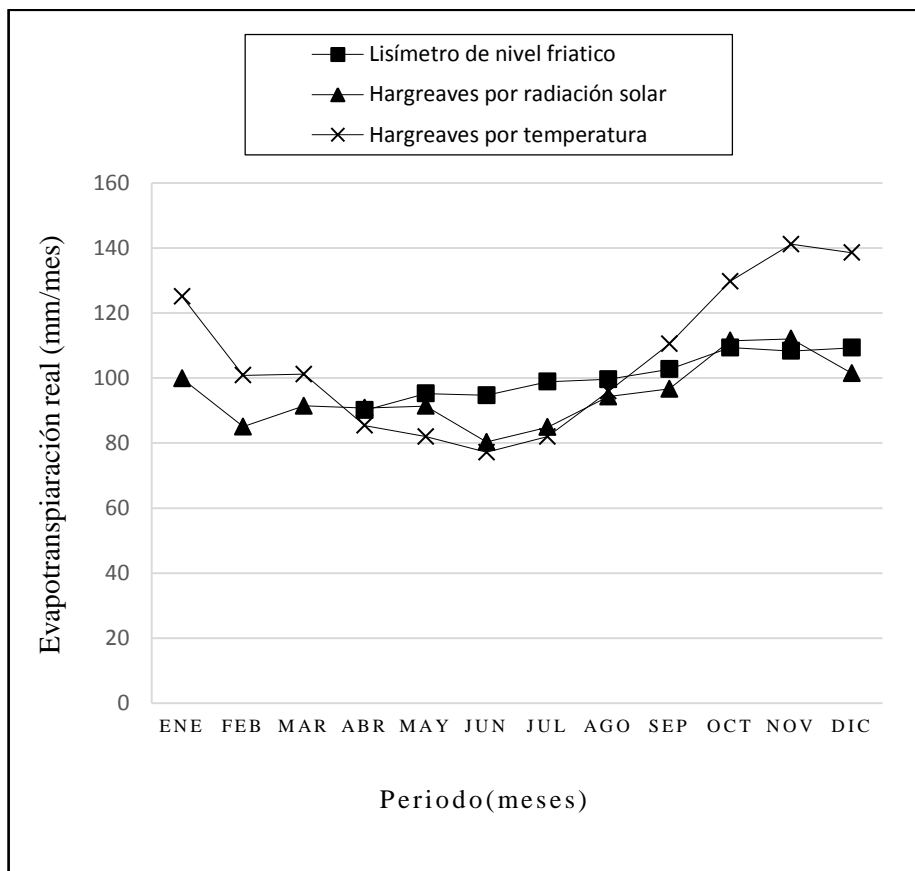
En la **Tabla 3.1** Se observa un resumen de los resultados comparativos de la determinación de la ET<sub>o</sub> por método directo (lisímetro de nivel freático) con datos obtenidos en campo y dos métodos empíricos de Hargreaves, cada una estimados a base de datos meteorológicos de la estación meteorológica del Centro Poblado Allpachaca. Los datos meteorológicos se muestran en el anexo F de la **Tabla F.1** hasta la **Tabla F.6**.

La evapotranspiración de referencia mínima es 90.12 mm.mes<sup>-1</sup> y máximos de 109.37 mm.mes<sup>-1</sup> calculada por el método directo de lisímetro de nivel freático. Los resultados de evapotranspiración referencia por métodos indirectos (ver **Tabla 3.2** y **Tabla 3.3**) recomendado por FAO - 56 son inferiores los cinco primeros meses a los resultados por el método directo. Estas diferencias son por estar insitu con los factores ambientales del lugar de investigación (ver **Figura 3.1**).

Doorenbos y Pruitt, (1976) menciona que los valores reportados empleando las fórmulas empíricas de Penman y Hargreaves, se aproximan a los valores experimentales (método lisímetro) y se adecuan más a nuestras condiciones; por que el de Penman - Monteith utiliza mayor número de datos meteorológicos y el Hargreaves porque emplea fórmulas desarrolladas a base de mediciones con lisímetros.

**Tabla 3.1.** Tabla comparativa de la Evapotranspiración referencial por método indirecto y directo

Mes	N° de días	Método directo	Método indirecto-Hargreaves	
		Lisímetro (mm/mes)	Por radiación solar (mm/mes)	Por temperatura (mm/mes)
Ene	31	-	99,84	125,02
Feb	28	-	85,04	100,81
Mar	31	-	91,42	101,20
Abr	30	90,12	90,79	85,36
May	31	95,21	91,39	81,98
Jun	30	94,67	80,31	77,16
Jul	31	98,86	84,88	81,99
Ago	31	99,62	94,30	95,92
Sep	30	102,71	96,66	110,47
Oct	31	109,37	111,44	129,73
Nov	30	108,32	112,08	141,13
Dic	31	109,30	101,44	138,53
Total	275	108,19	1,139.59	1,269.30



**Figura 3.1.** Comparación de Evapotranspiración por método directo e indirecto

**Tabla 3.2.** Cálculo de la evapotranspiración de referencia utilizando la ecuación de Hargreaves y los datos de la estación meteorológica de Allpachaca

<b>Evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>)</b>														
Método de Hargreaves, en función a porcentajes de horas de sol posibles, radiación extraterrestre y temperatura														
	Latitud: S	13,38											Altitud:	3550 msnm
Parámetros de cálculo	meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Temperatura media mensual	°C	11,32	11,06	11,21	9,90	8,84	8,33	7,69	8,60	9,54	11,03	10,91	11,08	
Temperatura media mensual (TF)	°F	52,38	51,91	52,19	49,82	47,90	47,00	45,84	47,47	49,17	51,86	51,64	51,95	
Radiación extraterrestre (RMM)	mm	516,75	458,34	475,25	413,75	378,89	339,67	363,39	402,74	436,83	489,80	494,08	513,65	
Porcentaje de horas de sol(S)	%	37,49	35,20	37,44	53,44	69,86	69,73	71,54	67,01	55,80	53,03	53,17	39,82	
Radiación equivalente mensual (RSM)	mm	237,29	203,94	218,08	226,85	237,52	212,73	230,52	247,27	244,73	267,50	270,21	243,10	
Factor de corrección por altitud (CE)		1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	
Evapotranspiración de referencia (ET <sub>o</sub> )	mm/día	3,22	3,04	2,95	3,03	2,95	2,68	2,74	3,04	3,22	3,59	3,74	3,27	
Evapotranspiración de referencia (ET <sub>o</sub> )	mm/mes	99,84	85,04	91,42	90,79	91,39	80,31	84,88	94,30	96,66	111,44	112,08	101,44	

Radiación extraterrestre, equivalente de evaporación mensual	:	RMM = RMD * Días del mes
Porcentaje de horas de sol	:	S = 100 * ( n / N )
Radiación extraterrestre, equivalente de evaporación diaria	:	RDM => Tabla D.3
Radiación equivalente mensual	:	RSM = 0,075* RMM * S^0,5
Horas de sol máxima media diaria, según latitud	:	N => Tabla D.2
Horas diarias de sol promedio mensual	:	n => Dato
Temperatura media mensual	:	°C
Temperatura °F	:	TF = 1,8 * °C + 32
Altitud (msnm)	:	E
Factor de corrección altitud	:	CE = 1,0 + 0,04 (E/2000)
Evapotranspiración de referencia	:	ET <sub>o</sub> = 0,0075 * RSM * TF * CE

En la **Tabla 3.2.** se observa los resultados en mm.día<sup>-1</sup> y mm.mes<sup>-1</sup> de la determinación de la evapotranspiración de referencia por método indirecto, utilizando la ecuación de Hargreaves en función radiación solar y con los datos registrados de estación meteorológica de Allpachaca; que está ubicado dentro del campos de fundo de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

**Tabla 3.3.** Cálculo de la evapotranspiración de referencia utilizando la ecuación de Hargreaves y los datos de la estación meteorológica de Allpachaca

<b>Evapotranspiración de referencia (ETo)</b>														
Método de Hargreaves, en función a humedad relativa y temperatura														
	Latitud: S	13,389											Altitud:	3550 msnm
Parámetros de cálculo	meses	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
	días	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	
Temperatura media mensual	°C	11,32	11,06	11,21	9,90	8,84	8,33	7,69	8,60	9,54	11,03	10,91	11,08	
Temperatura media mensual (TF)	°F	52,38	51,91	52,19	49,82	47,90	47,00	45,84	47,47	49,17	51,86	51,64	51,95	
Humedad relativa (HR)	%	74,58	77,63	78,33	76,13	69,88	64,88	62,65	64,66	65,52	67,98	62,54	68,84	
Factor de corrección humedad (CH)		0,84	0,79	0,77	0,81	0,91	0,98	1,00	0,99	0,97	0,94	1,00	0,93	
Factor de corrección altitud (CE)		1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	
Factor mensual de evapotranspiración (MF)		2,66	2,31	2,34	1,97	1,75	1,56	1,67	1,91	2,15	2,49	2,55	2,69	
Evapotranspiración de referencia (ETo)	mm/día	4,03	3,60	3,26	2,85	2,64	2,57	2,64	3,09	3,68	4,18	4,70	4,47	
Evapotranspiración de referencia (ETo)	mm/mes	125,02	100,81	101,20	85,36	81,98	77,16	81,99	95,92	110,47	129,73	141,13	138,53	

Altitud (msnm)	:	E
Factor de corrección por altitud	:	CE = 1,0 + 0,04 (E/2000)
Temperatura media mensual	:	°C
Temperatura °F	:	TF = 1,8 * °C + 32
Factor de corrección humedad	:	CH = 0,166 * ( 100 - HR ) ^ 0,5 ; Sí, HR < 64 % --> CH = 1,0
Factor mensual de evapotranspiración	:	MF => Tabla D.1
Evapotranspiración de referencia	:	ETo = TF * CH * MF * CE

En la **Tabla 3.3.** se observa los resultados en  $\text{mm.día}^{-1}$  y  $\text{mm.mes}^{-1}$  de la determinación de la evapotranspiración de referencia por método indirecto, utilizando la ecuación de Hargreaves en función a humedad relativa, temperatura y con los datos registrados de estación meteorológica de Allpachaca; que está ubicado dentro del campos de fundo de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Estos dos métodos indirectos tienen similares características de evapotranspiración de referencia al método directo experimental con de lisímetro.

### 3.2. DETERMINACIÓN DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DEL CULTIVO (ET<sub>c</sub>)

A continuación, se presenta las siguientes tablas donde se observan los resultados (ver **Tabla 3.4** hasta **Tabla 3.8**) que comprenden la evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>) de los pastos naturales alto andinas que son: *Festuca dolichophylla*, *Festuca rigescens*, *Muhlenbergia ligularis*, *Trifolium amabile* y *Poa perligulata*. Expresado en mm.día<sup>-1</sup> y mm.mes<sup>-1</sup>, que fue evaluado mediante el método del lisímetro del nivel freático durante el periodo de mayo a octubre del 2019.

En tratamiento 1 se observa una mayor evapotranspiración del cultivo en el mes de septiembre a comparación con los tratamientos 2, 3, 4 y 5. Además en el tratamiento 4 se registró menor evapotranspiración en el mes de mayo a comparación de los tratamientos 1, 2, 3 y 5.

La evapotranspiración del cultivo (ET<sub>c</sub>), del tratamiento 1 varía desde un valor mínimo de 1,50 mm.día<sup>-1</sup> en el mes de mayo, lo mismo ocurre con los tratamientos 2, 3, 4 y 5; El valor máximo es de 3,44 mm.día<sup>-1</sup> en el mes de septiembre al igual que los tratamientos 2 y 5, como se puede observar en la siguiente **Tabla 3.4**.

**Tabla 3.4.** Evapotranspiración del pasto natural de *Festuca dolichophylla* (T1)

Bloque	I		II		III		Promedio		
	Nº días	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)
May	31	52,55	1,70	41,82	1,35	44,77	1,44	46,38	1,50
Jun	30	51,61	1,72	55,21	1,84	50,47	1,68	52,43	1,75
Jul	31	80,76	2,61	78,11	2,52	73,58	2,37	77,48	2,50
Ago	31	81,65	2,63	76,85	2,48	77,32	2,49	78,61	2,54
Set	30	104,50	3,48	99,29	3,31	106,06	3,54	103,28	3,44
Oct	31	89,79	2,90	90,40	2,92	101,20	3,26	93,80	3,03
Nov	30	75,17	2,51	75,13	2,50	73,97	2,47	74,76	2,49
Dic	31	76,07	2,45	74,23	2,39	74,83	2,41	75,05	2,42
Total	245	612	.....	591	.....	602	.....	602	

La evapotranspiración del cultivo de *Festuca rigescens* (tratamiento 2), reporta un valor mínimo de 1,56 mm.día<sup>-1</sup> durante el mes de mayo al igual que el tratamiento 1, 3, 4 y 5; en contraste a ello el máximo valor se reporta en el mes de setiembre con 3,30 mm.día<sup>-1</sup> algo similar ocurre con los tratamientos 1 y 5, como se puede observar en la siguiente **Tabla 3.5**.

**Tabla 3.5.** Evapotranspiración del pasto natural de *Festuca rigescens* (T2)

Bloque		I		II		III		Promedio	
Mes	Nº días	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)
May	31	46,48	1,50	50,44	1,63	48,62	1,57	48,51	1,56
Jun	30	53,04	1,77	55,21	1,84	53,31	1,78	53,85	1,80
Jul	31	70,75	2,28	71,39	2,30	81,00	2,61	74,38	2,40
Ago	31	75,18	2,43	76,85	2,48	77,85	2,51	76,63	2,47
Set	30	93,56	3,12	97,80	3,26	105,60	3,52	98,99	3,30
Oct	31	88,81	2,86	90,40	2,92	101,61	3,28	93,61	3,02
Nov	30	77,06	2,57	77,49	2,58	74,35	2,48	76,30	2,54
Dic	31	69,62	2,25	74,23	2,39	75,90	2,45	73,25	2,36
Total	245	574	.....	594	.....	618	.....	596	.....

Para el tratamiento 3 (*Muhlenbergia ligularis*), el valor mínimo de 1,44 mm.día<sup>-1</sup> se presenta en el mes de mayo del mismo modo que los tratamientos 1, 2, 4 y 5; El valor máximo de 2,86 mm.día<sup>-1</sup> se presenta en mes de octubre coincidiendo con el tratamiento 4. Como se puede observar en la siguiente **Tabla 3.6.**

**Tabla 3.6.** Evapotranspiración del pasto natural de *Muhlenbergia ligularis* (T3)

Bloque		I		II		III		Promedio	
Mes	Nº días	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)
May	31	42,61	1,37	44,56	1,44	46,57	1,50	44,58	1,44
Jun	30	48,89	1,63	48,71	1,62	49,61	1,65	49,07	1,64
Jul	31	68,81	2,22	69,06	2,23	71,66	2,31	69,84	2,25
Ago	31	79,10	2,55	77,63	2,50	71,53	2,31	76,09	2,45
Set	30	79,72	2,66	75,79	2,53	80,43	2,68	78,65	2,62
Oct	31	89,19	2,88	86,78	2,80	90,43	2,92	88,80	2,86
Nov	30	71,23	2,37	73,18	2,44	61,10	2,04	68,51	2,28
Dic	31	71,80	2,32	69,41	2,24	70,14	2,26	70,45	2,27
Total	245	551	.....	545	.....	541	.....	546	.....

En el tratamiento 4 (*Trifolium amabile*), el valor mínimo resultó 1,22 mm.día<sup>-1</sup> en el mes de mayo los mismo que el tratamiento 3; el máximo es de 2,72 mm.día<sup>-1</sup> en el mes de octubre, de la misma manera ocurre con el tratamiento 3(ver **Tabla 3.7**).

**Tabla 3.7.** Evapotranspiración del pasto natural de *Trifolium amabile* (T4)

Bloque		I		II		III		Promedio	
Mes	Nº días	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)
May	31	38,62	1,25	41,01	1,32	33,46	1,08	37,70	1,22
Jun	30	44,15	1,47	45,76	1,53	41,90	1,40	43,94	1,46
Jul	31	69,13	2,23	73,81	2,38	76,31	2,46	73,08	2,36
Ago	31	80,34	2,59	83,19	2,68	71,62	2,31	78,38	2,53
Set	30	82,05	2,74	77,22	2,57	81,11	2,70	80,13	2,67
Oct	31	84,67	2,73	89,18	2,88	79,39	2,56	84,41	2,72
Nov	30	68,67	2,29	69,63	2,32	65,43	2,18	67,91	2,26
Dic	31	69,54	2,24	69,36	2,24	65,28	2,11	68,06	2,20
Total	245	537	.....	549	.....	515	.....	534	.....

Y último con tratamiento 5 (*Poa perligulata*) de los resultados de la evapotranspiración de cultivo de los pastizales, el valor mínimo es de 1,45 mm.día<sup>-1</sup> se presenta en el mes de mayo lo mismo ocurre con el tratamiento 1, 2, 3 y 4; el valor máximo es 3,11 mm.día<sup>-1</sup> se presente también en el mes de octubre coincidiendo otra vez con los tratamientos 1 y 2.

**Tabla 3.8.** Evapotranspiración del pasto natural de *Poa perligulata* (T5)

Bloque		I		II		III		Promedio	
Mes	Nº días	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)	ETc (mm/mes)	ETc (mm/día)
May	31	46,28	1,49	47,89	1,54	41,09	1,33	45,09	1,45
Jun	30	52,10	1,74	52,11	1,74	50,43	1,68	51,54	1,72
Jul	31	68,92	2,22	64,38	2,08	72,51	2,34	68,60	2,21
Ago	31	76,78	2,48	80,24	2,59	77,35	2,50	78,12	2,52
Set	30	93,71	3,12	92,45	3,08	93,74	3,12	93,30	3,11
Oct	31	94,74	3,06	91,88	2,96	95,80	3,09	94,14	3,04
Nov	30	95,80	3,19	74,26	2,48	73,43	2,45	81,17	2,71
Dic	31	76,21	2,46	75,33	2,43	74,67	2,41	75,40	2,43
Total	245	605	.....	579	.....	579	.....	587	.....

Vásquez *et al.*, (2009) indican que la evapotranspiración es un proceso complejo, que depende no solo de los elementos físicos (climáticos) que afectan la evaporación, sino también de las características morfológicas y fisiológicas de la cobertura vegetal, del suelo y su nivel de humedad.

### 3.3. DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO ( $K_c$ )

Los resultados del coeficiente de cultivo de los pastos naturales alto andinas se muestran en los **Tablas 3.9 hasta Tabla 3.13**; estos resultados son en diferentes fases fenológicas de los pastizales, el cual se determinó relacionando la  $ET_c$  del cultivo estudiado por lisimetría, con la  $ET_o$  promedio determinado a través de método lisímetro de nivel freático durante el periodo vegetativo.

La **Tabla 3.9** muestra los resultados del tratamiento 1 en la cual se establecen tres valores de  $K_c$ , para la etapa inicial ( $K_c$  inicial) fue de 0,49; la etapa de mediados y desarrollo ( $K_c$  media) es de 1,01 siendo esta la etapa de máximo desarrollo del cultivo y la etapa final ( $K_c$  final) con un valor de 0,69; todo ello en un periodo total de 245 días.

De igual forma en la **Tabla 3.10** muestra los coeficientes del cultivo para el tratamiento 2, los cuales también varían de acuerdo a las etapas de crecimiento de los pastizales. Para la etapa inicial ( $K_c$  inicial) fue de 0,51; la etapa de mediados y desarrollo ( $K_c$  media) es de 0,96 siendo esta la etapa de máximo desarrollo del cultivo y la etapa final ( $K_c$  fin) con un valor de 0,67; todo ello en un periodo total de 245 días.

De la misma manera se muestra en la **Tabla 3.11** los coeficientes del cultivo para el tratamiento 3, los cuales también varían de acuerdo a las etapas de crecimiento de los pastizales. Para la etapa inicial ( $K_c$  inicial) fue de 0,47; la etapa de mediados y desarrollo ( $K_c$  media) es de 0,81 siendo esta la etapa de máximo desarrollo del cultivo y la etapa final ( $K_c$  fin) con un valor de 0,64; todo ello en un periodo total de 245 días.

Lo mismo ocurre con el tratamiento 4 que se muestra en la **Tabla 3.12** los cuales también varían de acuerdo a las etapas de crecimiento de los pastizales. Para la etapa inicial ( $K_c$  inicial) fue de 0,40; la etapa de mediados y desarrollo ( $K_c$  media) es de 0,79 siendo esta la etapa de máximo desarrollo del cultivo y la etapa final ( $K_c$  fin) con un valor de 0,62; todo ello en un periodo total de 245 días.

Finalmente, la **Tabla 3.13** para el tratamiento 5, los cuales también varían de acuerdo a las etapas de crecimiento. Para la etapa inicial ( $K_c$  inicial) fue de 0,47; la etapa de mediados y desarrollo ( $K_c$  media) es de 0,91 siendo esta la etapa de máximo desarrollo del cultivo y la etapa final ( $K_c$  final) con un valor de 0,69; todo ello en un periodo total de 245 días.

**Tabla 3.9.** Coeficiente de cultivo de *Festuca dolichophylla* (T1)

Mes	Día	ETc (mm/día)	ETo (mm/día)	Kc
May	31	1,50	3,07	0,49
Jun	30	1,75	3,16	0,55
Jul	31	2,50	3,19	0,78
Ago	31	2,54	3,21	0,79
Sep	30	3,44	3,42	1,01
Oct	31	3,03	3,53	0,86
Nov	30	2,49	3,61	0,69
Dic	31	2,42	3,53	0,69

**Tabla 3.10.** Coeficiente de cultivo de *Festuca rigescens* (T2)

Mes	Día	ETc (mm/día)	ETo (mm/día)	Kc
May	31	1,56	3,07	0,51
Jun	30	1,80	3,16	0,57
Jul	31	2,40	3,19	0,75
Ago	31	2,47	3,21	0,77
Sep	30	3,30	3,42	0,96
Oct	31	3,02	3,53	0,86
Nov	30	2,54	3,61	0,70
Dic	31	2,36	3,53	0,67

**Tabla 3.11.** Coeficiente de cultivo de *Muhlenbergia ligularis* (T3)

Mes	Día	ETc (mm/día)	ETo (mm/día)	Kc
May	31	1,44	3,07	0,47
Jun	30	1,64	3,16	0,52
Jul	31	2,25	3,19	0,71
Ago	31	2,45	3,21	0,76
Sep	30	2,62	3,42	0,77
Oct	31	2,86	3,53	0,81
Nov	30	2,28	3,61	0,63
Dic	31	2,27	3,53	0,64

**Tabla 3.12.** Coeficiente de cultivo de *Trifolium amabile* (T4)

Mes	Día	ETc (mm/día)	ETo (mm/día)	Kc
May	31	1,22	3,07	0,40
Jun	30	1,46	3,16	0,46
Jul	31	2,36	3,19	0,74
Ago	31	2,53	3,21	0,79
Sep	30	2,67	3,42	0,78
Oct	31	2,72	3,53	0,77
Nov	30	2,26	3,61	0,63
Dic	31	2,20	3,53	0,62

**Tabla 3.13.** Coeficiente de cultivo de *Poa perligulata* (T5)

Mes	Día	ETc (mm/día)	ETo (mm/día)	Kc
May	31	1,45	3,07	0,47
Jun	30	1,72	3,16	0,54
Jul	31	2,21	3,19	0,69
Ago	31	2,52	3,21	0,78
Sep	30	3,11	3,42	0,91
Oct	31	3,04	3,53	0,86
Nov	30	2,71	3,61	0,75
Dic	31	2,43	3,53	0,69

En tratamiento 1 se observa mayor resultado de coeficiente de cultivo en el mes de mayo en la etapa de mediados y desarrollo a comparación con los tratamientos 2, 3, 4 y 5. Además en el tratamiento 4 se registró menor coeficiente de cultivo en el mes de mayo en etapa de inicio a comparación de los tratamientos 1, 2, 3 y 5. Así mismo en etapa final el tratamiento 4 muestra un resultado mínimo y un máximo valor en tratamiento 1 y 5 en la etapa final.

En cuanto a la variación mes a mes Avidan (1994), menciona que el coeficiente del cultivo no es constante durante las fases de desarrollo, sino que inicialmente el Kc es bajo; con el desarrollo vegetativo de las plantas el Kc aumenta hasta alcanzar un máximo, posteriormente a la senectud o finales de periodo el valor de Kc disminuye.

### 3.4. PROGRAMACIÓN DE RIEGO PARA LOS CINCO TRATAMIENTO

Finalmente, los resultados de último objetivo es la programación de riego acorde a los requerimientos hídricos de los pastos naturales alto andinas.

En la **Tabla 3.14** se determinó la programación de riego para el tratamiento 1 (*Festuca dolichophylla*); donde se determinó una lámina de agua de 33,06 mm y en términos de volumen es 330,60 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; el tiempo de riego se establece en 5,03 hr con un sistema de riego por gravedad con una eficiencia de riego del 40 %. El intervalo de riego es variable entre uno y tres riegos por mes. Teniendo frecuencias de un riego en mes de mayo; dos riegos por mes en los meses de junio, julio y agosto; tres riegos por mes en los meses de septiembre y octubre; finalmente con dos riegos por mes en los meses de noviembre y diciembre.

En la **Tabla 3.15** se menciona la programación de riego para el tratamiento 2 (*Festuca rigescens*); donde se determinó una lámina de agua de 26,34 mm y en términos de volumen es 263,40 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; el tiempo de riego se establece en 4,01 hr con un sistema de riego por gravedad con una eficiencia de riego del 40 %. El intervalo de riego es variable entre dos y cuatro riegos por mes. Teniendo frecuencias de dos riegos por mes en mes de mayo y junio; tres riegos por mes en los meses de julio y agosto; un riego por el mes de septiembre; por último, con tres riegos por mes en los meses de octubre, noviembre y diciembre.

Así mismo, en la **Tabla 3.16** se indica la programación de riego para el tratamiento 3 (*Muhlenbergia ligularis*); donde se determinó una lámina de agua de 19,68 mm y en términos de volumen es 196,80 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; el tiempo de riego se establece en 3,00 hr con un sistema de riego por gravedad con una eficiencia de riego del 40 %. El intervalo de riego es variable entre dos y cuatro riegos por mes. Teniendo frecuencia de dos riegos por mes en mes de mayo; tres riegos por mes en los meses de junio y julio; cuatro riegos por mes en mes de agosto, septiembre y octubre; para terminar con tres riegos por mes en los meses de octubre, noviembre y diciembre.

Además, la **Tabla 3.17** se observa los cálculos de la programación de riego para el tratamiento 4 (*Trifolium amabile*); donde se determinó una lámina de agua de 42,16 mm y en términos de volumen es 421,60 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; el tiempo de riego se establece en 6,42 hr con un sistema de riego por gravedad con una eficiencia de riego del 40 %. El intervalo de

riego es variable entre uno y dos riegos por mes. Teniendo frecuencia de un riego por mes en mes de mayo y junio; dos riegos por mes en los meses julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

Por último, en la **Tabla 3.18** se reporta la programación de riego para el tratamiento 5 (*Poa perligulata*); donde se determinó una lámina de agua de 23,51 mm y en términos de volumen es 235,10 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; el tiempo de riego se establece en 3,58 hr con un sistema de riego por gravedad con una eficiencia de riego del 40 %. El intervalo de riego es variable entre dos y cuatro riegos por mes. Teniendo frecuencias de dos riegos por mes en mes de mayo y junio; tres riegos por mes en los meses de julio y agosto; cuatro riegos por mes en los meses de septiembre y octubre; finalmente con tres riegos por mes en los meses de noviembre y diciembre.

Doorenbos y Pruitt (1977) afirman que los requerimientos de riego de los cultivos varían, temporal y espacialmente, en función del clima, del manejo, de la fase y de la variedad del cultivo, por lo que su cálculo debe ser local.

**Tabla 3.14.** Programación de riego para el pasto *Festuca dolichophylla*

<b>Programación de riego - <i>Festuca Dolichophylla</i></b>																	
Lugar : Fundo de la UNSCH - Allpachaca - Ayacucho											Método de riego : Riego por gravedad						
Año : 2019											Elaborado por : Rudy Ore Huarancay						
Mes	N° días	Ln (mm)	Er (%)	Lb (mm)	ETc exp. (mm/día)	ETc exp. (mm/mes)	Pe (mm)	Ib (mm/h)	Tr (h)	Fr (día)	Fr. ajust. (día)	N° de riego (mes)	N° de R. ajust. (mes)	N.R. (mm)	N.R.n. (m <sup>3</sup> /ha)	N.R.b. (m <sup>3</sup> /ha)	M.R. (Lt/seg*ha)
May.	31	33,06	0,40	82,6	1,50	46,38	6,01	6,57	5,03	22,1	22	1,4	1	40,37	404	807	0,30
Jun.	30	33,06	0,40	82,6	1,75	52,43	0,00	6,57	5,03	18,9	19	1,6	2	52,43	524	1049	0,40
Jul.	31	33,06	0,40	82,6	2,50	77,48	0,00	6,57	5,03	13,2	13	2,4	2	77,48	775	1550	0,58
Ago.	31	33,06	0,40	82,6	2,54	78,61	1,35	6,57	5,03	13,0	13	2,4	2	77,25	773	1545	0,58
Set.	30	33,06	0,40	82,6	3,44	103,28	8,05	6,57	5,03	9,6	10	3,0	3	95,23	952	1905	0,73
Oct.	31	33,06	0,40	82,6	3,03	93,80	25,80	6,57	5,03	10,9	11	2,8	3	68,00	680	1360	0,51
Nov.	30	33,06	0,40	82,6	2,49	74,76	27,06	6,57	5,03	13,3	13	2,3	2	47,70	477	954	0,37
Dic.	31	33,06	0,40	82,6	2,42	75,05	75,15	6,57	5,03	13,7	14	2,2	2	.....	.....	.....	.....
Total	245	264	.....	661	.....	602	143	.....	.....	.....	.....	.....	17	458	4,585.00	9,169.00	.....

**Tabla 3.15.** Programación de riego para el pasto *Festuca rigescens*

<b>Programación de riego - <i>Festuca Rigescens</i></b>																	
Lugar : Fundo de la UNSCH - Allpachaca - Ayacucho										Método de riego : Riego por gravedad							
Año : 2019										Elaborado por : Rudy Ore Huarancay							
Mes	N° días	Ln (mm)	Er (%)	Lb (mm)	ETc exp. (mm/día)	ETc exp. (mm/mes)	Pe (mm)	Ib (mm/h)	Tr (h)	Fr (día)	Fr. ajust. (día)	N° de riego (mes)	N° de R. ajust. (mes)	N.R. (mm)	N.R.n. (m <sup>3</sup> /ha)	N.R.b. (m <sup>3</sup> /ha)	M.R. (Lt/seg*ha)
May.	31	26,34	0,40	65,8	1,56	48,51	6,01	6,57	4,01	16,8	17	1,8	2	42,50	425	850	0,32
Jun.	30	26,34	0,40	65,8	1,80	53,85	0,00	6,57	4,01	14,7	15	2,0	2	53,85	539	1077	0,42
Jul.	31	26,34	0,40	65,8	2,40	74,38	0,00	6,57	4,01	11,0	11	2,8	3	74,38	744	1488	0,56
Ago.	31	26,34	0,40	65,8	2,47	76,63	1,35	6,57	4,01	10,7	11	2,8	3	75,27	753	1505	0,56
Set.	30	26,34	0,40	65,8	3,30	98,99	8,05	6,57	4,01	8,0	8	3,8	4	90,94	909	1819	0,70
Oct.	31	26,34	0,40	65,8	3,02	93,61	25,80	6,57	4,01	8,7	9	3,4	3	67,81	678	1356	0,51
Nov.	30	26,34	0,40	65,8	2,54	76,30	27,06	6,57	4,01	10,4	10	3,0	3	49,24	492	985	0,38
Dic.	31	26,34	0,40	65,8	2,36	73,25	75,15	6,57	4,01	11,1	11	2,8	3	.....	.....	.....	.....
Total	245	211	.....	527	.....	596	143	.....	.....	.....	.....	.....	23	454	4,540.00	9,080.00	.....

**Tabla 3.16.** Programación de riego para el pasto *Muhlenbergia ligularis*

<b>Programación de riego - <i>Muhlenbergia Ligularis</i></b>																	
Lugar : Fundo de la UNSCH - Allpachaca - Ayacucho										Método de riego : Riego por gravedad							
Año : 2019										Elaborado por : Rudy Ore Huarancay							
Mes	N° días	Ln (mm)	Er (%)	Lb (mm)	ETc exp. (mm/día)	ETc exp. (mm/mes)	Pe (mm)	Ib (mm/h)	Tr (h)	Fr (día)	Fr. ajust. (día)	N° de riego (mes)	N° de R. ajust. (mes)	N.R. (mm)	N.R.n. (m <sup>3</sup> /ha)	N.R.b. (m <sup>3</sup> /ha)	M.R. (Lt/seg*ha)
May.	31	19,68	0,40	49,2	1,44	44,58	6,01	6,57	3,00	13,7	14	2,2	2	38,57	386	771	0,29
Jun.	30	19,68	0,40	49,2	1,64	49,07	0,00	6,57	3,00	12,0	12	2,5	3	49,07	491	981	0,38
Jul.	31	19,68	0,40	49,2	2,25	69,84	0,00	6,57	3,00	8,7	9	3,4	3	69,84	698	1397	0,52
Ago.	31	19,68	0,40	49,2	2,45	76,09	1,35	6,57	3,00	8,0	8	3,9	4	74,73	747	1495	0,56
Set.	30	19,68	0,40	49,2	2,62	78,65	8,05	6,57	3,00	7,5	8	3,8	4	70,60	706	1412	0,54
Oct.	31	19,68	0,40	49,2	2,86	88,80	25,80	6,57	3,00	6,9	7	4,4	4	63,00	630	1260	0,47
Nov.	30	19,68	0,40	49,2	2,28	68,51	27,06	6,57	3,00	8,6	9	3,3	3	41,44	414	829	0,32
Dic.	31	19,68	0,40	49,2	2,27	70,45	75,15	6,57	3,00	8,7	9	3,4	3	.....	.....	.....	.....
Total	245	394	.....	394	.....	546	143	.....	.....	.....	.....	.....	26	407	4,073.00	8,145.00	.....

**Tabla 3.17.** Programación de riego para el pasto *Trifolium amabile*

<b>Programación de riego - <i>Trifolium Amabile</i></b>																	
Lugar : Fundo de la UNSCH - Allpachaca - Ayacucho											Método de riego : Riego por gravedad						
Año : 2019											Elaborado por : Rudy Ore Huarancay						
Mes	N° días	Ln (mm)	Er (%)	Lb (mm)	ETc exp. (mm/día)	ETc exp. (mm/mes)	Pe (mm)	Ib (mm/h)	Tr (h)	Fr (día)	Fr. ajust. (día)	N° de riego (mes)	N° de R. ajust. (mes)	N.R. (mm)	N.R.n. (m <sup>3</sup> /ha)	N.R.b. (m <sup>3</sup> /ha)	M.R. (Lt/seg*ha)
May.	31	42,16	0,40	105,4	1,22	37,70	6,01	6,57	6,42	34,7	35	0,9	1	31,69	317	634	0,24
Jun.	30	42,16	0,40	105,4	1,46	43,94	0,00	6,57	6,42	28,8	29	1,0	1	43,94	439	879	0,34
Jul.	31	42,16	0,40	105,4	2,36	73,08	0,00	6,57	6,42	17,9	18	1,7	2	73,08	731	1462	0,55
Ago.	31	42,16	0,40	105,4	2,53	78,38	1,35	6,57	6,42	16,7	17	1,8	2	77,03	770	1541	0,58
Set.	30	42,16	0,40	105,4	2,67	80,13	8,05	6,57	6,42	15,8	16	1,9	2	72,08	721	1442	0,56
Oct.	31	42,16	0,40	105,4	2,72	84,41	25,80	6,57	6,42	15,5	15	2,1	2	58,62	586	1172	0,44
Nov.	30	42,16	0,40	105,4	2,26	67,91	27,06	6,57	6,42	18,6	19	1,6	2	40,85	408	817	0,32
Dic.	31	42,16	0,40	105,4	2,20	68,06	75,15	6,57	6,42	19,2	19	1,6	2	.....	.....	.....	.....
Total	245	337	.....	843	.....	534	143	.....	.....	.....	.....	.....	14	397	3,973.00	7,946.00	.....

**Tabla 3.18.** Programación de riego para el pasto *Poa Perligulata*

<b>Programación de riego - <i>Poa Perligulata</i></b>																	
Lugar : Fundo de la UNSCH - Allpachaca - Ayacucho											Método de riego : Riego por gravedad						
Año : 2019											Elaborado por : Rudy Ore Huarancay						
Mes	N° días	Ln (mm)	Er (%)	Lb (mm)	ETc exp. (mm/día)	ETc exp. (mm/mes)	Pe (mm)	Ib (mm/h)	Tr (h)	Fr (día)	Fr. ajust. (día)	N° de riego (mes)	N° de R. ajust. (mes)	N.R. (mm)	N.R.n. (m³/ha)	N.R.b. (m³/ha)	M.R. (Lt/seg*ha)
May.	31	23,51	0,40	58,8	1,45	45,09	6,01	6,57	3,58	16,2	16	1,9	2	39,08	391	782	0,29
Jun.	30	23,51	0,40	58,8	1,72	51,54	0,00	6,57	3,58	13,7	14	2,1	2	51,54	515	1031	0,40
Jul.	31	23,51	0,40	58,8	2,21	68,60	0,00	6,57	3,58	10,6	11	2,8	3	68,60	686	1372	0,51
Ago.	31	23,51	0,40	58,8	2,52	78,12	1,35	6,57	3,58	9,3	9	3,4	3	76,77	768	1535	0,57
Set.	30	23,51	0,40	58,8	3,11	93,30	8,05	6,57	3,58	7,6	8	3,8	4	85,25	852	1705	0,66
Oct.	31	23,51	0,40	58,8	3,04	94,14	25,80	6,57	3,58	7,7	8	3,9	4	68,34	683	1367	0,51
Nov.	30	23,51	0,40	58,8	2,71	81,17	27,06	6,57	3,58	8,7	9	3,3	3	54,10	541	1082	0,42
Dic.	31	23,51	0,40	58,8	2,43	75,40	75,15	6,57	3,58	9,7	10	3,1	3	.....	.....	.....	.....
Total	245	188	.....	470	.....	587	143	.....	.....	.....	.....	.....	24	444	4,437.00	8,874.00	.....

### 3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR

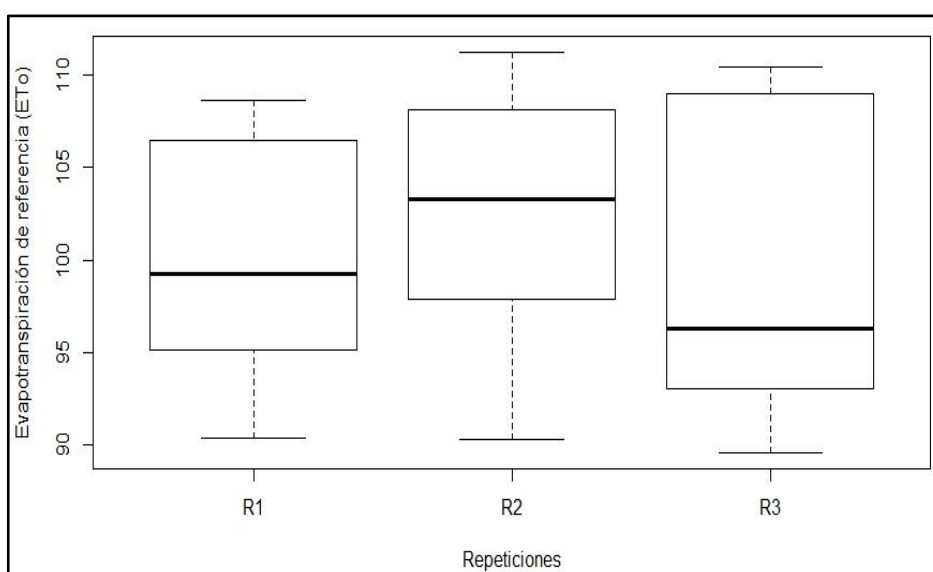
El análisis estadístico se realizó con el software R y RStudio, de evapotranspiración de referencia que fue planteado con el diseño completamente al azar.

**Tabla 3.19.** Datos de Evapotranspiración de referencia en mm.mes<sup>-1</sup> para el análisis estadístico

Evapotranspiración de referencia con el tratamiento 6									
Tratam/Repit	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
R1	90,41	95,18	94,13	97,68	99,25	102,60	108,65	106,45	106,56
T6 R2	90,32	97,89	96,81	103,55	103,28	103,10	110,48	108,13	111,20
R3	89,63	92,56	93,07	95,35	96,32	102,45	108,98	110,39	110,15
Total	270,36	285,63	284,00	296,58	298,85	308,14	328,11	324,97	327,91
Promedio	90,12	95,21	94,67	98,86	99,62	102,71	109,37	108,32	109,30

**Tabla 3.20.** Análisis exploratorio y principales estadísticos de los datos con la función summary

Tratamiento	Repetición	ETo (mm/mes)
		Min, : 89,63
	R1 : 9	1st Qu, : 95,27
T6 : 27	R2 : 9	Median : 102,45
	R3 : 9	Mean : 100,91
		3rd Qu, : 107,34
		Max, : 111,20



**Figura 3.2.** Diagrama de cajas (Boxplot) de tratamiento 6 con tres repeticiones

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

W = 0,94731, p-value = 0,6844

Prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas

Bartlett's K-squared = 0,56691, df = 2, p-value = 0,7532

Existe normalidad y homogeneidad cuando el p-value es mayor que 0.05.

**Tabla 3.21.** Análisis de variancia (ANVA) del tratamiento 6

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Repetición	2	46	22,99	0,445	0,646
Residuals	24	1240	51,66		

**C.V.** = 7,12 %

Según los datos (**Tabla 3.19**) de evapotranspiración de referencia y evaluadas el análisis estadístico con RStudio, nos da los siguientes resultados: de la **Figura 3.2** de las cajas de Boxplot, no se ha encontrado una diferencia significativa; pero si hay una distribución normal de los datos según la prueba de Shapiro-Wilk; también existe una homogeneidad de varianza de datos según la prueba de Bartlett; el análisis de varianza según la **Tabla 3.21** el p-value es mayor de 0,05 por lo tanto se define que no existe diferencia significativa y finalmente el coeficiente de variación **C.V.** = 7,12 % indica que el experimento ha sido conducido bajo condiciones de homogeneidad aceptables.

### 3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DISEÑO DE BLOQUE COMPLETAMENTE AL AZAR

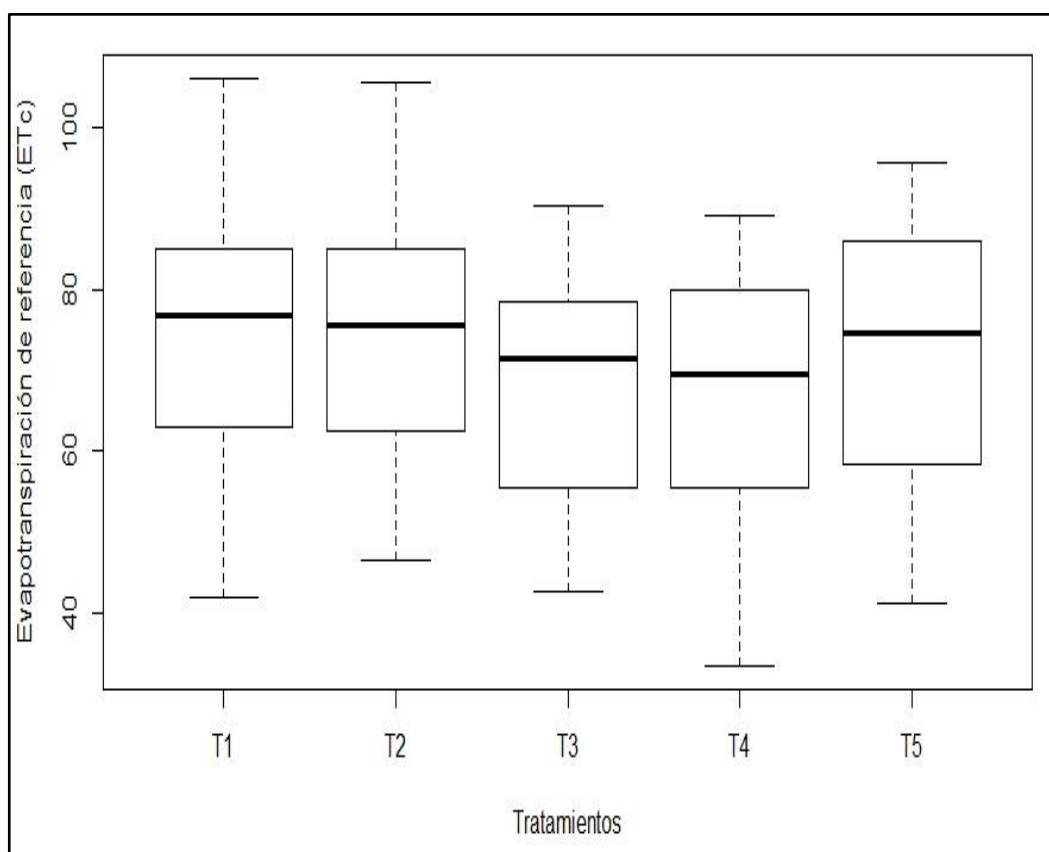
El análisis estadístico se realizó con el software R y RStudio, de evapotranspiración de cultivo que fue planteado con el diseño de bloques completamente al azar de los cinco tratamientos de los pastos naturales alto andinas.

**Tabla 3.22.** Datos de Evapotranspiración de cultivo en mm.mes-1 para el análisis estadístico

		Evapotranspiración de cultivo con los cinco tratamientos				
Mes	Bloque	<i>Festuca dolichophylla</i> (T1)	<i>Festuca rigescens</i> (T2)	<i>Muhlenbergia ligularis</i> (T3)	<i>Trifolium amabile</i> (T4)	<i>Poa perligulata</i> (T5)
May	I	52,55	46,48	42,61	38,62	46,28
	II	41,82	50,44	44,56	41,01	47,89
	III	44,77	48,62	46,57	33,46	41,09
	Promedio	46,38	48,51	44,58	37,70	45,09
Jun	I	51,61	53,04	48,89	44,15	52,10
	II	51,17	55,21	48,71	45,76	52,11
	III	50,47	53,31	49,61	41,90	50,43
	Promedio	51,08	53,85	49,07	43,94	51,54
Jul	I	80,76	70,75	68,81	69,13	68,92
	II	78,11	71,39	69,06	73,81	64,38
	III	73,58	81,00	71,66	76,31	72,51
	Promedio	77,48	74,38	69,84	73,08	68,60
Ago	I	81,65	75,18	79,10	80,34	76,78
	II	78,90	76,85	77,63	83,19	80,24
	III	77,32	77,85	71,53	71,62	77,35
	Promedio	79,29	76,63	76,09	78,38	78,12
Set	I	104,50	93,56	79,72	82,05	93,71
	II	99,29	97,80	75,79	77,22	92,45
	III	106,06	105,60	80,43	81,11	93,74
	Promedio	103,28	98,99	78,65	80,13	93,30
Oct	I	89,79	88,81	89,19	84,67	94,74
	II	88,47	90,40	86,78	89,18	91,88
	III	101,20	101,61	90,43	79,39	95,80
	Promedio	93,15	93,61	88,80	84,41	94,14
Nov	I	75,17	77,06	71,23	68,67	69,86
	II	75,13	77,49	73,18	69,63	74,26
	III	73,97	74,35	61,10	65,43	73,43
	Promedio	73,15	74,31	64,80	66,24	72,51
Dic	I	76,07	69,62	71,80	69,54	76,21
	II	77,62	74,23	69,41	69,36	75,33
	III	74,83	75,90	70,14	65,28	74,67
	Promedio	76,17	73,25	70,45	68,06	75,40

**Tabla 3.23.** Análisis exploratorio y principales estadísticos de los datos con la función summary

Bloques	Tratamientos	ETc (mm/mes)
I : 40	T1 : 24	Min, : 33,46
II : 40	T2 : 24	1st Qu, : 59,63
III : 40	T3 : 24	Median : 74,25
	T4 : 24	Mean : 71,39
	T5 : 24	3rd Qu, : 80,36
		Max, : 106,06



**Figura 3.3.** Diagrama de cajas con Rstudio

Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk

W = 0,94013, p-value = 4,365e-05

Prueba de Bartlett de homogeneidad de varianzas

Bartlett's K-squared = 1,4556, df = 4, p-value = 0,8345

Existe normalidad y homogeneidad cuando el p-value es mayor que 0,05.

**Tabla 3.24.** Análisis de variancia (ANVA)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
bloq	2	0	0.1	0	1
Tratamientos	4	1358	339,5	1,201	0,315
Residuals	113	31954	282,8		

**C.V.** = 23.56 %

Según los datos (**Tabla 3.22**) de evapotranspiración de cultivo de los pastos naturales alto andinas y evaluadas el análisis estadístico con RStudio, nos da los siguientes resultados: de la **Figura 3.3** de las cajas de Boxplot, no se ha encontrado una diferencia significativa; también no hay una distribución normal de los datos según la prueba de Shapiro-Wilk; pero existe una homogeneidad de varianza de datos según la prueba de Bartlett; el análisis de varianza según la **Tabla 3.24** el p-value es mayor de 0,05 entre bloques lo cual indica que no existe diferencia significativa, pero entre los tratamiento existe una diferencia significativa porque el p-value es menor de 0,05 y finalmente el coeficiente de variación C.V. = 23,56 % indica que el experimento ha sido conducido bajo condiciones de heterogeneidad.

## CONCLUSIONES

Al finalizar el presente proyecto de investigación y de acuerdo a los resultados obtenidos, se puede enunciar las siguientes conclusiones:

1. Durante los nueve meses de evaluación, en la cuantificación de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), estudiado con el cultivo pasto (*Dactylis glomerata*) para la condiciones de la estación meteorológica del Centro Poblado de Allpachaca, desde abril hasta diciembre del año 2019 es como sigue respectivamente 90,12 mm.mes<sup>-1</sup>; 95,21 mm.mes<sup>-1</sup>; 94,67 mm.mes<sup>-1</sup>; 98,86 mm.mes<sup>-1</sup>; 99,62 mm.mes<sup>-1</sup>; 102,71 mm.mes<sup>-1</sup>; 109,37 mm.mes<sup>-1</sup>; 108,32 mm.mes<sup>-1</sup> y 109,30 mm.mes<sup>-1</sup> evaluados con el método del lisímetro del nivel freático, así acumulando un total de 1,016.37 mm de abril a diciembre 2019.
2. La evapotranspiración de cultivo (ET<sub>c</sub>), evaluada en las cinco especies de pastos naturales alto andinas son: *Festuca dolichophylla* (T1) durante la evaluación alcanzó valores 1,50 mm.día<sup>-1</sup> en la etapa inicial; 3,44 mm.día<sup>-1</sup> en la etapa media así acumulando un total de 601,77 mm.mes<sup>-1</sup> por todo el periodo vegetativo expresado también como 6,020.00 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; *Festuca rigescens* (T2) obtuvo valores de 1,56 mm.día<sup>-1</sup> en la etapa inicial a 3,44 mm.día<sup>-1</sup> en la etapa media, además acumuló un total de 595,52 mm.mes<sup>-1</sup> durante su periodo vegetativo expresado en 5,960.00 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; *Muhlenbergia ligularis* (T3) alcanzó valores de 1,44 mm.día<sup>-1</sup> en la etapa inicial a 2,86 mm.día<sup>-1</sup> en la etapa media, además acumuló un total de 545,98 mm.mes<sup>-1</sup> durante su periodo vegetativo expresado en 5,460.00 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>; *Trifolium amabile* (T4) se determinó valores de 1,22 mm.día<sup>-1</sup> en la etapa inicial y 2,72 mm.día<sup>-1</sup> en la etapa media, acumulando un total de 533,61 mm.mes<sup>-1</sup> por todo el periodo vegetativo expresado también como 5,340.00 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup> y *Poa Perligulata* (T4) se determinó valores de 1,45 mm.día<sup>-1</sup> en la etapa inicial y 3,11 mm.día<sup>-1</sup> en la etapa media,

acumulando un total de 587,37 mm.mes<sup>-1</sup> por todo el periodo vegetativo expresado también como 5,870.00 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>. La evapotranspiración del cultivo de las cinco especies de pastos naturales alto andinas (ETc), se determinó por el método del lisímetro del nivel freático de abril 2019 a diciembre 2019 respectivamente.

3. Los valores del coeficiente de la evapotranspiración de los pastos naturales alto andinas (Kc) son: en *Festuca dolichophylla* (T1) durante la etapa inicial 0,49; en la etapa de media 1,01 y en la etapa de final 0,69; En *Festuca rigescens* (T2) durante la etapa inicial 0,51; en la etapa de media 0,96 y en la etapa de final 0,67; En *Muhlenbergia ligularis* (T3) durante la etapa inicial 0,47; en la etapa de media 0,81 y en la etapa de final 0,64; en *Trifolium amabile* (T4) durante la etapa inicial 0,40, en la etapa de media 0,79 y en la etapa de final 0,62 por último en *Poa Perligulata* (T5) durante la etapa inicial 0,47; en la etapa de media 0,91 y en la etapa de final 0,69.
  
4. La programación de riego para los pastos naturales alto andinas estudiadas se determinó, plantear un sistema de riego por gravedad con una eficiencia de riego de 40 %. Los intervalos de riego para los tratamientos: *Festuca dolichophylla* (T1) es de 1 – 3 por mes; *Festuca rigescens* (T2) es de 2 – 4 por mes; *Muhlenbergia ligularis* (T3) es de 2 – 4 por mes; *Trifolium amabile* (T4) es de 1 – 2 por mes y por último de *Poa Perligulata* (T5) es de 2 – 4 por mes. El tiempo de riego es 5,00 h; 4,00 h; 3,00 h; 7,00 h y 3,58 h para cada tratamiento respectivo. Por tanto, la cantidad de agua a aplicar y la frecuencia variaron en función de la etapa vegetativa, reproducción, maduración y diseminación de los pastos naturales alto andinas, que fueron evaluados durante los ocho meses de mayo hasta diciembre del 2019.

Con respecto, pasto de referencia (*Dactylis glomerata*), es una especie con gran capacidad de crecimiento, rebrote muy rápido, mayor forraje y presenta menor resistencia moderada al frío. A comparación de los pastos naturales alto andinas estudiados.

## RECOMENDACIONES

1. Para mejorar la conservación de los pastos naturales alto andinas, durante el tiempo de estiaje se debe difundir los resultados obtenidos en el presente trabajo; a los comités de riego del Centro Poblado de Allpachaca asimismo a la comisión de riego de la Cuenca Cachi, para que sirva como antecedente para los futuros proyectos productivos en pastizales.
2. Tomando como base los resultados obtenidos en la presente investigación sería conveniente obtener estos parámetros de evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>), evapotranspiración de cultivo (ET<sub>c</sub>) y coeficiente de evapotranspiración (K<sub>c</sub>) en otros cultivos de pastos sea estos silvestres o cultivados considerando una variabilidad climática.
3. Difundir que el lisímetro de nivel freático sea utilizado para estudios de evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) y evapotranspiración de cultivo (ET<sub>c</sub>) con la finalidad de utilizar los datos obtenidos en proyectos de irrigación.
4. Se exhorta fabricar lisímetros de nivel freático que tengan mayor diámetro y volumen, con el propósito de incrementar el tiempo de medición de la evapotranspiración de cultivo de los tratamientos estudiados.
5. Se recomienda a las autoridades y docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias, promover a que los egresados realicen investigación de pregrado en los campos del fundo de la Universidad Nacional de San Cristóbal Huamanga en la Comunidad de Allpachaca, distrito Chiara, provincia Huamanga del departamento de Ayacucho.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

1. Alejo, J., Valer. F., Pérez, J., Canales, L., & Bautinza, V. (2014). Manual Técnico N° 02 del Manejo de Pastos Naturales Alto Andinas, Perú. pp. 15-19.
2. Allen, G., Pereira, L., Raes, D., & Smith. M. (2006). Evapotranspiración del Cultivo y Guías para la Determinación de los Requerimientos de Agua de los cultivos, 298pp., Estudio FAO Riego y Drenaje No. 56 (Segunda edición). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.
3. Avidan, A. (1994). Factores que Influyen Sobre el Régimen de Riego Fasciculo1, CINADCO – Centro de Cooperación Internacional Para el Desarrollo agrícola HAGUID, estado de Israel. pp. 4.
4. Bala, A. Singh, RK. Kumar, S. Kumar, R. (2017) Quantification of Wheat Crop Evapotranspiration and Mapping: A Case Study From Bhiwani District of Haryana, India. Agricultural Water Management 187: 200-209.
5. Bates, B.C., Z.W. Kundzewicz, S. Wu and J.P. Palutikof, Eds., 2008: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 pp.
6. Bavera, A. (2001). Curso de Producción Bovina de Carne.
7. Britton, C. (1982). Determinación de la Capacidad de Carga. Curso Corto: Manejo y Mejoramiento de Pastizales Naturales. Texas Tech University. Programa Colaborativo de Apoyo a la Investigación en Rumiantes Menores, Lima, Perú, 1982. pp. 85-96.
8. Cadena, V. (2012). Hablemos de Riego. Dirección de Gestión Riego Provincia de Pichincha. Quito. pp. 74-85.
9. Cordero, M. (2017). Evapotranspiración potencial (ETP), del cultivo de alveja (*Pisum sativum*) con tres niveles de capa freática en Acobamba-Huancavelica (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Perú. pp. 10-15.
10. Cortes, H. (1981). Diseños Experimentales (Conceptos Básicos)-Segunda Edición. UNSAAC-Cusco-Perú. pp. 1-47.
11. Cronquist, A. 1988. The Evolution and Classification of flowering Plants (“La Evolución y Clasificación de los Angiospermas”) Estados Unidos.
12. Durand F., Gonzales W., & Mamani G. (2008). Fenología de las Principales Especies Forrajeras Nativas en la Zona Alto Andina. Ayacucho, Perú. pp. 6.

13. Doorenbos, J. y Pruitt, W. (1977). Las Necesidades de Agua de los Cultivos. FAO. Riego y Drenaje. Tomo 24.
14. FAO 56, (2006). Evapotranspiración del Cultivo. Guías Para la Determinación de los Requerimientos de agua de los Cultivos, Roma.
15. Fillat, F., Gonzales, G., Gomez, D., & Reiné, R. (2008). Pastos del Pirineo (Tesis de Pregrado). España.
16. Fuentes, J. (1998), Técnicas de Riego, cuarta edición editorial MUNDI – PRENSA MADRID, 1998, Madrid – España, 483 pp.
17. García, J. (1990). Agrometeorología. Energía y agua en la agricultura. Perú. 174 p.
18. Hernández, F.J., Hernández, A., Ortega, E., Enríquez, J.F. & Velázquez, M. (2015). Comportamiento Productivo del Pasto Ovillo (*Dactylis glomerata*) en respuesta al Pastoreo. Agron. Mesoam. Pp. 33-42.
19. Kool, D., Agam, N., Lazarovitch, N., Heitman, J.L., Sauer, T.J. and Ben-Gal, A. 2014. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. Agricultural and Forest Meteorology, 184: 56-70.
20. Lambin, F., Geist, H., & Rindfuss, R. (2006). Introduction Local Processes With Global Impacts. In: Lima, Perú, 1982.
21. Malpartida, E. (1992). Manejo de praderas nativas y pasturas en la región alto andina del Perú. Banco Agrario- Lima -Peru.
22. Malpartida, E. (1999) Guía Metodológica para la evaluación de Praderas Alto Andinas. MINAG. PRONAMACHS – Cusco – Perú.
23. Mamani, G., Garcia, A., & Durand, F. (2013). Manejo y utilización de praderas naturales en la zona alta andina de Ayacucho – Perú.
24. Miranda, R. (1995). Manual de Pastos Nativos Mejorados y Establecimiento de Forrajes. Serie Manuales N° 2. Coordinadora Inter-Institucional del Sector Alpaquero. Arequipa - Perú. 178 pp,
25. Olarte, W. (2003), “Diseño y Gestión de Sistemas de Riego por Aspersión en Laderas” Primera Edición, MASAL-Cusco-Perú. 156 pp.
26. Programa de Adaptación al Cambio Climático PACC (2014). Manual Técnico N° 02 de Manejo de Pastos Naturales Alto Andinos. Lima – Perú.
27. Quispe, R. (2003) Clausura y Repoblamiento con Esquejes Para la Recuperación de Pastizales Alto Andinas en la Sierra Central. Huancayo - Perú. 35 pp.

28. Ramiro, R. San Martín, H. y Durant, O. (2000). Recuperación de Praderas Degradadas por Medio de Clausuras Temporales. Lima – Perú.
29. Ruiz, C. (1985) Siembra y Manejo de Pastos. Boletín Técnico N° 11, Convenio IVITA – COTESU – IC. Programa de Pastos UNSCH, Ayacucho, Peru.
30. Ruiz, S. (1995). El Cultivo de la Caña de Azúcar. San José, Costa Rica. Primera ed., pp. 187-188.
31. Sánchez, M. (2005). Métodos de Estimación de Evapotranspiración Utilizados en Chile, Revista de Geografía Norte Grande. pp. 3-10, 8.
32. Sandoval, J. (2014). Determinación de las necesidades hídricas de Pastura con Manejo Orgánico en la Zona de Influencia del Canal de riego Gayambe - Pedro Moncayo (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. pp. 15-22.
33. Tovar, O. (1993). Las Gramineas (Poaceae) del Perú. Tomo 13. 481 pp.
34. Vásquez A., Vásquez I., Vásquez C., & Cañamero, M. (2017). Fundamentos de Ingeniería de Riegos. Universidad Nacional Agraria la Molina-Lima-Perú. pp. 134-139.
35. Vibrans, H. (2009). *Dactylis glomerata*. Malezas de México. pp. 1-8
36. Vivanco, H. 2007. Situación y Proyección de la Ganadería Peruana. Mejoramiento Genético y Reproducción animal Perú. pp. 1-22.
37. Zea, R. (2015). Determinación Experimental de las Necesidades Hídricas del Bofedal en Puna Seca y Húmeda en el Departamento de Puno (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú. pp. 1-5.

## **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**DATOS REGISTRADOS DE LA**  
**EVAPOTRANSPIRACIÓN DE**  
**REFERENCIA (ET<sub>o</sub>)**

**Tabla A.1.** Datos registrados de la evapotranspiración de referencia *Dactylis glomerata* (T6), evaluada en campos del fundo de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga del Centro Poblado de Allpachaca - Ayacucho

Datos registrados de la Evapotranspiración de referencia (ETo) en mm/día con lisímetros de nivel freático																		
Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		
Fecha	T6	Fecha	T6	Fecha	T6	Fecha	T6	Fecha	T6	Fecha	T6	Fecha	T6	Fecha	T6	Fecha	T6	
	06/04/2019	2,99	05/05/2019	3,10	06/06/2019	3,10	04/07/2019	3,20	04/08/2019	3,22	07/09/2019	3,31	06/10/2019	3,55	06/11/2019	3,28	05/12/2019	3,54
	10/04/2019	3,05	09/05/2019	3,08	13/06/2019	3,10	08/07/2019	3,23	11/08/2019	3,15	13/09/2019	3,45	10/10/2019	3,55	12/11/2019	3,54	11/12/2019	-
	14/04/2019	3,03	12/05/2019	3,14	20/06/2019	-	14/07/2019	3,22	18/08/2019	3,20	16/09/2019	3,15	16/10/2019	3,52	17/11/2019	3,60	15/12/2019	3,53
R1	18/04/2019	3,00	R1 19/05/2019	3,05	R1 26/06/2019	3,17	R1 18/07/2019	3,17	R1 23/08/2019	3,17	R1 19/09/2019	3,71	R1 20/10/2019	3,41	R1 23/11/2019	3,59	R1 19/12/2019	-
	21/04/2019	2,99	23/05/2019	3,03	01/07/2019	3,18	23/07/2019	2,74	27/08/2019	3,26	23/09/2019	3,44	25/10/2019	3,48	01/12/2019	3,73	22/12/2019	-
	27/04/2019	3,02	26/05/2019	3,06			29/07/2019	3,08	01/09/2019	3,21	27/09/2019	3,53	29/10/2019	3,53			28/12/2019	3,52
	01/05/2019	-	01/06/2019	3,04			01/08/2019	3,42			01/10/2019	3,36	01/11/2019	3,49			01/01/2020	3,16
	06/04/2019	3,08	05/05/2019	3,22	06/06/2019	3,20	04/07/2019	3,37	04/08/2019	3,37	07/09/2019	-	06/10/2019	3,65	06/11/2019	3,76	05/12/2019	-
	10/04/2019	2,96	09/05/2019	3,19	13/06/2019	-	08/07/2019	3,21	11/08/2019	3,27	13/09/2019	3,48	10/10/2019	3,53	12/11/2019	3,52	11/12/2019	3,52
	14/04/2019	-	12/05/2019	-	20/06/2019	3,19	14/07/2019	3,21	18/08/2019	3,31	16/09/2019	3,48	16/10/2019	3,51	17/11/2019	3,57	15/12/2019	-
R2	18/04/2019	3,00	R2 19/05/2019	3,11	R2 26/06/2019	3,24	R2 18/07/2019	-	R2 23/08/2019	3,36	R2 19/09/2019	3,38	R2 20/10/2019	-	R2 23/11/2019	3,57	R2 19/12/2019	3,48
	21/04/2019	2,90	23/05/2019	3,15	01/07/2019	3,27	23/07/2019	3,54	27/08/2019	3,37	23/09/2019	3,50	25/10/2019	-	01/12/2019	3,60	22/12/2019	3,51
	27/04/2019	3,09	26/05/2019	-			29/07/2019	-	01/09/2019	3,30	27/09/2019	3,35	29/10/2019	-			28/12/2019	-
	01/05/2019	3,03	01/06/2019	3,11			01/08/2019	3,37			01/10/2019	-	01/11/2019	-			01/01/2020	3,84
	06/04/2019	2,87	05/05/2019	2,95	06/06/2019	2,99	04/07/2019	2,89	04/08/2019	3,01	07/09/2019	3,45	06/10/2019	3,36	06/11/2019	3,79	05/12/2019	3,56
	10/04/2019	3,02	09/05/2019	2,92	13/06/2019	3,15	08/07/2019	3,14	11/08/2019	3,13	13/09/2019	3,40	10/10/2019	3,47	12/11/2019	3,62	11/12/2019	-
	14/04/2019	3,03	12/05/2019	3,13	20/06/2019	3,25	14/07/2019	3,17	18/08/2019	3,18	16/09/2019	3,73	16/10/2019	3,46	17/11/2019	3,70	15/12/2019	-
R3	18/04/2019	-	R3 19/05/2019	2,96	R3 26/06/2019	3,06	R3 18/07/2019	3,10	R3 23/08/2019	3,13	R3 19/09/2019	3,13	R3 20/10/2019	3,66	R3 23/11/2019	3,67	R3 19/12/2019	-
	21/04/2019	3,08	23/05/2019	2,88	01/07/2019	3,06	23/07/2019	3,19	27/08/2019	3,10	23/09/2019	3,57	25/10/2019	3,52	01/12/2019	3,62	22/12/2019	-
	27/04/2019	2,91	26/05/2019	3,13			29/07/2019	3,24	01/09/2019	3,09	27/09/2019	3,18	29/10/2019	3,59			28/12/2019	3,54
	01/05/2019	3,02	01/06/2019	2,93			01/08/2019	2,80			01/10/2019	3,45	01/11/2019	3,56			01/01/2020	-

Los resultados obtenidos de la evapotranspiración de referencia (ETo) experimental, calculada por el método directo a través de lisímetros de nivel freático. Para este tratamiento ha sido evaluada durante los nueve meses como se muestra en la **Tabla A.1.**

**ANEXO B**  
**DATOS REGISTRADOS DE**  
**EVAPOTRANSPIRACIÓN DE**  
**CULTIVO (ETc)**

**Tabla B.1.** Datos registrados de la evapotranspiración de cultivo de las cinco especies de pastos naturales alto andinas, evaluadas en campos del fundo de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga del Centro Poblado de Allpachaca - Ayacucho

Datos registrados de Evapotranspiración de cultivo (ETc) en mm/día de lisímetros de nivel freático de las cinco especies de pastos naturales alto andinas																											
	Mayo						Junio						Julio						Agosto								
	Fecha	T1	T2	T3	T4		T5	Fecha	T1	T2	T3		T4	T5	Fecha	T1	T2		T3	T4	T5	Fecha	T1	T2	T3	T4	T5
Bloque I	05/05/2019	1,73	1,51	1,12	1,33	1,68	Bloque I	06/06/2019	1,75	1,77	1,61	1,49	1,79	Bloque I	04/07/2019	2,34	2,38	2,25	2,18	2,09	Bloque I	04/08/2019	2,44	2,39	2,45	2,53	2,41
	09/05/2019	1,84	1,65	1,21	1,10	1,68		13/06/2019	-	1,75	1,60	1,43	1,61		08/07/2019	2,09	-	2,39	2,28	2,48		11/08/2019	2,60	2,47	2,63	2,59	2,52
	12/05/2019	1,75	1,20	1,24	0,97	1,44		20/06/2019	1,68	1,75	1,61	1,44	1,77		14/07/2019	2,68	2,30	2,49	-	2,55		18/08/2019	2,65	2,41	-	2,50	2,55
	19/05/2019	-	1,59	1,81	1,65	1,49		26/06/2019	1,68	1,77	1,66	1,49	1,69		18/07/2019	2,62	2,24	-	-	1,74		23/08/2019	2,66	-	2,57	2,62	2,54
	23/05/2019	-	1,35	1,38	1,31	1,46		01/07/2019	1,77	1,81	1,66	1,52	1,82		23/07/2019	2,76	2,34	2,10	-	2,24		27/08/2019	2,72	-	2,38	2,76	2,50
	26/05/2019	1,43	1,58	1,62	1,17	1,18									29/07/2019	2,30	1,94	1,75	-	1,87		01/09/2019	2,73	-	2,73	2,54	2,34
	01/06/2019	1,72	1,62	1,25	1,20	1,52									01/08/2019	3,45	2,49	2,34	-	2,59							
Bloque II	05/05/2019	1,27	1,66	1,18	1,41	1,75	Bloque II	06/06/2019	1,70	-	1,50	-	1,75	Bloque II	04/07/2019	2,30	2,18	-	2,24	2,16	Bloque II	04/08/2019	2,46	2,60	2,51	2,60	2,48
	09/05/2019	1,38	-	1,27	1,17	1,64		13/06/2019	1,67	1,79	1,64	1,47	1,72		08/07/2019	-	2,28	-	2,24	1,72		11/08/2019	2,52	2,53	2,52	2,69	2,60
	12/05/2019	1,13	1,40	1,33	1,10	1,53		20/06/2019	1,68	1,77	1,59	-	1,72		14/07/2019	1,82	2,55	2,25	2,34	2,53		18/08/2019	2,57	2,47	2,50	2,60	2,64
	19/05/2019	1,55	1,67	1,84	1,69	1,53		26/06/2019	1,70	1,87	1,69	1,52	1,72		18/07/2019	2,34	2,67	2,67	2,55	1,98		23/08/2019	2,54	2,51	2,51	2,71	2,67
	23/05/2019	1,34	1,51	1,44	1,38	1,53		01/07/2019	1,78	1,93	1,70	1,59	1,77		23/07/2019	-	2,28	2,10	2,41	2,08		27/08/2019	2,57	2,34	2,41	2,87	2,66
	26/05/2019	-	1,79	1,70	1,26	1,27									29/07/2019	2,23	1,98	1,75	2,00	1,74		01/09/2019	2,61	2,41	2,57	2,63	2,47
	01/06/2019	1,41	1,72	1,29	1,25	1,56									01/08/2019	3,91	2,18	2,36	2,87	2,32							
Bloque III	05/05/2019	1,42	1,59	1,25	1,10	1,54	Bloque III	06/06/2019	1,66	1,82	1,56	1,43	1,78	Bloque III	04/07/2019	2,53	2,37	2,18	2,30	-	Bloque III	04/08/2019	2,60	2,47	2,55	2,46	2,67
	09/05/2019	1,53	1,67	1,34	0,87	-		13/06/2019	1,66	1,69	1,67	1,29	1,48		08/07/2019	2,21	2,34	2,28	-	2,55		11/08/2019	2,57	-	2,23	2,34	2,54
	12/05/2019	1,34	1,30	1,42	-	1,26		20/06/2019	1,66	1,71	1,60	1,40	1,65		14/07/2019	2,09	2,60	2,76	2,47	2,32		18/08/2019	2,62	2,78	-	2,26	2,57
	19/05/2019	1,51	1,63	1,88	1,52	1,41		26/06/2019	1,76	1,81	1,71	1,45	1,82		18/07/2019	2,17	2,31	2,62	2,41	2,59		23/08/2019	2,38	2,59	-	2,28	2,48
	23/05/2019	1,28	1,43	1,51	1,08	1,33		01/07/2019	-	1,86	1,72	-	-		23/07/2019	2,62	-	2,14	2,48	2,21		27/08/2019	2,36	2,40	-	2,33	2,43
	26/05/2019	1,52	1,69	1,79	0,86	1,00									29/07/2019	-	-	1,78	2,11	1,84		01/09/2019	2,44	2,32	2,14	2,20	2,28
	01/06/2019	1,52	1,67	1,33	1,05	1,42									01/08/2019	2,62	3,45	2,41	2,99	2,53							

Los resultados obtenidos de la evapotranspiración de cultivo (ETc) experimental, calculada por el método directo a través de lisímetros de nivel freático. Para los cinco tratamientos ha sido evaluada durante los meses mayo, junio, julio y agosto como se muestra en la **Tabla B.1.**

**Tabla B.2.** Datos registrados de la evapotranspiración de cultivo de las cinco especies de pastos naturales alto andinas, evaluadas en campos del fundo de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga del Centro Poblado de Allpachaca - Ayacucho

Datos registrados de Evapotranspiración de cultivo (ETc) en mm/día de lisímetros de nivel freático de los cinco especies de pastos naturales alto andinas																											
	Setiembre						Octubre						Noviembre						Diciembre								
	Fecha	T1	T2	T3	T4		T5	Fecha	T1	T2	T3		T4	T5	Fecha	T1	T2		T3	T4	T5	Fecha	T1	T2	T3	T4	T5
Bloque I	07/09/2019	3,47	3,37	1,41	2,65	-	Bloque I	06/10/2019	1,97	3,08	3,00	2,69	3,38	Bloque I	06/11/2019	2,57	2,70	2,48	2,59	2,37	Bloque I	05/12/2019	2,41	-	-	2,25	2,67
	13/09/2019	3,69	-	3,52	2,67	3,10		10/10/2019	3,29	-	3,10	2,76	3,28		12/11/2019	2,56	2,61	2,33	2,22	2,28		11/12/2019	-	-	2,24	2,10	-
	16/09/2019	3,45	3,34	2,94	2,67	3,08		16/10/2019	-	3,91	4,10	-	4,16		17/11/2019	2,47	2,52	2,33	2,06	-		15/12/2019	-	2,11	-	2,22	2,38
	19/09/2019	3,49	3,18	2,76	3,11	3,20		20/10/2019	2,62	2,41	-	2,74	2,95		23/11/2019	2,41	2,52	2,35	-	2,32		19/12/2019	2,47	2,38	2,28	-	-
	23/09/2019	3,39	3,09	2,86	-	3,19		25/10/2019	2,65	2,32	2,10	-	2,24		01/12/2019	2,52	2,48	-	-	2,34		22/12/2019	-	-	2,44	2,23	2,34
	27/09/2019	3,55	2,48	3,41	2,61	2,93		29/10/2019	3,45	2,97	2,62	-	2,80									28/12/2019	2,48	-	2,31	-	2,44
	01/10/2019	3,34	3,24	1,70	2,69	3,24		01/11/2019	3,40	2,49	2,34	2,74	2,59									01/01/2020	-	-	-	2,41	-
Bloque II	07/09/2019	3,45	3,32	1,36	2,70	3,10	Bloque II	06/10/2019	2,03	2,97	3,10	2,72	3,45	Bloque II	06/11/2019	2,55	-	2,58	-	-	Bloque II	05/12/2019	2,46	2,38	2,21	2,33	2,50
	13/09/2019	3,20	3,27	3,21	2,62	-		10/10/2019	-	3,14	-	3,69	-		12/11/2019	2,59	2,70	2,47	2,33	2,55		11/12/2019	2,38	2,43	-	2,05	-
	16/09/2019	3,37	3,45	2,86	2,76	3,10		16/10/2019	3,31	4,16	3,86	2,69	4,14		17/11/2019	2,50	2,63	2,50	2,19	2,59		15/12/2019	2,47	2,19	2,14	-	2,40
	19/09/2019	3,24	3,45	2,64	2,30	3,08		20/10/2019	2,34	2,84	2,74	2,74	3,19		23/11/2019	2,40	-	2,30	2,44	2,28		19/12/2019	2,53	-	2,19	2,22	2,33
	23/09/2019	3,02	-	2,78	2,45	-		25/10/2019	2,79	2,28	2,10	2,79	2,08		01/12/2019	2,49	2,41	2,34	-	-		22/12/2019	-	2,43	2,34	2,16	-
	27/09/2019	3,45	2,79	3,21	2,62	3,10		29/10/2019	3,79	2,84	2,63	2,76	2,60									28/12/2019	2,62	2,56	-	2,39	2,49
	01/10/2019	3,45	3,28	1,64	2,57	3,02		01/11/2019	-	2,18	2,36	2,75	2,32									01/01/2020	2,55	2,38	2,31	2,28	2,43
Bloque III	07/09/2019	3,39	-	1,30	2,63	3,13	Bloque III	06/10/2019	-	3,08	2,86	2,76	3,17	Bloque III	06/11/2019	-	2,57	-	-	2,52	Bloque III	05/12/2019	-	-	2,22	2,22	2,37
	13/09/2019	3,23	3,37	3,68	2,57	3,16		10/10/2019	3,72	3,17	3,07	1,72	3,24		12/11/2019	2,52	2,60	2,21	2,18	2,53		11/12/2019	2,34	-	2,24	1,99	2,44
	16/09/2019	3,26	3,27	2,76	2,63	3,17		16/10/2019	4,31	4,21	4,37	2,76	3,93		17/11/2019	2,41	2,51	2,18	2,01	2,43		15/12/2019	-	-	-	-	2,45
	19/09/2019	3,59	3,24	2,74	2,80	3,01		20/10/2019	2,17	2,48	2,90	-	3,79		23/11/2019	-	2,51	-	-	-		19/12/2019	-	2,41	-	-	-
	23/09/2019	3,78	3,45	3,29	2,90	3,17		25/10/2019	-	-	2,14	2,65	2,21		01/12/2019	-	2,21	1,72	2,34	2,31		22/12/2019	2,48	2,48	-	-	-
	27/09/2019	3,97	4,41	3,31	2,68	3,16		29/10/2019	2,83	-	2,67	2,67	2,76									28/12/2019	-	-	2,32	-	-
	01/10/2019	-	3,38	1,69	2,72	3,07		01/11/2019	3,29	3,45	2,41	2,80	2,53									01/01/2020	-	-	-	-	2,38

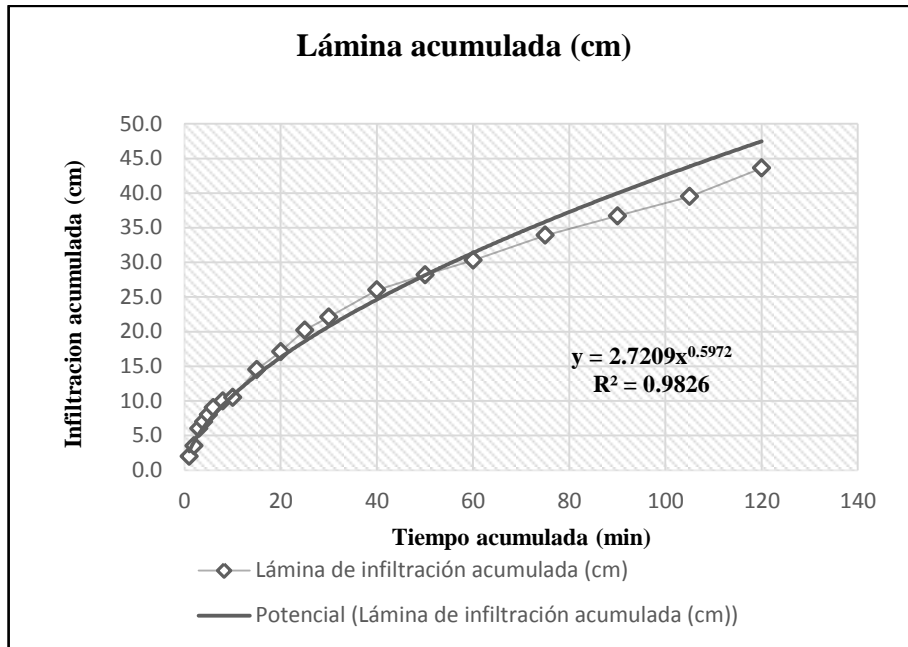
Los resultados obtenidos de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) experimental, calculada por el método directo a través de lisímetros de nivel freático. Los cinco tratamientos ha sido evaluada durante los meses setiembre, octubre, noviembre y diciembre como se muestra en la **Tabla B.2.**



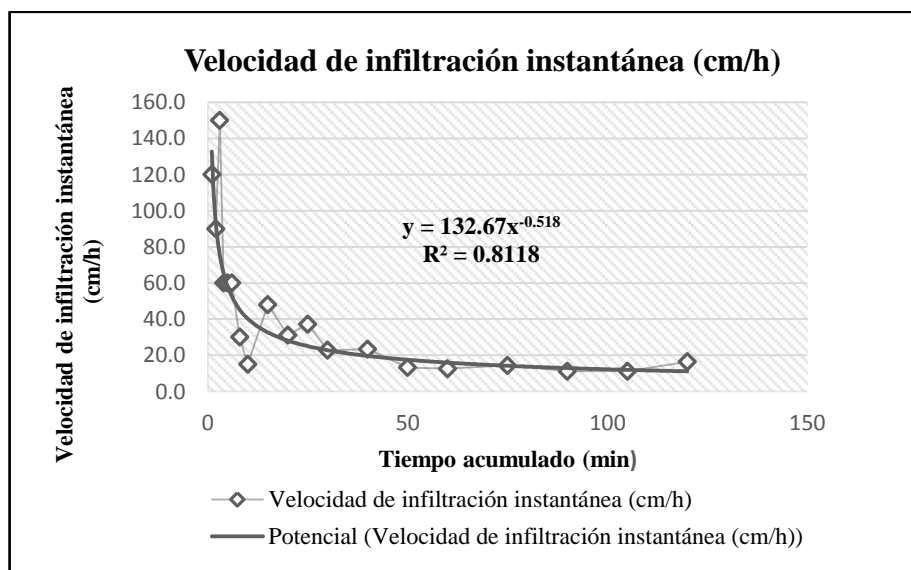
**ANEXO C**  
**PRUEBA DE INFILTRACIÓN**

**Tabla C.1.** Cálculo de la velocidad de infiltración (prueba N° 01)

<b>Prueba de infiltración</b>							
Método	: Cilindro infiltrómetro			Operador	: Rudy Ore Huarancay		
Fecha	: 14 de octubre del 2018			Prueba	: N° 01		
Lugar	: Fundo de la UNSCH - Allpachaca - Ayacucho						
Tiempo(min)		Lectura(cm)		Lámina infiltrada(cm)		Velocidad infiltrada(cm/hr)	
Parcial	Acumulado	Inicial	Cambio	Parcial	Acumulado	Instantanea	Promedio
0	0	30,0	-	-	-	-	-
1	1	28,0	-	2,0	2,0	120,0	120,00
1	2	26,5	-	1,5	3,5	90,0	105,00
1	3	24,0	-	2,5	6,0	150,0	120,00
1	4	23,0	-	1,0	7,0	60,0	105,00
1	5	22,0	-	1,0	8,0	60,0	96,00
1	6	21,0	-	1,0	9,0	60,0	90,00
2	8	20,0	-	1,0	10,0	30,0	75,00
2	10	19,5	-	0,5	10,5	15,0	63,00
5	15	15,5	30	4,0	14,5	48,0	58,00
5	20	27,4	-	2,6	17,1	31,2	51,30
5	25	24,3	-	3,1	20,2	37,2	48,48
5	30	22,4	-	1,9	22,1	22,8	44,20
10	40	18,5	-	3,9	26,0	23,4	39,00
10	50	16,3	-	2,2	28,2	13,2	33,84
10	60	14,2	-	2,1	30,3	12,6	30,30
15	75	10,6	30	3,6	33,9	14,4	27,12
15	90	27,2	-	2,8	36,7	11,2	24,47
15	105	24,4	-	2,8	39,5	11,2	22,57
15	120	20,3	-	4,1	43,6	16,4	21,80



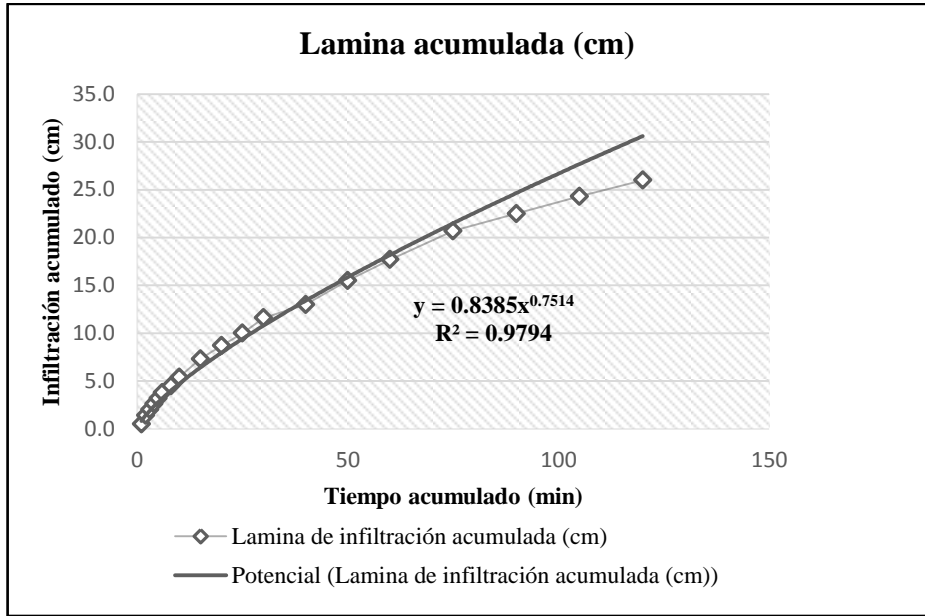
**Figura C.1.** Curva de lámina acumulada (prueba N° 01)



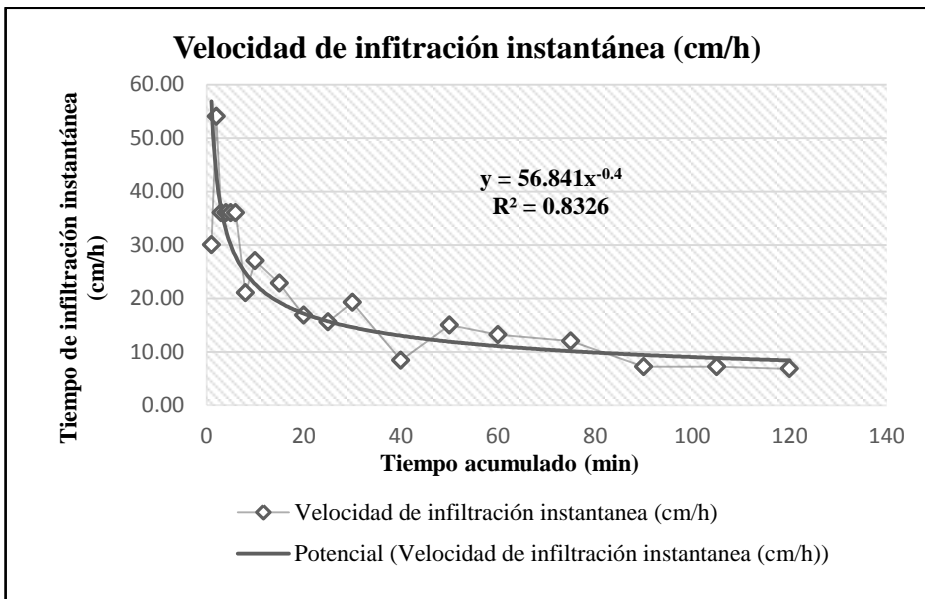
**Figura C.2.** Curva de velocidad de infiltración instantánea (prueba N° 01)

**Tabla C.2.** Cálculo de la velocidad de infiltración (prueba N° 02)

<b>Prueba de infiltración</b>							
Método		: Cilindro infiltrómetro		Operador		: Rudy Ore Huarancay	
Fecha		: 14 de octubre del 2018		Prueba		: N° 02	
Lugar		: Fundo de la UNSCH - Allpachaca - Ayacucho					
Tiempo(min)		Lectura(cm)		Lámina infiltrada(cm)		Velocidad infiltrada(cm/hr)	
Parcial	Acumulado	Inicial	Cambio	Parcial	Acumulado	Instantánea	Promedio
0	0	30,0	-	-	-	-	-
1	1	29,5	-	0,5	0,5	30,00	30,00
1	2	28,6	-	0,9	1,4	54,00	42,00
1	3	28,0	-	0,6	2,0	36,00	40,00
1	4	27,4	-	0,6	2,6	36,00	39,00
1	5	26,8	-	0,6	3,2	36,00	38,40
1	6	26,2	-	0,6	3,8	36,00	38,00
2	8	25,5	-	0,7	4,5	21,00	33,75
2	10	24,6	-	0,9	5,4	27,00	32,40
5	15	22,7	-	1,9	7,3	22,80	29,20
5	20	21,3	-	1,4	8,7	16,80	26,10
5	25	20,0	-	1,3	10,0	15,60	24,00
5	30	18,4	-	1,6	11,6	19,20	23,20
10	40	17,0	30	1,4	13,0	8,40	19,50
10	50	27,5	-	2,5	15,5	15,00	18,60
10	60	25,3	-	2,2	17,7	13,20	17,70
15	75	22,3	-	3,0	20,7	12,00	16,56
15	90	20,5	-	1,8	22,5	7,20	15,00
15	105	18,7	-	1,8	24,3	7,20	13,89
15	120	17,0	-	1,7	26,0	6,80	13,00



**Figura C.3.** Curva de lámina acumulada (prueba N° 02)



**Figura C.4.** Curva de velocidad de infiltración instantánea (prueba N° 02)

**Tabla C.3.** Lámina infiltrada acumulada, velocidad de infiltración instantánea y la velocidad de infiltración básica

<b>N° Prueba</b>	<b>Lámina infiltrada acumulada(cm.min<sup>-1</sup>)</b>	<b>Velocidad de infiltración instantánea(cm.hr<sup>-1</sup>)</b>	<b>Tiempo de infiltración(min)</b>	<b>Velocidad de infiltración básica(mm.hr<sup>-1</sup>)</b>
<b>1</b>	<b><math>I_{ac} = 2,721 T_0^{0.597}</math></b>	<b><math>I = 132,70 T_0^{-0.518}</math></b>	<b>310,8</b>	<b>6,79</b>
<b>2</b>	<b><math>I_{ac} = 0,839 T_0^{0.751}</math></b>	<b><math>I = 56,80 T_0^{-0.400}</math></b>	<b>240,0</b>	<b>6,35</b>
<b>Media</b>	<b><math>I_{ac} = 0,920 T_0^{0.49}</math></b>	<b><math>I = 47,81 T_0^{-0.71}</math></b>	<b>275,4</b>	<b>6,57</b>

**ANEXO D**

**TABLAS PARA EL CÁLCULO POR  
MÉTODO INDIRECTO DE LA  
EVAPOTRANSPIRACIÓN DE  
REFERENCIA (ETo)**

**Tabla D.1.** Factor mensual de evapotranspiración para diferentes latitudes, para determinar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) por método indirecto en función a porcentajes de horas de sol posibles, radiación extraterrestre y temperatura

Coeficiente mensual de evapotranspiración (MF)												
(Factor de latitud mensual)												
Latitud °S	M e s e s											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1	2,788	2,177	2,354	2,197	2,137	1,900	2,091	2,216	2,256	2,358	2,234	2,265
2	2,371	2,136	2,357	2,182	2,108	1,956	2,050	2,194	2,251	2,372	2,263	2,301
3	2,393	2,154	2,360	2,167	2,079	1,922	2,026	2,172	2,246	2,386	2,290	2,337
4	2,385	2,172	2,362	2,151	2,050	1,888	1,993	2,150	2,240	2,398	2,318	2,372
5	2,416	2,189	2,363	2,134	2,020	1,854	1,960	2,126	2,234	2,411	2,345	2,407
6	2,447	2,205	2,363	2,117	1,980	1,820	1,976	2,103	2,226	2,422	2,371	2,442
7	2,478	2,221	2,363	2,099	1,959	1,785	1,893	2,078	2,218	2,433	2,397	2,476
8	2,508	2,237	2,362	2,081	1,927	1,750	1,858	2,054	2,210	2,443	2,423	2,510
9	2,538	2,251	2,360	2,062	1,896	1,715	1,824	2,028	2,201	2,453	2,448	2,544
10	2,567	2,266	2,357	2,043	1,864	1,679	1,789	2,003	2,191	2,462	2,473	2,577
11	2,596	2,279	2,354	2,023	1,832	1,644	1,754	1,976	2,180	2,470	2,497	2,610
12	2,625	2,292	2,350	2,002	1,799	1,608	1,719	1,950	2,169	2,477	2,520	2,643
13	2,652	2,305	2,345	1,981	1,767	1,572	1,684	1,922	2,157	2,484	2,543	2,675
14	2,680	2,317	2,340	1,959	1,733	1,536	1,648	1,895	2,144	2,490	2,566	2,706
15	2,707	2,238	2,334	1,937	1,700	1,500	1,612	1,867	2,131	1,496	2,588	2,738
16	2,734	2,339	2,327	1,914	1,666	1,464	1,576	1,838	2,117	2,500	2,610	2,678
17	2,760	2,349	2,319	1,891	1,632	1,427	1,540	1,809	2,103	2,504	2,631	2,799
18	2,785	2,359	2,314	1,867	1,598	1,391	1,504	1,780	2,088	2,508	2,651	2,830
19	2,811	2,368	2,302	1,843	1,564	1,354	1,467	1,750	2,072	2,510	2,671	2,859
20	2,835	2,377	2,293	1,818	1,329	1,318	1,431	1,719	2,056	2,512	2,691	2,889

Fuente: FAO, Riego y drenaje tomo 24

**Tabla D.2.** Horas sol máximo media diaria para diferentes latitudes, para determinar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) por método indirecto en función a porcentajes de horas de sol posibles, radiación extraterrestre y temperatura

Horas de sol máxima media diaria (N)												
Latitud °S	M E S E S											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep	Oct.	Nov.	Dic.
<b>0</b>	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
<b>5</b>	12,3	12,3	12,1	12,0	11,9	11,8	11,8	11,9	12,0	12,2	12,3	12,4
<b>10</b>	12,6	12,4	12,1	11,8	11,6	11,5	11,6	11,8	12,0	12,3	12,6	12,7
<b>15</b>	12,9	12,6	12,2	11,8	11,4	11,2	11,3	11,6	12,0	12,5	12,8	13,0
<b>20</b>	13,2	12,8	12,3	11,7	11,2	10,9	11,0	11,5	12,0	12,6	13,1	13,3
<b>25</b>	13,5	13,0	12,3	11,6	10,9	10,6	10,7	11,3	12,0	12,7	13,3	13,7
<b>30</b>	13,9	13,2	12,4	11,5	10,6	10,2	10,4	11,1	12,0	12,9	13,6	14,0
<b>35</b>	14,3	13,5	12,4	11,3	10,3	9,8	10,1	11,0	11,9	13,1	14,0	14,5
<b>40</b>	14,7	13,7	12,5	11,2	10,2	9,3	9,6	10,7	11,9	13,3	14,4	15,0
<b>42</b>	14,9	13,9	12,9	11,1	9,8	9,1	9,4	10,6	11,9	13,4	14,6	15,2
<b>44</b>	15,2	14,0	12,6	11,0	9,7	8,9	9,3	10,5	11,9	13,4	14,7	15,4
<b>46</b>	15,4	12,6	12,6	10,9	9,5	8,7	9,1	10,4	11,9	13,5	14,9	15,7
<b>48</b>	15,6	14,3	12,6	10,9	9,3	8,3	8,8	10,2	11,8	13,6	15,2	16,0

Fuente: FAO. Riego y drenaje tomo 24

**Tabla D.3.** Radiación extraterrestre para diferentes latitudes, para determinar la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) por método indirecto en función a humedad relativa y temperatura

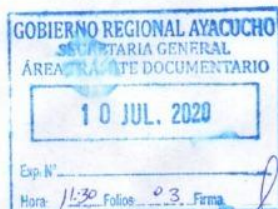
Radiación extraterrestre (Ra)												
Expresada en equivalente de evaporación en mm/LIA												
Hemisferio sur												
Latitud °S	M e s e s											
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
0	15,0	15,5	15,7	15,3	14,4	13,9	14,1	14,8	15,3	15,4	15,1	14,8
2	15,3	15,7	15,7	15,1	14,1	13,5	13,7	14,5	15,2	15,5	15,3	15,1
4	15,5	15,8	15,6	14,9	13,8	13,2	13,4	14,3	15,1	15,6	15,5	15,4
6	15,8	16,0	15,6	14,7	13,4	12,8	13,1	14,0	15,0	15,7	15,8	15,7
8	16,1	16,1	15,6	14,4	13,1	12,4	12,7	13,7	14,9	15,8	16,0	16,0
10	16,4	16,3	15,5	14,2	12,8	12,0	12,4	13,5	14,8	15,9	16,2	16,2
12	16,6	16,3	15,4	14,0	12,5	11,6	12,0	13,2	14,7	15,8	16,4	16,5
14	16,7	16,4	15,3	13,7	12,1	11,2	11,6	12,9	14,5	15,8	16,5	16,6
16	16,9	16,4	15,2	13,5	11,7	10,8	11,2	12,6	14,3	15,8	16,7	16,8
18	17,1	16,5	15,1	13,2	11,4	10,4	10,8	12,3	14,1	15,8	16,8	17,1
20	17,3	16,5	15,0	13,0	11,0	10,0	10,4	12,0	13,9	15,8	17,0	17,4
22	17,4	16,5	14,8	12,6	10,6	9,6	10,0	11,6	13,7	15,7	17,0	17,5
24	17,5	16,5	14,6	12,3	10,2	9,1	9,5	11,2	13,4	15,6	17,1	17,7
26	17,6	16,4	14,4	12,0	9,7	8,7	9,1	10,9	13,2	15,5	17,2	17,8
28	17,7	16,4	14,3	11,6	9,3	8,2	8,6	10,4	13,0	15,4	17,2	17,9
30	17,8	16,4	14,0	11,3	8,9	7,8	8,1	10,1	12,7	15,3	17,3	18,1
32	17,8	16,2	13,8	10,9	8,5	7,3	7,7	9,6	12,4	15,1	17,2	18,1
34	17,8	16,1	13,5	10,5	8,0	6,8	7,2	9,2	12,0	14,9	17,1	18,2
36	17,9	16,0	13,2	10,1	7,5	6,3	6,8	8,8	11,7	14,6	17,0	18,2
38	17,9	15,8	12,8	9,6	7,1	5,8	6,3	8,3	11,4	14,4	17,0	18,3
40	17,9	15,7	12,5	9,2	6,6	5,3	5,9	7,9	11,0	14,2	16,9	18,3
42	17,8	15,5	12,2	8,8	6,1	4,9	5,4	7,4	10,6	14,0	16,8	18,3
44	17,8	15,3	11,9	8,4	5,7	4,4	4,9	6,9	10,2	13,7	16,7	18,3
46	17,7	15,1	11,5	7,9	5,2	4,0	4,4	6,5	9,7	13,4	16,7	18,3
48	17,6	14,9	11,2	7,5	4,7	3,5	4,0	6,0	9,3	13,2	16,6	18,2

**50** 17,5 14,7 10,9 7,0 4,2 3,1 3,5 5,5 8,9 12,9 16,5 18,2

**Fuente:** FAO. Riego y drenaje tomo 24

---

**ANEXO E**  
**SOLICITUD PRESENTADA A**  
**OPEMAN - AYACUCHO**



**SOLICITO: DATOS METEOROLÓGICOS DE LA ESTACIÓN DE ALLPACHACA**

**A LA GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA – OPEMAN – PROYECTO ESPECIAL “RIO CACHI” - GORE - AYACUCHO**

Yo, Rudy ORE HUARANCCAY, identificado con DNI N.º 45087253 con domicilio en Jr. UNSCH N.º 215 Barrio Belén, del distrito de Ayacucho; Bachiller en Ingeniería Agrícola de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrícola – UNSCH, ante Ud. Con el debido respeto me presento y expongo:

Que, estando en la necesidad de determinar el requerimiento hídrico de pastos naturales alto andinas, con fines de una investigación a nivel de Tesis titulada: “Evapotranspiración y programación de riego en cinco especies de pastos naturales alto andinas, Allpacha-Ayacucho-2018”. Requiero **datos meteorológicos de precipitación, velocidad del viento, temperatura (mínima, máxima y promedio), radiación solar, porcentaje de humedad y evaporación** de la estación de Allpachaca del Proyecto Especial Rio Cachi.

Acudo a su despacho, solicitando la expedición del **documento virtual que contiene datos meteorológicos mensuales y anuales** de la estación de Allpachaca de año 2000 hasta 2019.

**POR LO EXPUESTO:**

Ruego a Ud. Sírvasse acceder a mi petición por ser justa.

Adjunto:

- 1.- Resolución de la aprobación de proyecto de tesis.
- 2.- Copia de DNI.

Ayacucho, 10 de julio del 2020

  
.....  
ORE HUARANCCAY, Rudy  
DNI: 45087253



**ANEXO F**  
**DATOS METEOROLÓGICOS**

**Tabla F.1.** Registro de precipitaciones mensual (mm), de la estación meteorológica del Centro Poblado de Allpachaca

Registro de precipitaciones mensual (mm)													
Estación :Allpachaca				Distrito : Chiara				Altitud : 3550 msnm					
Código : 008				Provincia : Huamanga				Latitud : 13°23'19"S					
OPEMAN - Ayacucho				Departamento : Ayacucho				Longitud : 74°16'00"S					
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
1992	220,50	151,60	117,20	34,00	21,23	20,80	23,40	1,30	28,83	144,90	14,50	181,20	<b>959,46</b>
1993	220,20	112,20	212,50	53,40	30,00	3,90	13,00	20,80	22,10	106,40	79,40	186,50	<b>1060,40</b>
1994	71,70	109,20	156,30	86,50	48,20	1,30	14,56	3,90	32,50	17,50	71,60	70,50	<b>683,76</b>
1995	132,10	182,20	185,20	62,00	15,00	4,00	8,50	1,30	24,00	48,80	109,20	75,00	<b>847,30</b>
1996	208,90	215,50	206,40	46,90	9,30	1,80	3,60	15,20	18,70	76,40	60,70	107,20	<b>970,60</b>
1997	157,60	114,50	105,40	41,20	15,90	10,83	2,50	59,00	41,90	25,40	71,30	144,50	<b>790,03</b>
1998	156,50	106,00	149,40	27,50	1,30	6,40	14,56	11,50	8,90	42,70	48,30	118,20	<b>691,26</b>
1999	182,60	147,10	134,80	73,20	16,70	4,10	5,80	17,10	38,30	60,30	60,10	69,40	<b>809,50</b>
2000	172,90	256,30	130,60	62,10	53,60	9,80	21,90	30,10	10,70	73,50	42,50	82,50	<b>946,50</b>
2001	180,60	108,00	190,10	22,10	45,90	5,00	15,70	20,80	23,20	19,10	89,90	71,20	<b>791,60</b>
2002	79,30	92,52	195,30	32,20	14,50	3,70	49,00	14,60	50,70	55,50	86,93	159,60	<b>833,85</b>
2003	124,20	141,50	176,00	55,30	20,20	10,83	2,00	23,60	23,60	17,40	31,10	156,30	<b>782,03</b>
2004	95,40	176,50	123,50	36,80	7,20	36,30	37,70	12,90	142,00	11,90	51,40	183,70	<b>915,30</b>
2005	108,50	72,30	178,20	22,00	5,90	10,83	13,40	24,10	40,80	50,00	34,00	155,92	<b>715,95</b>
2006	138,00	115,60	118,70	72,30	21,23	5,40	14,56	32,10	13,50	85,40	124,20	113,40	<b>854,39</b>
2007	95,80	132,40	226,60	46,40	23,20	10,83	6,90	17,10	11,10	50,80	30,60	149,90	<b>801,63</b>
2008	140,00	173,60	132,30	15,00	30,70	8,20	1,40	1,50	31,10	64,70	39,30	76,50	<b>714,30</b>
2009	130,40	215,40	91,50	90,40	12,00	7,94	18,20	9,20	2,60	57,10	120,10	113,20	<b>868,04</b>
2010	255,00	148,10	108,30	39,00	15,50	0,40	5,90	8,00	25,30	31,90	16,00	136,90	<b>790,30</b>
2011	249,60	279,10	155,00	132,00	14,40	10,83	15,20	2,20	30,00	31,70	74,90	96,40	<b>1091,33</b>
2012	113,30	195,40	119,40	124,90	3,00	13,30	3,20	17,10	10,60	58,70	46,30	212,20	<b>917,40</b>
2013	123,20	113,50	112,30	21,50	42,10	51,80	29,30	32,80	3,80	62,20	52,30	162,30	<b>807,10</b>
2014	126,38	142,44	164,24	17,92	13,04	3,76	3,22	8,22	15,16	38,38	28,58	104,16	<b>665,50</b>
2015	141,80	175,10	127,80	37,40	15,20	2,70	5,10	5,60	13,40	36,10	29,50	100,40	<b>690,10</b>
2016	152,80	127,20	107,10	38,20	7,80	2,60	7,20	7,80	17,00	34,30	37,60	78,30	<b>617,90</b>
2017	145,70	133,10	170,30	59,40	8,20	5,60	8,10	6,70	15,80	32,40	37,30	109,60	<b>732,20</b>
2018	133,80	128,14	175,84	45,34	15,58	4,72	4,24	8,86	13,72	44,14	32,72	108,90	<b>716,00</b>
2019	123,80	148,90	117,30	56,20	23,00	6,20	2,35	0,00	16,10	70,00	107,30	202,10	<b>873,25</b>
N° Dat.	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	<b>336,00</b>
Med.	149,31	150,48	149,56	51,83	19,64	9,42	12,52	14,76	25,91	51,70	58,13	125,93	<b>819,18</b>
Desv.	47,52	48,37	37,15	29,26	13,62	10,92	11,41	12,87	25,65	28,81	31,05	43,19	<b>339,81</b>
C. V.	0,32	0,32	0,25	0,56	0,69	1,16	0,91	0,87	0,99	0,56	0,53	0,34	<b>7,51</b>
PPmax	255,00	279,10	226,60	132,00	53,60	51,80	49,00	59,00	142,00	144,90	124,20	212,20	<b>1729,40</b>
PPmin	71,70	72,30	91,50	15,00	1,30	0,40	1,40	0,00	2,60	11,90	14,50	69,40	<b>352,00</b>

Fuente: Estación meteorológica Allpachaca - OPEMAN y Arone, (2016) – Tesis

**Tabla F.2.** Registro de temperatura mínima mensual (°C), de la estación meteorológica del Centro Poblado de Allpachaca

Registro de temperatura mínima mensual ( °C )													
Estación : Allpachaca				Distrito : Chiara				Altitud : 3550 msnm					
Codigo : 008				Provincia : Huamanga				Latitud : 13°23'19"S					
OPEMAN - Ayacucho				Departamento : Ayacucho				Longitud : 74°16'00"S					
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
1995	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-4,00	-3,40	-2,60	-3,00	-0,40	0,40	-1,20	<b>-1,18</b>
1996	1,20	2,60	2,80	0,80	-2,00	-7,60	-6,00	-3,60	-2,40	-1,40	-1,20	0,20	<b>-1,38</b>
1997	1,20	2,60	2,80	0,80	-2,00	-7,60	-6,00	-3,60	-2,40	-1,40	-1,20	0,20	<b>-1,38</b>
1998	4,20	3,40	2,20	-0,20	-3,80	-4,00	-8,60	-6,40	-3,20	0,00	-2,80	1,20	<b>-1,50</b>
1999	1,20	1,40	1,20	-0,80	-6,20	-5,60	-5,40	-4,20	-4,40	-1,20	-0,80	1,40	<b>-1,95</b>
2000	3,00	1,40	1,00	-0,40	-2,00	-4,50	-3,60	-3,20	-2,60	-0,20	-3,20	0,40	<b>-1,16</b>
2001	2,40	1,60	2,20	-3,40	-5,40	-5,20	-4,40	-7,00	-2,40	4,20	-0,40	-2,00	<b>-1,65</b>
2002	-1,00	1,00	0,00	2,60	-3,40	-5,20	-5,80	-4,80	-2,80	-3,00	-0,20	0,00	<b>-1,88</b>
2003	-1,40	1,20	0,40	-3,20	-4,40	-5,20	-7,00	-6,40	-5,00	-3,40	-4,40	0,00	<b>-3,23</b>
2004	0,00	-1,40	-0,80	-4,60	-7,40	1,40	0,20	0,20	0,20	0,00	0,00	0,00	<b>-1,02</b>
2005	0,00	0,20	-1,00	-5,60	-7,00	-7,00	-7,00	-4,80	-3,40	-1,20	-1,40	0,40	<b>-3,15</b>
2006	-2,80	-1,60	2,40	2,20	-1,80	-4,20	-7,40	-2,00	-5,40	2,80	4,00	4,00	<b>-0,82</b>
2007	4,40	-4,00	4,00	0,60	-3,00	-4,40	-5,20	-4,00	-3,60	0,20	-5,40	-6,20	<b>-2,22</b>
2008	0,20	1,00	0,20	0,20	2,00	0,00	1,00	-9,00	-7,60	-6,80	-5,60	-5,60	<b>-2,50</b>
2009	0,00	2,20	1,60	-4,00	-4,00	-6,00	-5,60	-6,60	-4,00	-2,20	-1,80	-0,40	<b>-2,57</b>
2010	-0,20	1,60	-0,60	-3,40	-4,40	-5,40	-7,20	-6,80	-4,80	-3,80	-3,80	-1,20	<b>-3,33</b>
2011	1,80	-1,50	2,00	0,20	-4,00	-4,00	-5,40	-3,80	-6,00	-0,40	-2,40	-2,00	<b>-2,13</b>
2012	2,00	1,00	1,80	0,60	-3,40	-6,80	-5,50	-4,80	-5,40	-1,40	-3,20	1,00	<b>-2,01</b>
2013	3,00	1,70	2,00	0,50	-2,20	-4,10	-4,20	-3,60	-3,00	0,20	-3,30	0,20	<b>-1,07</b>
2014	3,50	-1,20	1,20	-3,10	-4,50	-3,80	-2,90	-7,00	-1,80	-2,30	-0,80	0,00	<b>-1,89</b>
2015	-2,60	1,50	1,20	-0,60	-1,60	-4,00	-4,20	-4,80	-0,80	-0,60	1,60	0,30	<b>-1,22</b>
2016	1,00	1,60	1,80	-2,00	-3,20	-4,20	-6,20	-4,20	-4,50	-2,90	-2,80	0,40	<b>-2,10</b>
2017	0,00	1,00	1,80	-1,00	-5,00	-6,30	-6,60	-6,60	-2,20	-0,20	-0,60	-0,60	<b>-2,19</b>
2018	1,00	1,60	1,50	-3,40	-6,20	-6,80	-4,20	-5,20	-3,20	-2,00	-2,80	-0,80	<b>-2,54</b>
2019	-0,60	1,20	1,30	0,00	0,00	-6,00	-8,40	-5,80	-5,00	-2,80	-1,20	-1,00	<b>-2,36</b>
N° Dat.	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	<b>25,00</b>
Med.	0,86	0,80	1,32	-1,09	-3,40	-4,82	-5,16	-4,82	-3,55	-1,21	-1,73	-0,45	<b>-1,94</b>
Desv.	1,89	1,64	1,21	2,18	2,24	2,06	2,28	1,95	1,70	2,14	2,14	2,03	<b>1,96</b>
CV	2,20	2,03	0,92	-2,00	-0,66	-0,43	-0,44	-0,40	-0,48	-1,77	-1,24	-4,49	<b>-0,56</b>
T°max	4,40	3,40	4,00	2,60	2,00	1,40	1,00	0,20	0,20	4,20	4,00	4,00	<b>2,62</b>
T°min	-2,80	-4,00	-1,00	-5,60	-7,40	-7,60	-8,60	-9,00	-7,60	-6,80	-5,60	-6,20	<b>-6,02</b>

Fuente: Estación meteorológica Allpachaca - OPEMAN y Arone, (2016) - Tesis

**Tabla F.3.** Registro de temperatura máxima mensual (°C), de la estación meteorológica del Centro Poblado de Allpachaca

Registro de temperatura máxima mensual ( °C )													
Estación : Allpachaca				Distrito : Chiara				Altitud : 3550 msnm					
Código : 008				Provincia : Huamanga				Latitud : 13°23'19"S					
OPEMAN - Ayacucho				Departamento : Ayacucho				Longitud : 74°16'00"S					
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
1995	21,00	21,50	23,50	22,50	24,50	23,50	23,00	22,79	22,90	23,60	24,06	23,18	<b>23,00</b>
1996	21,00	20,00	21,00	19,50	20,50	19,00	20,50	21,00	22,50	23,50	23,00	22,50	<b>21,17</b>
1997	23,50	20,00	20,50	21,50	21,00	21,50	21,50	20,50	22,00	26,00	23,80	24,40	<b>22,18</b>
1998	21,00	22,00	21,00	22,50	23,50	21,20	22,00	23,00	24,00	24,50	25,00	24,50	<b>22,85</b>
1999	22,50	19,50	20,00	19,50	21,00	20,00	19,50	21,00	22,50	21,00	24,00	21,50	<b>21,00</b>
2000	20,50	20,00	19,50	19,50	20,00	19,50	18,50	22,50	23,50	23,00	24,50	23,00	<b>21,17</b>
2001	18,00	19,50	19,00	21,00	21,50	20,00	20,50	20,50	22,00	25,50	25,00	29,00	<b>21,79</b>
2002	25,00	19,50	20,50	20,00	19,60	20,50	19,50	20,00	23,50	23,00	22,50	12,70	<b>20,53</b>
2003	22,50	20,50	19,50	20,50	21,00	21,50	20,00	20,00	23,50	24,00	24,50	22,00	<b>21,63</b>
2004	22,20	20,50	20,50	20,50	21,60	19,50	20,50	20,00	22,00	21,50	20,50	20,00	<b>20,78</b>
2005	21,00	21,50	20,50	21,50	22,20	21,50	22,50	23,50	25,00	24,00	24,00	23,60	<b>22,57</b>
2006	21,00	20,50	20,50	21,50	20,50	20,50	21,50	23,00	22,00	23,10	22,00	23,10	<b>21,60</b>
2007	23,00	23,00	23,20	21,00	20,50	22,50	20,50	21,00	23,00	23,50	26,50	24,50	<b>22,68</b>
2008	19,50	19,50	21,50	21,50	22,00	27,00	15,50	22,00	18,00	18,50	23,00	24,00	<b>21,00</b>
2009	21,00	20,00	20,00	19,50	20,00	20,00	20,00	22,00	23,00	24,00	25,50	23,50	<b>21,54</b>
2010	22,00	22,00	21,00	20,00	20,50	21,00	20,50	21,50	23,00	23,50	23,00	21,50	<b>21,63</b>
2011	19,20	19,70	17,80	19,00	19,20	23,40	17,70	21,00	21,60	21,20	23,50	22,10	<b>20,45</b>
2012	23,60	20,00	19,60	19,10	18,80	19,50	18,70	18,80	22,40	22,00	22,90	22,80	<b>20,68</b>
2013	22,20	19,10	19,20	19,00	20,10	20,20	21,60	18,80	22,00	23,40	23,80	22,00	<b>20,95</b>
2014	21,80	19,70	20,00	20,60	20,40	19,20	19,50	19,60	21,30	22,00	22,40	20,70	<b>20,60</b>
2015	22,40	21,30	20,20	20,40	22,40	20,60	21,40	22,40	22,20	23,00	23,60	23,60	<b>21,96</b>
2016	21,00	20,60	20,00	20,20	20,00	19,60	18,60	20,60	21,80	22,20	21,60	22,00	<b>20,68</b>
2017	21,60	20,80	20,00	18,80	19,60	19,60	20,20	22,40	19,40	22,00	23,80	24,40	<b>21,05</b>
2018	18,60	19,40	19,60	21,00	21,20	19,20	20,60	26,10	21,80	22,60	22,40	22,80	<b>21,28</b>
2019	20,20	21,60	19,00	19,20	19,80	20,60	23,20	23,40	25,00	23,60	22,60	23,20	<b>21,78</b>
N° Dat.	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	<b>25,00</b>
Med.	21,41	20,47	20,28	20,37	20,86	20,82	20,30	21,50	22,40	22,97	23,50	22,66	<b>21,46</b>
Desv.	1,60	1,01	1,21	1,08	1,32	1,78	1,71	1,67	1,48	1,52	1,30	2,68	<b>1,53</b>
CV	0,07	0,05	0,06	0,05	0,06	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,12	<b>0,07</b>
T°max	25,00	23,00	23,50	22,50	24,50	27,00	23,20	26,10	25,00	26,00	26,50	29,00	<b>25,11</b>
T°min	18,00	19,10	17,80	18,80	18,80	19,00	15,50	18,80	18,00	18,50	20,50	12,70	<b>17,96</b>

Fuente: Estación meteorológica Allpachaca - OPEMAN y Arone, (2016) - Tesis

**Tabla F.4.** Registro de temperatura media mensual (°C), de la estación meteorológica del Centro Poblado de Allpachaca

Registro de temperatura media mensual ( °C )													
Estación : Allpachaca				Distrito : Chiara				Altitud : 3550 msnm					
Código : 008				Provincia : Huamanga				Latitud : 13°23'19"S					
OPEMAN - Ayacucho				Departamento : Ayacucho				Longitud : 74°16'00"S					
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
1995	8,50	9,05	10,45	9,75	12,05	11,95	10,90	10,38	11,02	10,12	11,23	11,65	<b>10,59</b>
1996	11,10	11,30	11,90	10,15	9,25	5,70	7,25	8,70	10,05	11,05	10,90	11,35	<b>9,89</b>
1997	12,35	11,30	11,65	11,15	9,50	6,95	7,75	8,45	9,80	12,30	11,30	12,30	<b>10,40</b>
1998	12,60	12,70	11,60	11,15	9,85	8,60	6,70	8,30	10,40	12,25	11,10	12,85	<b>10,68</b>
1999	11,85	10,45	10,60	9,35	7,40	7,20	7,05	8,40	9,05	9,90	11,60	11,45	<b>9,53</b>
2000	11,75	10,70	10,25	9,55	9,00	7,50	7,45	9,65	10,45	11,40	10,65	11,70	<b>10,00</b>
2001	10,20	10,55	10,60	8,80	8,05	7,40	8,05	6,75	9,80	14,85	12,30	13,50	<b>10,07</b>
2002	12,00	10,25	10,25	11,30	8,10	7,65	6,85	7,60	10,35	10,00	11,15	6,35	<b>9,32</b>
2003	10,55	10,85	9,95	8,65	8,30	8,15	6,50	6,80	9,25	10,30	10,05	11,00	<b>9,20</b>
2004	11,10	9,55	9,85	7,95	7,10	10,45	10,35	10,10	11,10	10,75	10,25	10,00	<b>9,88</b>
2005	10,50	10,85	9,75	7,95	7,60	7,25	7,75	9,35	10,80	11,40	11,30	12,00	<b>9,71</b>
2006	9,10	9,45	11,45	11,85	9,35	8,15	7,05	10,50	8,30	12,95	13,00	13,55	<b>10,39</b>
2007	13,70	9,50	13,60	10,80	8,75	9,05	7,65	8,50	9,70	11,85	10,55	9,15	<b>10,23</b>
2008	9,85	10,25	10,85	10,85	12,00	13,50	8,25	6,50	5,20	5,85	8,70	9,20	<b>9,25</b>
2009	10,50	11,10	10,80	7,75	8,00	7,00	7,20	7,70	9,50	10,90	11,85	11,55	<b>9,49</b>
2010	10,90	11,80	10,20	8,30	8,05	7,80	6,65	7,35	9,10	9,85	9,60	10,15	<b>9,15</b>
2011	11,55	10,75	10,60	10,50	7,65	8,55	7,35	9,40	9,05	11,15	10,90	11,00	<b>9,87</b>
2012	12,10	11,20	12,90	9,75	8,50	8,95	7,75	8,70	9,30	10,70	10,60	9,95	<b>10,03</b>
2013	11,60	11,75	11,00	10,50	8,45	8,00	7,70	8,30	9,75	11,75	10,20	11,95	<b>10,08</b>
2014	11,90	12,35	11,90	9,80	8,70	8,45	7,45	8,50	9,55	10,90	10,90	11,65	<b>10,17</b>
2015	11,70	11,45	11,50	10,50	8,10	7,30	8,60	8,60	9,50	11,50	11,40	12,00	<b>10,18</b>
2016	12,20	12,90	11,50	10,10	10,05	8,30	8,10	7,40	8,40	10,70	11,20	10,50	<b>10,11</b>
2017	11,40	11,20	11,90	10,00	9,40	8,90	7,30	8,90	8,40	11,40	10,00	11,50	<b>10,03</b>
2018	12,40	12,20	12,80	10,50	8,00	7,90	7,20	9,70	9,60	10,25	10,60	10,50	<b>10,14</b>
2019	11,70	13,10	12,50	10,60	9,70	7,70	7,40	10,40	11,10	11,80	11,40	10,25	<b>10,64</b>
N° Dat.	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	<b>25,00</b>
Med.	11,32	11,06	11,21	9,90	8,84	8,33	7,69	8,60	9,54	11,03	10,91	11,08	<b>9,96</b>
Desv.	1,14	1,08	1,03	1,13	1,24	1,62	1,02	1,16	1,21	1,54	0,87	1,51	<b>1,21</b>
CV	0,10	0,10	0,09	0,11	0,14	0,19	0,13	0,13	0,13	0,14	0,08	0,14	<b>0,12</b>
T°max	13,70	13,10	13,60	11,85	12,05	13,50	10,90	10,50	11,10	14,85	13,00	13,55	<b>12,64</b>
T°min	8,50	9,05	9,75	7,75	7,10	5,70	6,50	6,50	5,20	5,85	8,70	6,35	<b>7,25</b>

Fuente: Estación meteorológica Allpachaca - OPEMAN y Arone, (2016) - Tesis

**Tabla F.5.** Registro de humedad relativa mensual (%), de la estación meteorológica del Centro Poblado de Allpachaca

Registro de humedad relativa mensual (%)													
Estación : Allpachaca				Distrito : Chiara				Altitud : 3550 msnm					
Código : 008				Provincia : Huamanga				Latitud : 13°23'19"S					
OPEMAN - Ayacucho				Departamento : Ayacucho				Longitud : 74°16'00"S					
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Prom.
1995	75,80	78,60	75,00	65,70	64,70	61,20	60,30	65,90	61,80	70,20	70,60	68,16	<b>68,16</b>
1996	81,00	84,10	81,40	77,60	70,50	63,80	60,50	68,90	69,40	73,30	67,60	78,20	<b>73,03</b>
1997	79,90	82,30	83,80	76,30	72,30	62,00	63,50	73,30	69,50	72,40	77,00	81,60	<b>74,49</b>
1998	86,65	90,30	90,70	92,30	91,03	86,60	81,40	83,30	87,10	78,40	61,70	66,00	<b>82,96</b>
1999	68,77	75,70	74,60	76,60	67,60	65,20	62,50	53,30	53,00	64,30	54,00	65,80	<b>65,11</b>
2000	72,06	74,70	78,50	70,80	66,00	63,40	70,91	65,64	68,94	68,16	71,72	66,18	<b>69,75</b>
2001	78,70	75,80	78,60	75,00	65,70	64,70	61,20	60,30	65,90	71,80	60,20	70,60	<b>69,04</b>
2002	71,00	74,10	81,40	77,60	70,50	63,80	65,50	68,90	69,40	73,30	57,60	68,20	<b>70,11</b>
2003	79,90	82,30	73,80	76,30	72,30	62,00	63,50	63,30	69,50	72,40	67,00	61,60	<b>70,33</b>
2004	66,65	70,30	70,70	72,30	71,03	66,60	66,40	63,30	57,10	68,40	61,70	66,00	<b>66,71</b>
2005	68,77	75,70	74,60	76,60	67,60	65,20	62,50	53,30	63,00	64,30	64,00	65,80	<b>66,78</b>
2006	72,06	74,70	78,50	74,80	76,00	63,40	56,60	63,70	64,90	68,20	55,80	72,20	<b>68,41</b>
2007	66,22	78,50	71,20	76,50	74,50	56,32	52,22	63,50	67,80	69,10	61,40	72,40	<b>67,47</b>
2008	75,60	79,23	77,42	78,60	65,80	63,90	54,50	59,20	62,70	72,40	69,25	73,40	<b>69,33</b>
2009	68,20	77,80	82,90	76,20	72,40	58,00	66,40	60,32	62,24	65,28	65,50	71,00	<b>68,85</b>
2010	75,50	78,21	77,00	75,60	70,50	66,22	68,40	66,80	65,50	71,40	62,80	64,20	<b>70,18</b>
2011	77,22	75,54	81,40	76,20	60,40	62,60	60,20	65,50	67,20	63,00	58,50	55,00	<b>66,90</b>
2012	69,30	74,00	74,25	78,42	64,20	63,60	58,20	66,80	68,20	66,00	55,80	55,80	<b>66,21</b>
2013	76,40	75,60	82,20	76,50	73,20	66,60	54,80	66,20	65,60	65,80	62,30	70,10	<b>69,61</b>
2014	72,40	74,40	81,90	70,40	72,10	57,90	66,20	58,40	69,60	60,50	57,60	74,50	<b>67,99</b>
2015	76,91	81,80	81,20	75,80	60,20	59,50	56,90	67,90	57,40	67,60	60,30	72,70	<b>68,18</b>
2016	75,90	71,50	78,70	82,60	60,00	57,80	64,00	69,10	56,08	62,20	58,60	75,50	<b>67,67</b>
2017	78,20	84,10	69,50	77,60	73,60	63,20	60,60	55,30	67,90	66,80	55,60	67,00	<b>68,28</b>
2018	75,80	74,60	80,60	76,00	72,60	69,80	63,90	68,10	64,70	63,60	62,80	70,40	<b>70,24</b>
2019	75,70	76,96	78,31	70,94	72,20	88,55	65,13	66,14	63,58	60,56	64,16	68,58	<b>70,90</b>
N° Dat.	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	<b>25,00</b>
Med.	74,58	77,63	78,33	76,13	69,88	64,88	62,65	64,66	65,52	67,98	62,54	68,84	<b>69,47</b>
Desv.	4,98	4,49	4,74	4,73	6,35	7,53	5,99	6,38	6,47	4,52	5,66	6,05	<b>5,66</b>
CV	0,07	0,06	0,06	0,06	0,09	0,12	0,10	0,10	0,10	0,07	0,09	0,09	<b>0,08</b>
HRmax	86,65	90,30	90,70	92,30	91,03	88,55	81,40	83,30	87,10	78,40	77,00	81,60	<b>85,69</b>
HRmin	66,22	70,30	69,50	65,70	60,00	56,32	52,22	53,30	53,00	60,50	54,00	55,00	<b>59,67</b>

Fuente: Estación meteorológica Allpachaca - OPEMAN y Arone, (2016) - Tesis

**Tabla F.6.** Registro de horas sol mensual (Hr), de la estación meteorológica del Centro Poblado de Allpachaca

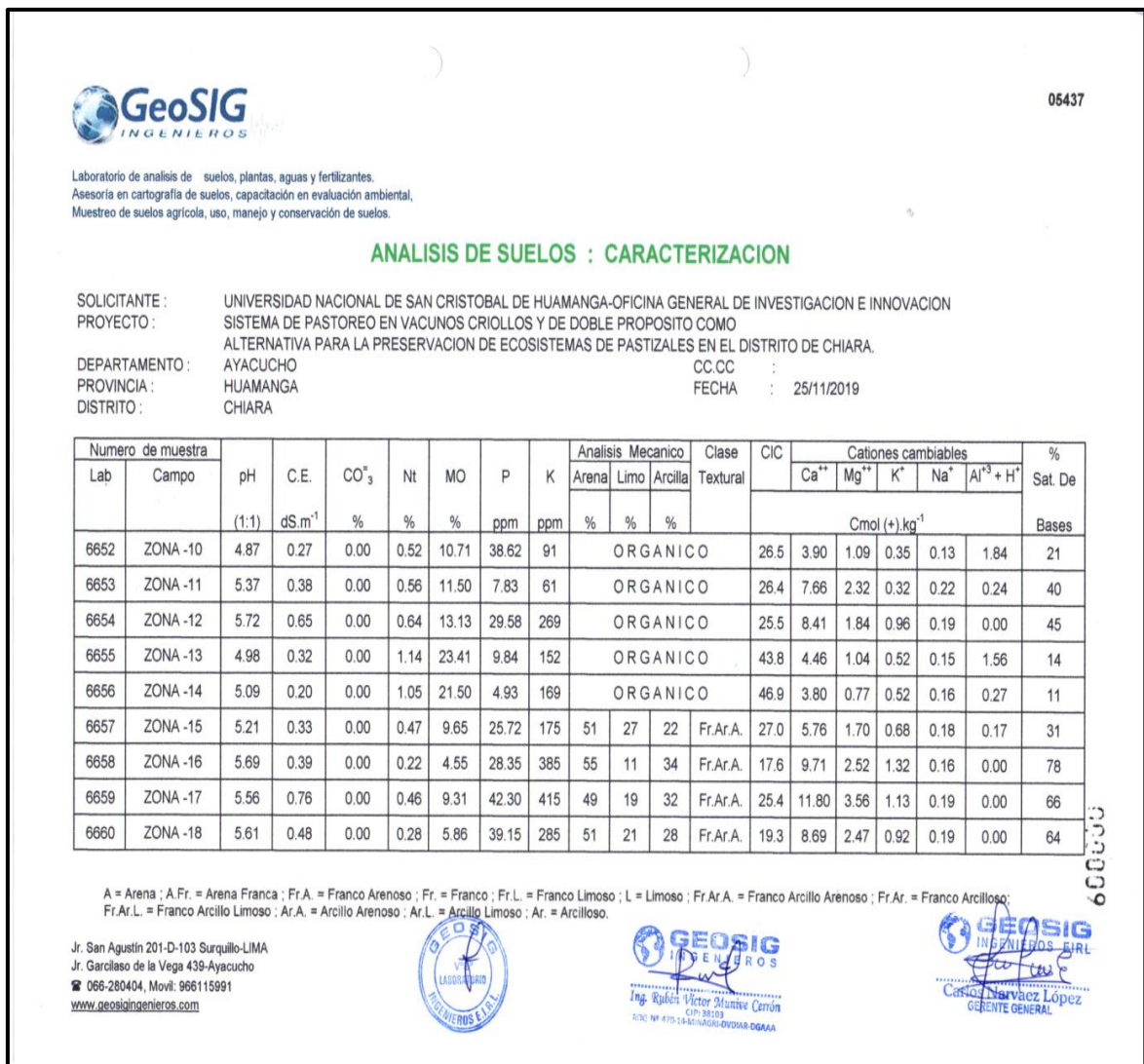
<b>Registro de horas sol mensual ( Hr )</b>													
Estación : Allpachaca				Distrito : Chiara				Altitud : 3550 msnm					
Código : 008				Provincia : Huamanga				Latitud : 13°23'19"S					
OPEMAN - Ayacucho				Departamento : Ayacucho				Longitud : 74°16'00"S					
<b>Año</b>	<b>Ene.</b>	<b>Feb.</b>	<b>Mar.</b>	<b>Abr.</b>	<b>May.</b>	<b>Jun.</b>	<b>Jul.</b>	<b>Ago.</b>	<b>Sep.</b>	<b>Oct.</b>	<b>Nov.</b>	<b>Dic.</b>	<b>Prom.</b>
<b>1992</b>	195,30	207,20	213,90	198,00	294,50	222,00	288,30	254,20	240,00	217,00	228,00	244,90	<b>233,61</b>
<b>1993</b>	127,10	154,00	173,60	159,00	241,80	273,00	260,40	248,00	195,00	207,70	126,00	124,00	<b>190,80</b>
<b>1994</b>	145,60	120,40	136,40	153,00	248,00	246,00	251,10	232,50	204,00	204,60	210,00	164,30	<b>192,99</b>
<b>1995</b>	194,06	118,44	131,13	188,70	253,27	218,70	253,89	257,30	157,80	226,30	187,50	163,99	<b>195,92</b>
<b>1996</b>	102,92	93,24	133,92	157,50	226,30	246,30	286,75	225,68	219,60	197,16	187,50	133,30	<b>184,18</b>
<b>1997</b>	101,99	117,32	132,06	190,50	195,92	188,70	225,99	163,99	128,70	164,30	157,80	164,30	<b>160,96</b>
<b>1998</b>	131,44	147,28	164,30	218,70	286,75	218,70	256,99	225,06	219,30	192,82	189,30	131,44	<b>198,51</b>
<b>1999</b>	132,37	91,00	102,30	129,90	193,44	248,70	196,23	256,37	219,30	192,82	189,30	131,44	<b>173,60</b>
<b>2000</b>	132,99	120,68	132,06	217,20	259,16	217,80	256,37	255,44	219,60	194,99	247,80	196,23	<b>204,19</b>
<b>2001</b>	138,20	119,00	164,30	219,00	225,68	217,20	254,82	257,92	188,40	225,37	219,90	131,75	<b>196,80</b>
<b>2002</b>	164,92	148,40	133,92	219,00	257,30	249,00	256,99	228,16	189,60	255,13	219,00	226,61	<b>212,34</b>
<b>2003</b>	163,37	63,84	103,23	157,80	225,06	246,30	224,75	257,61	187,20	197,16	189,60	164,30	<b>181,69</b>
<b>2004</b>	163,99	147,56	165,23	217,20	285,51	219,00	256,68	225,06	127,50	194,99	248,10	162,13	<b>201,08</b>
<b>2005</b>	224,44	8,12	38,44	188,70	258,85	248,40	255,75	255,75	217,80	163,99	218,10	101,37	<b>181,64</b>
<b>2006</b>	131,44	147,28	164,30	218,70	286,75	218,70	256,99	225,06	219,30	192,82	189,30	131,44	<b>198,51</b>
<b>2007</b>	132,37	91,00	102,30	129,90	193,44	248,70	196,23	256,37	219,30	192,82	189,30	131,44	<b>173,60</b>
<b>2008</b>	132,99	120,68	136,96	191,11	245,61	233,27	247,48	237,25	197,06	201,59	196,93	158,50	<b>191,62</b>
<b>2009</b>	151,90	120,40	170,50	213,10	259,31	243,00	255,72	269,74	199,62	198,70	198,30	167,42	<b>203,98</b>
<b>2010</b>	154,70	123,20	158,10	184,00	242,50	235,00	251,30	256,20	195,30	205,60	210,22	176,70	<b>199,40</b>
<b>2011</b>	155,62	131,60	140,90	178,60	245,90	236,00	245,90	236,62	216,22	203,25	204,00	173,60	<b>197,35</b>
<b>2012</b>	140,90	124,25	139,52	192,00	238,70	240,00	233,50	245,20	203,32	213,90	202,15	176,32	<b>195,81</b>
<b>2013</b>	164,80	142,10	163,40	188,40	244,40	247,80	244,80	247,12	209,30	224,82	208,40	144,70	<b>202,50</b>
<b>2014</b>	134,12	119,80	132,40	189,84	255,40	247,50	257,32	233,80	216,30	226,40	208,16	161,56	<b>198,55</b>
<b>2015</b>	132,80	126,40	162,10	187,80	247,10	239,00	255,40	244,84	217,80	210,12	215,10	163,10	<b>200,13</b>
<b>2016</b>	143,80	134,20	150,80	189,32	237,40	244,50	280,60	256,80	195,12	203,10	218,20	152,92	<b>200,56</b>
<b>2017</b>	163,10	128,40	131,80	196,80	245,90	238,40	272,60	246,16	209,00	215,80	207,20	164,40	<b>201,63</b>
<b>2018</b>	145,30	144,80	142,60	222,24	288,30	239,00	278,36	240,30	196,82	195,33	219,00	154,34	<b>205,53</b>
<b>2019</b>	163,30	148,40	133,30	201,00	269,70	246,00	275,90	246,60	216,00	205,20	204,24	163,60	<b>206,10</b>
<b>N° Dat.</b>	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	28,00	<b>28,00</b>
<b>Med.</b>	148,78	123,54	141,21	189,18	248,28	236,31	252,75	242,32	200,87	204,42	203,16	159,29	<b>195,84</b>
<b>Desv.</b>	26,18	34,39	31,24	26,12	26,99	16,30	22,26	19,80	25,87	18,26	24,10	29,61	<b>25,09</b>
<b>C. V.</b>	0,18	0,28	0,22	0,14	0,11	0,07	0,09	0,08	0,13	0,09	0,12	0,19	<b>0,14</b>
<b>HSmax</b>	224,44	207,20	213,90	222,24	294,50	273,00	288,30	269,74	240,00	255,13	248,10	244,90	<b>248,45</b>
<b>HSmin</b>	102,0	8,1	38,4	129,9	193,4	188,7	196,2	164,0	127,5	164,0	126,0	101,4	<b>128,31</b>

Fuente: Estación meteorológica Allpachaca - OPEMAN y Arone, (2016) - Tesis



**ANEXO G**  
**ANÁLISIS DE SUELO**

Los resultados que se muestran en la **Figura G.1, Figura G.2, Figura G.3 y Figura G.4** son del proyecto “Sistema de pastoreo en vacunos criollos y de doble propósito como alternativa para la preservación de ecosistema de pastizales en el distrito de Chiara” y dentro de ello se encuentra la presente investigación: “Evapotranspiración y programación de riego en cinco especies de pastos naturales alto andinas, Allpachaca – Ayacucho – 2018” que es la Zona-12 que detalla en cada figura y esta pertenece a zona alto andina de la Comunidad de Allpachaca del departamento de Ayacucho que ha sido extraído la muestras en los campos del fundo experimental Allpachaca de la Universidad Nacional de San Cristóbal Huamanga por equipo técnico del proyecto.



**Figura G.1.** Caracterización de la muestra de suelo de Allpachaca

Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes.  
 Asesoría en cartografía de suelos, capacitación en evaluación ambiental,  
 Muestreo de suelos agrícola, uso, manejo y conservación de suelos.

### ANALISIS DE SUELOS : MICRO ELEMENTOS

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA-OFCINA GENERAL DE INVESTIGACION E INNOVACION  
 PROYECTO : SISTEMA DE PASTOREO EN VACUOS CRIOLLOS Y DE DOBLE PROPOSITO COMO ALTERNATIVA PARA LA PRESERVACION DE ECOSISTEMAS DE PASTIZALES EN EL DISTRITO DE CHIARA.  
 DEPARTAMENTO : AYACUCHO CC CC :  
 PROVINCIA : HUAMANGA FECHA : 25/11/2019  
 DISTRITO : CHIARA

Numero de muestra		Fe ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mn ppm
Lab	Campo				
6652	ZONA -10	140.00	0.60	0.60	4.60
6653	ZONA -11	140.00	0.80	0.60	5.00
6654	ZONA -12	216.00	1.00	1.20	6.20
6655	ZONA -13	138.00	0.40	1.40	9.80
6656	ZONA -14	78.00	0.40	1.00	5.40
6657	ZONA -15	158.00	0.80	1.00	3.60
6658	ZONA -16	74.00	1.40	1.60	10.60
6659	ZONA -17	90.00	1.40	2.20	2.20
6660	ZONA -18	202.00	2.60	1.60	9.60



Jr. San Agustín 201-D-103 Surquillo-LIMA  
 Jr. Garcilaso de la Vega 439-Ayacucho  
 ☎ 066-280404, Movil: 966115991  
[www.geosigingenieros.com](http://www.geosigingenieros.com)



900000

Figura G.2. Micro elementos de la muestra de suelo de Allpachaca

Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes.  
 Asesoría en cartografía de suelos, capacitación en evaluación ambiental.  
 Muestreo de suelos agrícola, uso, manejo y conservación de suelos.

### ANÁLISIS DE SUELOS : COEFICIENTES HÍDRICOS

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA-OFCINA GENERAL DE INVESTIGACION E INNOVACION  
 PROYECTO : SISTEMA DE PASTOREO EN VACUNOS CRIOLLOS Y DE DOBLE PROPOSITO COMO ALTERNATIVA PARA LA PRESERVACION DE ECOSISTEMAS DE PASTIZALES EN EL DISTRITO DE CHIARA.  
 DEPARTAMENTO : AYACUCHO CC.CC :  
 PROVINCIA : HUAMANGA FECHA: 25/11/2019  
 DISTRITO : CHIARA

Nº Lab.	Nº Campo	C.C.	P.M.	D.A.	Clase	Arena	Limo	Arcilla
		(%)	(g.cc-1)	Textural		(%)		
AS 11164	ZONA -10	31.10	16.94	1.04		ORGANICO		
AS 11165	ZONA -11	30.80	16.79	1.05		ORGANICO		
AS 11166	ZONA -12	30.00	16.42	0.99		ORGANICO		
AS 11167	ZONA -13	50.10	27.28	0.88		ORGANICO		
AS 11168	ZONA -14	56.00	30.64	0.87		ORGANICO		
AS 11169	ZONA -15	31.00	16.94	1.04	FrArA.	51	27	22
AS 11170	ZONA -16	22.00	11.98	1.27	FrArA.	55	11	34
AS 11171	ZONA -17	32.80	17.87	0.99	FrArA.	49	19	32
AS 11172	ZONA -18	28.00	15.41	1.11	FrArA.	51	21	28

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso ; Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso



Jr. San Agustín 201-D-103 Surquillo-LIMA  
 Jr. Garcilaso de la Vega 439-Ayacucho  
 ☎ 066-280404, Movil: 966115991  
[www.geosigingenieros.com](http://www.geosigingenieros.com)

000003

**Figura G.3.** Coeficiente hídrico de la muestra de suelo del sector Allpachaca

**TABLA DE INTERPRETACION DE RESULTADOS**

Tabla N° 01

CLASES DE pH	RANGOS
Muy ácido	< 5.5
Ácido	5.6 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Alcalino	7.4 – 8.4
Muy alcalino	> 9.5

Tabla N° 04

Niveles de Materia Organica	
Interpretación	Nivel
Bajo (B)	< 2
Medio (M)	2 – 4
Alto (A)	> 4

Tabla N° 07

CIC	
Interpretación	Rango cmol(+)/kg
Muy bajo (MB)	< 6
Bajo (B)	06 - 12
Medio (M)	12 – 25
Alto (A)	25 – 40
Muy alto (MA)	> 40

Tabla N° 08

Ca interc (meq/100 g )	
Interpretacion	Nivel
Muy Bajo	< 2.0
Bajo	2.0 4.0
Medio	4.1 8.0
Alto	> 8.0

Tabla N° 02

Salinidad (C.E. dS m-1)	
Interpretacion	Nivel
Suelo no salino. Efecto de sales despreciables.	< 2
Ligeramente salino, pueden reducirse las cosechas de cultivos muy sensibles.	2 - 4
Salino, se reducen las cosechas de numerosos cultivos.	4 - 8
Muy salinos, sólo cultivos tolerantes a la salinidad.	8 - 16

Tabla N° 05

Fosforo disponible Ppm		
Interpretacion	Bray Kurtz I	Olsen
Muy Bajo	<5	<5
Bajo	5 - 12	5 -13
Medio	12 - 18	13 -26
Alto	18 - 25	26 -32
Muy Alto	> 25	> 32

Tabla N° 09

Mg interc (meq/100 g )	
Interpretacion	Nivel
Muy Bajo	< 0.2
Bajo	0.2 0.4
Medio	0.5 0.8
Alto	> 0.8

Tabla N° 06

Potasio disponible Ppm		
Interpretacion	k ppm	kg Ha-1 K2O
Bajo	0 - 75	0 - 170
Medio	76 - 102	171 - 284
Alto	103 - 146	> 284
Muy Alto	147 - 222	

Tabla N° 10

K interca(meq/100 g )	
Interpretacion	Nivel
Muy Bajo	< 0.13
Bajo	0.13 0.26
Medio	0.26 0.38
Alto	> 0.38

Tabla N° 03

Calcareo Total (%)	
NIVEL	INTERPRETACIÓN
Bajo	< 1%
Medio	1 - 5
Alto	5 – 15
Muy alto	> 15

Tabla N° 11

Na interc(meq/100 g )	
Interpretacion	Nivel
Muy Bajo	0.0 0.3
Bajo	0.3 0.6
Normal	0.6 1.0
Alto	1.0 1.5
Muy Alto	> 1.5

Tabla N° 12

Relaciones catiónicas	Nivel	Interpretacion
Ca/Mg	6 - 8	Optimo ( O )
Ca/K	14 – 16	Optimo ( O )
Mg/K	1.8 – 2.5	Optimo ( O )

Tabla N° 13

Porcentaje de saturacion de bases		
NIVEL	Suma de Cationes	Acetato de Amonio
Bajo	Menor de 35	Menor de 50
Alto	Mayor de 35	Mayor de 50

(1) Soil Survey Manual, 1981.

(2) Departamento de Suelos y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria, La Molina.



**Figura G.4.** Tablas de interpretación de resultados de las muestras

**ANEXO H**  
**ETAPAS Y ESTADOS**  
**FENOLÓGICO DE LOS PASTOS**  
**NATURALES ALTO ANDINAS**

Tabla H.1. Etapas, estados fenológicos y actividades durante la ejecución del proyecto

	Trasplante y siembra	Adapt.de pastos	Primer Corte	Especies estud.	Estados (días)		Etapa vegetativa		Estados (días)					Etapa reproducción		Estados (días)					Etapa maduración		Etapa diseminación		Total de (días)	Segunda poda	
					R	Ie	Dias	Meses	Ab	Bf	Ip	If	Pf	Dias	Meses	Fv	LLg	G1	Gp	S	Dias	Meses	Dias	Meses			
Bloque I	04/02/2019			Fedo	✓	✓	55	May-Jun	✓	X	✓	✓	✓	62	Jun-Ago	X	X	✓	✓	✓	98	Ago-Dic	30	Dic	245		
				Fere	✓	✓	50	May-Jun	✓	X	✓	✓	✓	58	Jun-Ago	X	X	✓	✓	✓	102	Ago-Nov	35	Nov-Dic	245		
				Muli	✓	✓	65	May-Jul	X	X	✓	✓	✓	58	Jul-Ago	X	X	✓	✓	✓	91	Ago-Dic	31	Dic.	245		
				Tram	✓	✓	68	May-Jul	X	X	✓	✓	✓	51	Jul-Ago	✓	✓	✓	✓	✓	96	Ago-Dic	30	Dic.	245		
				Pope	✓	✓	50	May-Jun	X	X	✓	✓	✓	61	Jun-Ago	X	X	✓	✓	✓	102	Ago-Dic	32	Dic.	245		
	18/02/2019			Dagl			Altura constante de 12 cm desde 01/04/2019 hasta 01/01/2020																			275	
Bloque II	04/02/2019	Febrero, Marzo y Abril.	01 de mayo del 2019	Fedo	✓	✓	52	May-Jun	✓	X	✓	✓	✓	70	Jun-Ago	X	X	✓	✓	✓	96	Ago-Nov	27	Nov-Dic	245		
				Fere	✓	✓	58	May-Jun	✓	X	✓	✓	✓	65	Jun-Ago	X	X	✓	✓	✓	94	Ago-Nov	28	Nov-Dic	245	01 de	
				Muli	✓	✓	68	May-Jul	X	X	✓	✓	✓	55	Jul-Ago	X	X	✓	✓	✓	92	Ago-Dic	30	Dic.	245	enero	
				Tram	✓	✓	65	May-Jul	X	X	✓	✓	✓	53	Jul-Ago	✓	✓	✓	✓	✓	96	Ago-Nov	31	Nov-Dic.	245	del	
				Pope	✓	✓	52	May-Jun	X	X	✓	✓	✓	60	Jun-Ago	X	X	✓	✓	✓	103	Ago-Dic	30	Dic.	245	2020	
	18/02/2019			Dagl			Altura constante de 12 cm desde 01/04/2019 hasta 01/01/2020																			275	
Bloque III	04/02/2019			Fedo	✓	✓	51	May-Jun	✓	X	✓	✓	✓	62	Jun-Ago	X	X	✓	✓	✓	102	Ago-Dic	30	Dic	245		
				Fere	✓	✓	48	May-Jun	✓	X	✓	✓	✓	68	Jun-Ago	X	X	✓	✓	✓	96	Ago-Nov	33	Nov-Dic	245		
				Muli	✓	✓	63	May-Jul	X	X	✓	✓	✓	62	Jul-Set	X	X	✓	✓	✓	90	Set-Dic	30	Dic.	245		
				Tram	✓	✓	67	May-Jul	X	X	✓	✓	✓	52	Jul-Ago	✓	✓	✓	✓	✓	95	Ago-Nov	31	Nov-Dic.	245		
				Pope	✓	✓	50	May-Jun	X	X	✓	✓	✓	57	Jun-Ago	X	X	✓	✓	✓	105	Ago-Nov	33	Nov-Dic.	245		
	18/02/2019			Dagl			Altura constante de 12 cm desde 01/04/2019 hasta 01/01/2020																			275	

✓ : Si, presenta el estado fenológico

X : No, presenta el estado fenológico

**Especies:**

**Fedo** : *Festuca dolichophylla*  
**Fere** : *Festuca riges cere*  
**Muli** : *Muhlenbergia ligularis*  
**Tram** : *Trifolium amabile*  
**Pope** : *Poa perligulata*  
**Dagl** : *Dactylis glomerata*

**Estados Fenologicos:**

**R** : Rebrote  
**Ie** : Inicio de elongación  
**Ab** : Aparición de la hoja bandera  
**Bf** : Botones florales  
**Ip** : Inicio de panoja  
**If** : Inicio de floración  
**Pf** : Plena floración  
**Fv** : Formación de vainas  
**LLg** : Llenado de grano  
**G1** : Grano lechoso  
**Gp** : Grano pastoso  
**S** : Semilleo

**ANEXO I**  
**PESO DE FORRAJE VERDE Y**  
**SECO A ESTUFA DE LOS**  
**ESPECIES ESTUDIADOS**

**Tabla I.1.** Peso de materia verde de las especies estudiadas

	<i>Festuca dolichophylla</i> (T1)	<i>Festuca rigescens</i> (T2)	<i>Muhlenbergia ligularis</i> (T3)	<i>Trifolium amabile</i> (T4)	<i>Poa perligulata</i> (T5)	<i>Dactylis glomerata</i> (T6)
Unidad	g	g	g	g	g	g
Bloque I	293,88	108,904	81,916	94,757	92,291	96,308
Bloque II	170,22	142,742	67,68	118,955	100,991	104,721
Bloque III	216,106	135,981	34,411	93,746	74,095	92,381
Promedio	226,735	129,209	61,336	102,486	89,126	97,803

Al finalizar la evaluación de la evapotranspiración de los pastizales. Se realizó el segundo corte (01/01/2020), este trabajo se hizo en etapa de diseminación de T1, T2, T3 y T5 y el T4 en etapa de maduración en su estado de grano pastoso. Este trabajo se realizó con la finalidad de obtener el peso de forraje verde para cada tratamiento (ver **Tabla I.1**). Obteniendo mayor peso de forraje verde (293,880 g) en bloque I, T1, R1 y menor peso de forraje verde (34,411 g) en bloque III, T3, R3.

**Tabla I.2.** Peso seco a estufa (105 °C) de los pastos naturales alto andinas

	<i>Festuca dolichophylla</i> (T1)	<i>Festuca rigescens</i> (T2)	<i>Muhlenbergia ligularis</i> (T3)	<i>Trifolium amabile</i> (T4)	<i>Poa perligulata</i> (T5)	<i>Dactylis glomerta</i> (T6)
Unidad	g	g	g	g	g	g
Bloque I	132,973	45,397	31,769	22,03	38,088	36,190
Bloque II	85,188	41,157	26,677	29,585	38,514	37,801
Bloque III	109,431	47,897	15,264	26,058	27,487	35,985
Promedio	109,197	44,817	24,570	25,891	34,696	36,659

El pesado de forraje verde y seco se realizó en laboratorio de sistemas de producción-E. P. de Medicina veterinaria. Mayor peso de forraje seco (132,973 g) en bloque I, T1, R1 y menor peso de forraje seco (15,264 g) en bloque III, T3, R3. Después del pesado de forraje verde se puso en una estufa por 24 horas a una temperatura de 105 °C para tener los resultados de peso seco de los seis tratamientos.

**ANEXO J**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**



**Figura J.1.** Área del proyecto experimental de los cinco primeros tratamientos



**Figura J.2.** Traslado de materiales y herramientas al Centro Poblado de Allpachaca



**Figura J.3.** Prueba de infiltración N° 02



**Figura J.4.** Llenado de piedra mediana, arena y tierra al lisímetro de nivel freático



**Figura J.5.** Adaptación de los pastizales durante los meses de lluvia



**Figura J.6.** Primera poda de los pastizales para iniciar con la evaluación de ETc.



**Figura J.7.** Evaluación y registro de evapotranspiración de cultivo



**Figura J.8.** Evaluación y registro de evapotranspiración de cultivo



**Figura J.9.** Mantenimiento de los accesorios del lisímetro



**Figura J.10.** Presencia del Ing. Herbert Núñez A. asesor de tesis, al área de investigación



**Figura J.11.** Realizando la poda al finalizar la evaluación para pesar el forraje verde



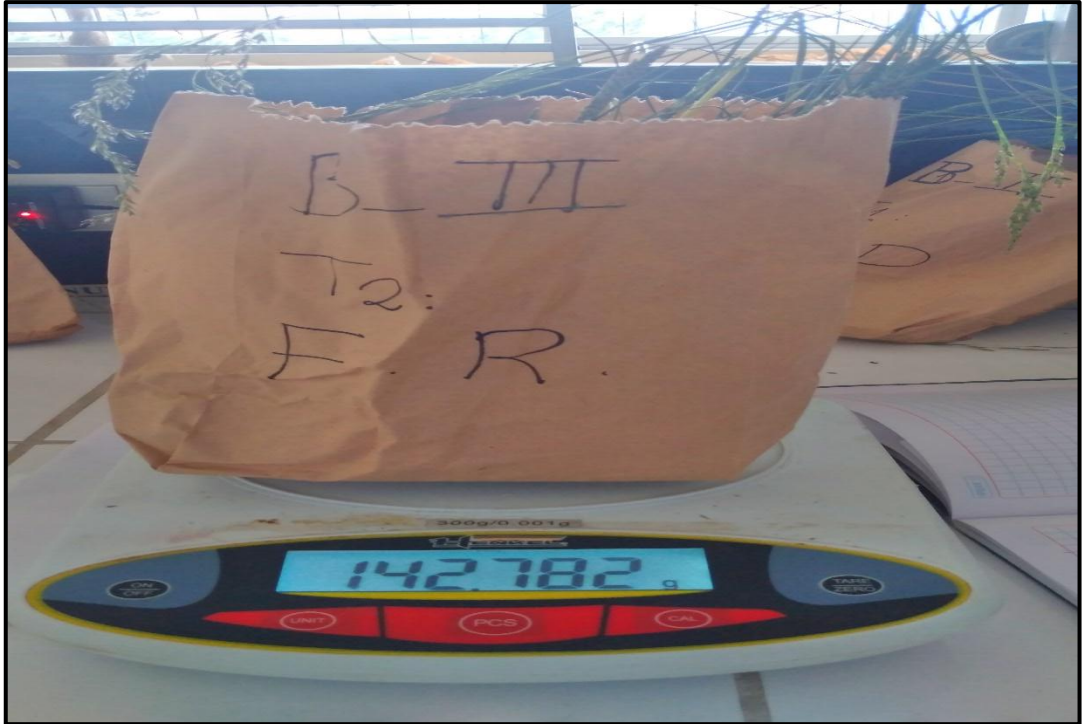
**Figura J.12.** Poda final del pasto de referencia para calcular el peso de forraje verde



**Figura J.13.** Vista panorámico después de poda final



**Figura J.14.** Muestras de forraje verde de los pastizales y el pasto de referencia



**Figura J.15.** Peso de forraje verde de tratamiento 2 del bloque III

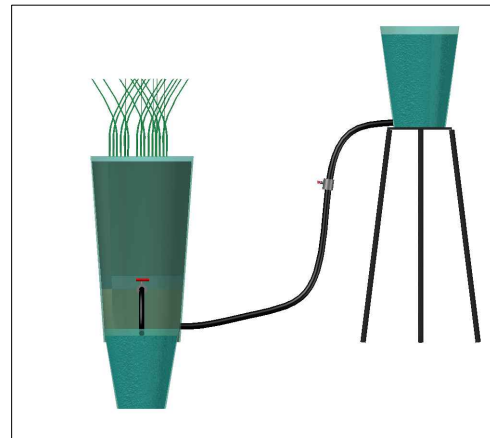


**Figura J.16.** Peso seco a estufa

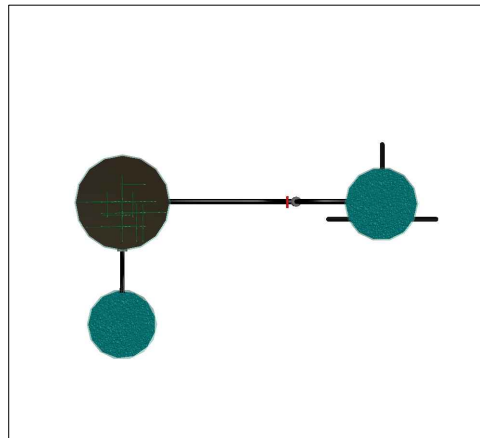
**ANEXO K**  
**PLANO DEL LISÍMETRO DE**  
**NIVEL FREÁTICO**



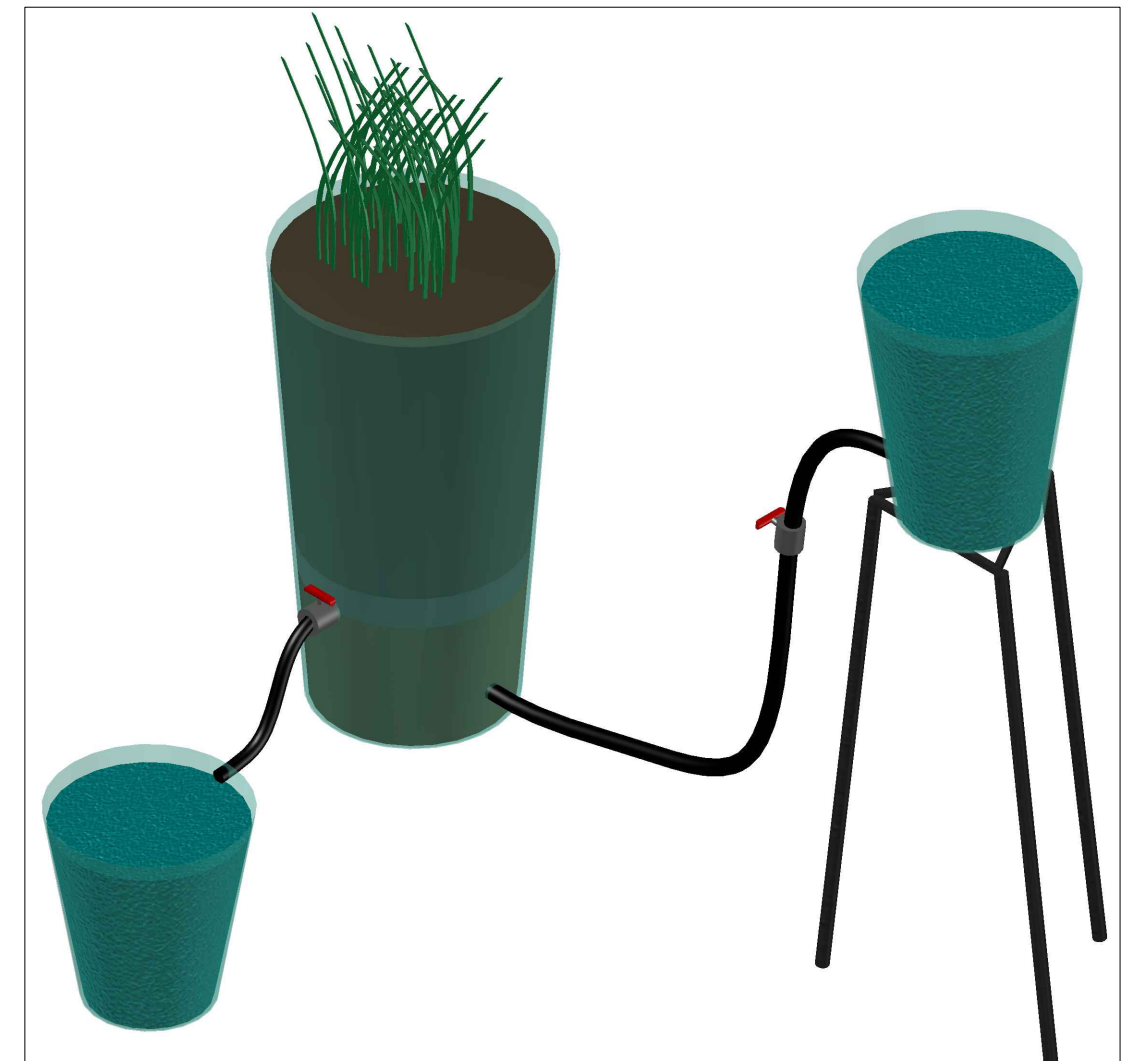
VISTA ISOMETRICO 3D



VISTA FRONTAL 3D



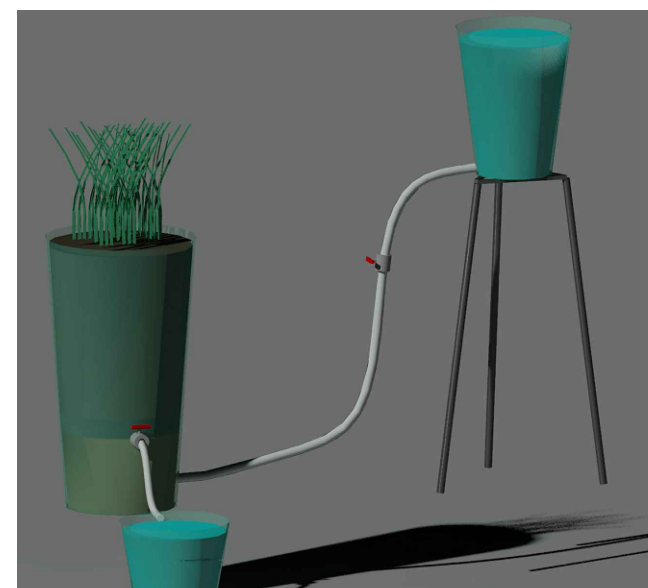
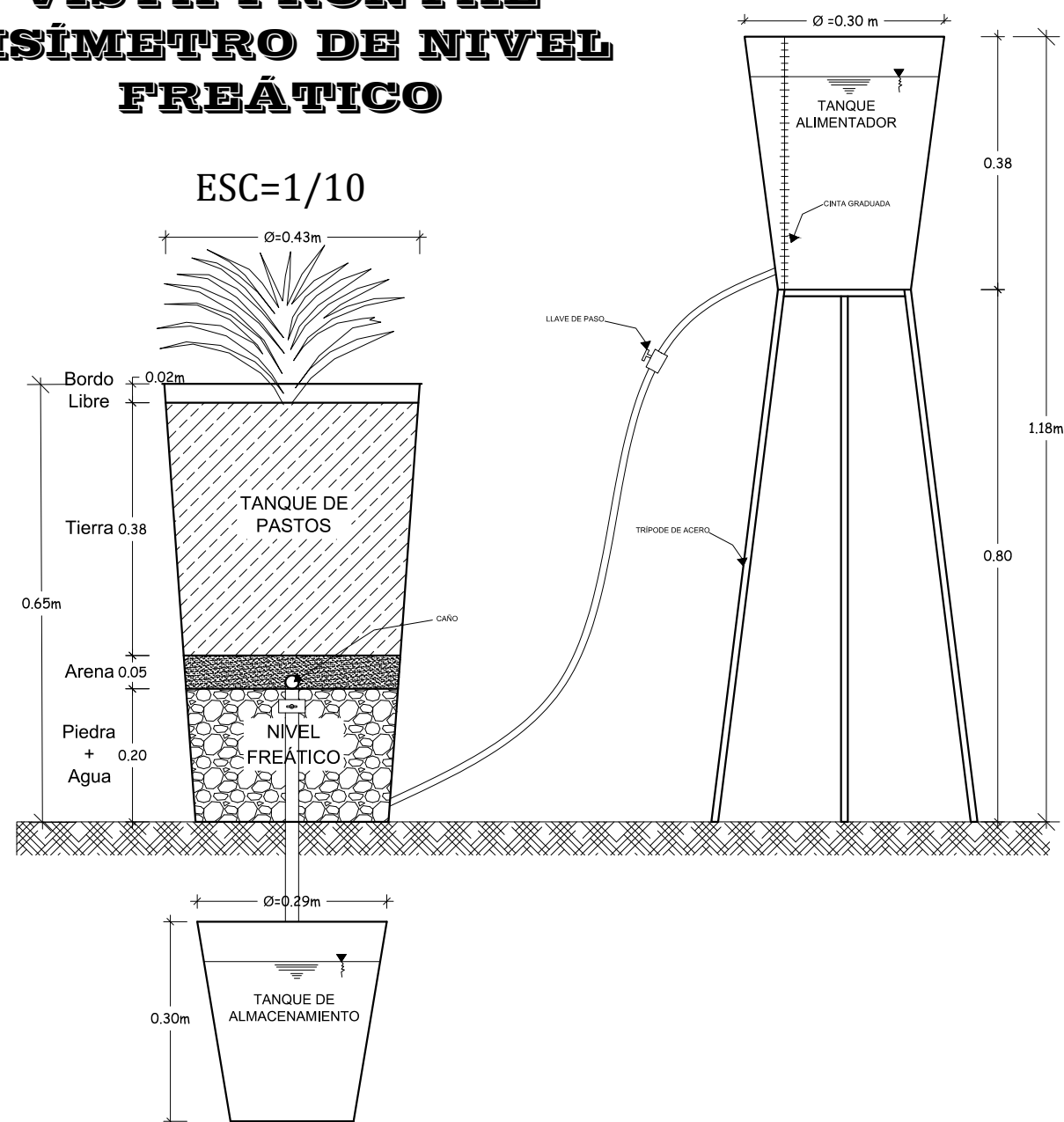
VISTA PLANTA 3D



MODELADO 3D DEL LISÍMETRO DE NIVEL FREÁTICO

ESC=1/10

VISTA FRONTAL LISÍMETRO DE NIVEL FREÁTICO



		<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA</b>		
<b>UBICACIÓN:</b> Departamento : AYACUCHO Provincia : HUAMANGA Distrito : CHARA Localidad : ALLPACHACA	<b>TESIS: EVAPOTRANSPIRACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE RIEGO EN CINCO ESPECIES DE PASTOS NATURALES ALTO ANDINAS, ALLPACHACA - AYACUCHO - 2018</b>			<b>LÁMINA:</b> <b>L-01</b>
<b>PLANO:</b> LISÍMETRO DE NIVEL FREÁTICO		Revisado : Ing. Herbert Nález Alfaro		Diseño: Bach/Ing. Rudy Ore Huarancay
OCTUBRE / 2020		ESCALA: INDICADA		



**UNSCH**

FACULTAD DE CIENCIAS  
**AGRARIAS**

---

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE TESIS

El presidente de la comisión de docentes instructores responsables de operativizar, verificar, garantizar y controlar la originalidad de los trabajos de tesis de la Facultad de Ciencias Agrarias, deja constancia que el trabajo de tesis titulado;

**“Evapotranspiración y programación de riego en cinco especies de pastos naturales alto andinas, Allpachaca – Ayacucho – 2018.”**

Autor : Rudy Ore Huaranccay

Asesor : Herbert Nuñez Alfaro

Ha sido sometido al análisis del sistema antiplagio TURNITIN concluyendo que presenta un porcentaje de 21% de similitud.

Por lo que, de acuerdo al porcentaje establecido en el Artículo 13 del Reglamento de originalidad de trabajos de investigación de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, es procedente otorgar la Constancia de Originalidad.

Ayacucho, 05 de octubre de 2021

---

**Ing. WALTER AUGUSTO MATEU MATED**  
**Presidente de comisión**

# Evapotranspiración y programación de riego en cinco especies de pastos naturales alto andinas, Allpachaca – Ayacucho – 2018.

*por Rudy Ore Huaranccay*

---

**Fecha de entrega:** 05-oct-2021 07:10p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 1666356915

**Nombre del archivo:** TESIS\_RUDY\_ORE\_HUARANCCAY\_03-10-2021.pdf (12.44M)

**Total de palabras:** 34232

**Total de caracteres:** 160749

# Evapotranspiración y programación de riego en cinco especies de pastos naturales alto andinas, Allpachaca – Ayacucho – 2018.

## INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="http://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	8%
2	<a href="http://repositorio.unap.edu.pe">repositorio.unap.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
3	<a href="http://idoc.pub">idoc.pub</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://repositorio.inia.gob.pe">repositorio.inia.gob.pe</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://dspace.ups.edu.ec">dspace.ups.edu.ec</a> Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	1%
8	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	1%

9 [myslide.es](http://myslide.es) Fuente de Internet <1 %

---

10 [edoc.pub](http://edoc.pub) Fuente de Internet <1 %

---

11 [doc.rero.ch](http://doc.rero.ch) Fuente de Internet <1 %

---

12 [1library.co](http://1library.co) Fuente de Internet <1 %

---

13 [infoalpacas.com.pe](http://infoalpacas.com.pe) Fuente de Internet <1 %

---

14 Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante <1 %

---

15 [gmmpastizales.blogspot.com](http://gmmpastizales.blogspot.com) Fuente de Internet <1 %

---

16 [pt.scribd.com](http://pt.scribd.com) Fuente de Internet <1 %

---

17 [dspace.unapiquitos.edu.pe](http://dspace.unapiquitos.edu.pe) Fuente de Internet <1 %

---

18 [qdoc.tips](http://qdoc.tips) Fuente de Internet <1 %

---

19 [repositorio.unsaac.edu.pe](http://repositorio.unsaac.edu.pe) Fuente de Internet <1 %

---

20	<a href="https://es.slideshare.net">es.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://bdigital.unal.edu.co">bdigital.unal.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
22	<a href="http://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://www.observatoriocambioclimatico.org">www.observatoriocambioclimatico.org</a> Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Systems Link Trabajo del estudiante	<1 %
25	Submitted to CONACYT Trabajo del estudiante	<1 %
26	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
27	<a href="http://sedici.unlp.edu.ar">sedici.unlp.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
28	<a href="http://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://kk.convdocs.org">kk.convdocs.org</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://repositorio.uncp.edu.pe">repositorio.uncp.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://www.buenastareas.com">www.buenastareas.com</a> Fuente de Internet	<1 %

32 kanazawa-u.repo.nii.ac.jp

Fuente de Internet

<1 %

---

33 biblioteca.inia.cl

Fuente de Internet

<1 %

---

34 www.cyberline.com.pe

Fuente de Internet

<1 %

---

35 hdl.handle.net

Fuente de Internet

<1 %

---

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía

Apagado