

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
DOCTORADO EN CIENCIA ANIMAL**



**“IMPACTO DE LA INTENSIDAD DE USO Y PRECIPITACIÓN EN  
EL VIGOR Y PRODUCTIVIDAD DE *Festuca humilior* y  
*Calamagrostis vicunarum*”**

**Presentada por:  
EDSON EFRAIN TITO QUISPE**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR  
DOCTORIS PHILOSOPHIAE EN CIENCIA ANIMAL**

**Lima – Perú**

**2024**

# Borrador Tesis Doctoral

## INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>12%</b>	<b>11%</b>	<b>4%</b>	<b>3%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.igp.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>2</b>	<b>www.regionhuancavelica.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>3</b>	<b>Submitted to Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO) - Sede Ecuador</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>4</b>	<b>www.inaigem.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>5</b>	<b>www.forest-trends.org</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>cablera.telam.com.ar</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>www.maweb.org</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.unal.edu.co</b> Fuente de Internet	

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**DOCTORADO EN CIENCIA ANIMAL**

**“IMPACTO DE LA INTENSIDAD DE USO Y PRECIPITACIÓN EN  
EL VIGOR Y PRODUCTIVIDAD DE *Festuca humilior* y  
*Calamagrostis vicunarum*”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE DOCTOR**

**DOCTORIS PHILOSOPHIAE**

**Presentada por:**

**EDSON EFRAIN TITO QUISPE**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

.....  
Ph. D. Javier Ñaupari Vasquez  
**PRESIDENTE**

.....  
Ph D. Lucrecia Aguirre Terrazas  
**ASESOR**

.....  
Ph. D. Luis Lizardo Oscanoa Gamarra  
**MIEMBRO EXTERNO**

.....  
Ph D. Enrique Ricardo Flores Mariazza  
**MIEMBRO**

.....  
Ph. D. Julio Alegre Orihuela  
**MIEMBRO**

## **DEDICATORIA**

Ante todo, agradecer a Dios por haberme dado la oportunidad de ser parte de este programa, a mis padres Elías y Paula por ser mis guías y apoyo en cada paso de mi vida, a mi hermano Néstor y hermana Sonia por sus ánimos y apoyo incondicional, en especial a mi esposa Kelly y a todos los profesores, personal técnico que me apoyaron y depositaron su confianza durante el periodo de investigación.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi patrocinadora de tesis, Ph.D. Lucrecia Aguirre Terrazas, por su guía, apoyo, enseñanza y consejo académico y profesional, para así culminar satisfactoriamente con la presente investigación.

A mis profesores consejeros y miembros del jurado de la presente tesis, Ph.D. Enrique Flores Mariazza, Ph.D. Javier Ñaupari Vasquez, Ph.D. Julio Alegre Orihuela y Ph.D. Luis Lizardo Oscanoa Gamarra, por compartir sus conocimientos, experiencias y aportes en la realización del presente trabajo.

Al Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales, de la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina por brindarme la oportunidad de aplicar mis conocimientos en el área de la zootecnia.

A mis amigos Bill Yalli, Fritz Trillo y Cecilio Barrantes con quienes participamos en el proyecto de investigación y compartimos juntos las experiencias de trabajar en equipo.

Mis agradecimientos a la Sociedad anónima de Interés Social (SAIS) Túpac Amaru por permitir desarrollar la investigación dentro de sus límites zonales.

Al Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC) por financiar la tesis, así como mis estudios de Doctorado.

A todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron con la ejecución del presente estudio.

## ÍNDICE GENERAL

	Pag.
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	1
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	3
2.1. ECOSISTEMA DE PASTIZAL ALTOANDINO.....	3
2.1.1. Características climáticas.....	5
2.1.2. Características del suelo.....	6
2.1.3. Características de la vegetación.....	6
2.2. CARACTERÍSTICAS DE ESPECIES ESTUDIADAS.....	7
2.3. IMPACTO DEL PASTOREO .....	9
2.4. IMPACTO DE LA PRECIPITACIÓN .....	13
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	17
3.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	17
3.1.1. Patrones de precipitación y temperatura.....	18
3.1.2. Características de la comunidad vegetal .....	19
3.2. TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES.....	20
3.2.1. Recorte de la precipitación .....	20
3.2.2. Intensidad de uso .....	21
3.2.3. Tratamientos experimentales .....	23
3.2.4. Parámetros evaluados.....	24
a) Altura.....	24
b) Volumen .....	25
c) Productividad.....	25
3.3. DISEÑO ESTADÍSTICO.....	26
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	28
4.1. EFECTO DE LOS NIVELES DE INTENSIDAD DE USO.....	28
4.1.1. <i>Festuca humilior</i> (Nees & Meyen) .....	28
4.1.2. <i>Calamagrostis vicunarum</i> (Wedd) .....	29
4.2. EFECTO DE LOS NIVELES DE PRECIPITACIONES EN LAS ESPECIES CLAVES <i>Festuca humilior</i> y <i>Calamagrostis vicunarum</i> .....	32
4.3. EFECTO DE LA PRECIPITACIÓN E INTENSIDAD DE USO SOBRE LA ALTURA, VOLUMEN Y PRODUCCIÓN.....	35

<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>38</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>40</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pag.
<b>Cuadro 1.</b> Tratamientos experimentales en el estudio.....	24
<b>Cuadro 2.</b> Efecto de los niveles de intensidad de uso (por ciento) en <i>Festuca humilior</i> .	29
<b>Cuadro 3.</b> Efecto de los niveles de intensidad de uso (por ciento) en <i>Calamagrostis vicunarum</i> .....	30
<b>Cuadro 4.</b> Efecto de la precipitación en <i>Festuca humilior</i> .....	32
<b>Cuadro 5.</b> Efecto de la precipitación en <i>Calamagrostis vicunarum</i> .....	32
<b>Cuadro 6.</b> Promedios de porcentaje de humedad volumétrica a tres profundidades del suelo en época de lluvia y seca .....	33



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
<b>Figura 1.</b> Estimulación potencial de la productividad primaria por el consumo de los herbívoros (McNaughton 1979).....	10
<b>Figura 2.</b> Tres respuestas potenciales de la producción primaria al incrementarse la intensidad de pastoreo (Detling 1988).....	12
<b>Figura 3.</b> Relación entre la productividad primaria neta aérea y la precipitación anual en el tiempo (modelo temporal) y en espacio (modelo espacial) para pastizales de las grandes llanuras de Norteamérica (Lauenroth y Sala 1992).....	14
<b>Figura 4.</b> Modelos que relacionan la productividad primaria neta aérea (PPNA) a través de un gradiente temporal de lluvia (Yahdjian y Sala 2006; Lauenroth y Sala 1992).....	15
<b>Figura 5.</b> Ubicación de la zona de investigación.....	17
<b>Figura 6.</b> Registros de precipitación en periodos de octubre a mayo durante (2015 a 2017) en el área de estudio.....	18
<b>Figura 7.</b> Estructura de las comunidades vegetales en la zona de estudio base cobertura.....	19
<b>Figura 8.</b> Modelo de interceptor de 30 por ciento (a) e interceptor de 60 por ciento de la precipitación (b).....	21
<b>Figura 9.</b> Planta de <i>Festuca humilior</i> marcadas en las que ilustran la simulación de niveles de uso del 40 por ciento (a) y 80 por ciento (b) .....	22
<b>Figura 10.</b> Plantas de <i>Calamagrostis vicunarium</i> marcadas que ilustran las simulaciones de intensidades de uso del 40 por ciento (a) y 80 por ciento (b).....	23
<b>Figura 11.</b> Fotografía que ilustra la medición de altura en <i>Festuca humilior</i> .....	24
<b>Figura 12.</b> Ecuación de regresión lineal para <i>Festuca humilior</i> (a) y <i>Calamagrostis vicunarium</i> (b).....	26
<b>Figura 13.</b> Efecto de intensidad de uso sobre altura (a), volumen (b) y productividad (c) en especies <i>Festuca humilior</i> y <i>Calamagrostis vicunarium</i> .....	31
<b>Figura 14.</b> Ilustración de probable levantamiento hidráulico ( <i>Festuca humilior</i> (a) y <i>Calamagrostis vicunarium</i> (b)).....	34
<b>Figura 15.</b> Comparación de la respuesta de <i>Festuca humilior</i> y <i>Calamagrostis vicunarium</i> a los efectos de la época de lluvia y seca e intensidad de pastoreo.....	36

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Pag.
<b>Anexo 1.</b> Base de Datos .....	50
<b>Anexo 2.</b> Determinación de Análisis de varianza de los parámetros evaluados en especies claves <i>Festuca humilior</i> y <i>Calamagrostis vicunarum</i> .....	56
<b>Anexo 3.</b> Resultados del análisis de varianza de los parámetros evaluados en las especies claves <i>Festuca humilior</i> y <i>Calamagrostis vicunarum</i> .....	57
<b>Anexo 4.</b> Determinación de $X^2$ cuadrado para intensidad de uso de los parámetros evaluados en especies claves <i>Festuca humilior</i> y <i>Calamagrostis vicunarum</i> .....	59
<b>Anexo 5.</b> Efecto de la precipitación y niveles de uso sobre altura (a), volumen (b) y productividad (c) en <i>Festuca humilior</i> .....	60
<b>Anexo 6.</b> Efecto de la precipitación y niveles de uso sobre altura (a), volumen (b) y productividad (c) en <i>Calamagrostis vicunarum</i> .....	61

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue estimar el impacto de los cambios de los patrones de precipitaciones e intensidad de uso en las especies claves *Festuca humilior* (Nees & Meyen) y *Calamagrostis vicunarum* (Wedd.) sobre altura, volumen y productividad. El estudio se realizó en pajonal húmedo de condición regular de la SAIS Túpac Amaru, ubicada en Junín a 4186 msnm. Los tratamientos fueron la combinación de tres niveles de precipitación (100 por ciento, 70 por ciento y 40 por ciento) con tres niveles de intensidad de uso (0 por ciento, 40 por ciento y 80 por ciento). Se utilizó el diseño de parcelas divididas en bloques con arreglo factorial de 2x3x3 (dos épocas, tres niveles de precipitación y tres niveles de intensidad de uso). Las variables evaluadas fueron: altura (cm), volumen (cm<sup>3</sup>) y productividad (gMS/planta). *Festuca humilior* mostró reducciones significativas en altura a intensidades moderadas de uso (40 por ciento), mientras que *Calamagrostis vicunarum* mostró reducciones significativas a mayores niveles de uso (80 por ciento), lo cual muestra una respuesta diferenciada de estas dos especies. En relación al volumen, altura y productividad, *Festuca humilior* mostró reducciones significativas a niveles de uso del 80 por ciento, mientras que *Calamagrostis vicunarum* no se vio afectada significativamente. En relación al impacto de los niveles de precipitación, los resultados no mostraron consistencia debido a la probable influencia significativa de flujo subterráneo y levantamiento hidráulico realizado por *Festuca humilior*. Sin embargo, se observó que *Calamagrostis vicunarum* fue menos impactada por la intensidad de uso que *Festuca humilior* tanto en época lluviosa como en seca. Estos resultados nos permiten plantear la hipótesis que *Calamagrostis vicunarum* es tolerante no solo a altas intensidades de pastoreo sino también a bajos niveles de humedad en el suelo.

**Palabras claves:** Pajonal húmedo, niveles de precipitación, intensidad de uso, *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum*.

## ABSTRACT

The objective of this study was to estimate the impact of changes in rainfall patterns and intensity of use on height, volume and productivity of two key species *Festuca humilior* (Nees & Meyen) and *Calamagrostis vicunarum* (Wedd.). The study was conducted in a regular condition humid grassland area located in Junin - SAIS Tupac Amaru, at 4186 m.a.s.l. A split-plot design was used and the treatments included the combination of three levels of precipitation (100 percent, 70 percent and 40 percent) and intensity of use (0 percent, 40 percent and 80 percent). The variables evaluated were: height (cm), volume (cm<sup>3</sup>) and productivity (gDM/plant). *Festuca humilior* showed significant reductions in height at moderate intensities of use (40 percent), while *Calamagrostis vicunarum* showed significant reductions at higher levels of use (80 percent), showing a differentiated response of these species. Volume, height and productivity of *Festuca humilior* showed significant reductions at 80 percent level of use, while *Calamagrostis vicunarum* did not show significant reductions. In relation to the impact of the precipitation levels, the results did not show consistency probably due to the significant influence of groundwater flow and hydraulic lifting carried out by *Festuca humilior*. However, it was observed that *Calamagrostis vicunarum* was less impacted by the intensity of use than *Festuca humilior* in rainy and dry season. These results allow us to propose the hypothesis that *Calamagrostis vicunarum* is tolerant not only at high grazing intensities but also at low levels of soil moisture.

**Keywords:** Humid grasslands, precipitation levels, intensity of use, *Festuca humilior* and *Calamagrostis vicunarum*

## I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un fenómeno que puede alterar la estructura y funcionalidad de los ecosistemas, particularmente de aquellos que se encuentran en zonas vulnerables como son las regiones semiáridas donde se desarrollan los pastizales. La precipitación y la temperatura son factores abióticos determinantes en la productividad, estructura florística y funcionalidad de los ecosistemas terrestres. En la actualidad, los patrones de precipitación y temperatura atraviesan grandes cambios; los modelos climáticos predicen un aumento de la aridez en muchas zonas del planeta. De otro lado los modelos ecológicos avizoran cambios en la estructura de los pastizales, en su capacidad productiva y capacidad de provisión de forraje para la ganadería (Flores 2016). Los resultados de estas proyecciones adicionalmente revelan que la capacidad de carga y la contribución económica de la eco-región Puna a la economía y seguridad alimentaria disminuirán notablemente por efecto del cambio climático (Flores *et al.* 2015). A escala mundial; las sequías, el incremento de la temperatura y la radiación plantean limitaciones ambientales importantes para la sostenibilidad de los pastizales, este sistema cumple un rol fundamental en el aprovisionamiento de servicios ambientales tales como regulador hídrico, captura de carbono y producción de forraje para la ganadería alto andina. Las sequías extremas tienen como consecuencia a corto plazo la reducción en la producción primaria, a mediano y largo plazo, cambios en la composición florística.

Las proyecciones de reducción de precipitaciones para América del Sur, al año 2050 van desde 20-40 por ciento y hasta el año 2080 un 5-10 por ciento (Yahdjian y Sala 2008); mientras para los andes centrales del Perú, se prevé una reducción de los niveles de precipitación de 5 a 10 por ciento para el año 2030 (Marengo 2011) y 30 por ciento para 2100 (SENAMHI 2007). Por lo tanto, es probable que la precipitación anual disminuya en los andes centrales con cambios relativamente grandes durante el verano. Los pastizales alto andinos al ubicarse en áreas de baja disponibilidad de agua podrían ser impactados negativamente por la reducción de la precipitación. A este posible escenario se suman el sobrepastoreo y las prácticas inadecuadas de manejo de pastizales que contribuyen al deterioro del estado de conservación del ecosistema, en consecuencia, a reducir la

productividad primaria, situación que representa un gran riesgo para el futuro de ecosistema que por sus características es propenso a desarrollar procesos de desertificación (Bandyopadhyay 1992) y peligrar su rol ecológico, así como su rol económico y en la seguridad alimentaria por los bienes y servicios que proporciona a la sociedad (Flores 2016).

Se han desarrollado diversas investigaciones para conocer la respuesta del pastizal a las intensidades de pastoreo, desde el punto de vista del pastizal como un todo, en las que se reporta la pérdida de productividad del pastizal a intensidades de carga alta (Ortiz 2014). Sin embargo, el pastizal es manejado en función de especies claves (especies que cubren el mayor porcentaje de área y contribuyen en mayor proporción a la producción primaria del pastizal) y existe escaso conocimiento de las respuestas morfo-fisiológicas que presentan especies claves del pastizal, este conocimiento es de vital importancia por las consecuencias directas en los procesos ecosistémicos que estas generan (Lambers 2008). Los atributos individuales de las especies claves que componen una comunidad tienen suma relevancia en los procesos que se dan a escalas mayores.

La reducción en los patrones de precipitación y el sobre pastoreo puede generar sinergias negativas e impactar significativamente la estructura y su productividad del ecosistema, por lo que en el presente estudio se planteó estudiar la respuesta de dos especies claves del pastizal a cambios en patrones de precipitaciones e intensidad de pastoreo. El conocimiento generado contribuirá a diseñar estrategias para lidiar con los posibles escenarios futuros en los que la estructura y funcionalidad de los ecosistemas puedan cambiar considerablemente. Para ello el presente estudio planteó como objetivo general: estimar el impacto de los cambios de precipitación e intensidad de uso en las especies claves *Festuca humilior* (Nees & Meyen) y *Calamagrostis vicunarum* (Wedd) sobre su desarrollo y productividad. Los objetivos específicos planteados fueron: Evaluar el efecto de los cambios de patrones de precipitación sobre altura, volumen y productividad de *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum*. Evaluar el efecto de la intensidad de uso sobre la altura, volumen y productividad de *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum*. Evaluar el efecto de la precipitación e intensidad de uso sobre la altura, volumen y productividad de las especies claves *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum*.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. ECOSISTEMA DE PASTIZAL ALTOANDINO

Los pastizales ocupan una superficie de 18 246, 926 ha, lo que representa el 14,2 por ciento del total nacional. (MINAM 2014) Este ecosistema sostiene a más del 80 por ciento de la ganadería extensiva en el país, por lo cual cumple un rol importante en la economía de la población dedicada a la actividad ganadera (Flores 2005). Las formaciones vegetales predominantes en la región Puna son los pajonales, los bosques de los Keñuales (*Polylepis tarapacana*), los matorrales, los semidesiertos y las formaciones de plantas almohadilladas (Brack y Mendiola, 2004). En la región Junín, donde se ubica el área de investigación, los pastizales abarcan una extensión aproximada de 291 652 hectáreas, lo cual representa el 26,94 por ciento de la región (Yaranga 2009).

El ecosistema de pastizal en la región Junín se encuentra dominado por especies de crecimiento mediano aproximadamente 50-70 cm como gramíneas, gramínoideas y herbáceas de bajo crecimiento (Tovar 1993). Entre las gramíneas dominantes se encuentra *Festuca dolichophylla*, *Festuca rigescens*, *Festuca humilior*, *Calamagrostis vicunarium*, *Calamagrostis rigescens*, *Muhlenbergia fastigiata*, *Muhlenbergia ligularis*, *Muhlenbergia peruviana*, *Poa sp*, *Luzula vulcanica*, *Werneria nubigena*, *Bromus lanatus*; y en las gramínoideas, Ciperáceas como *Carex sp* y *Trichophorum rigidum* (Tovar 1993). De otro lado, está el césped de puna que se caracteriza por especies de crecimiento bajo y postrado; así mismo los pajonales contienen en su estructura plantas herbáceas como: *Alchemilla pinnata*, *Aphanactis villosa*, *Belloa kunthiana*, *Paranephelius sp*, *Hipochoeris stenocephala*, *Gentiana cedifolia*, *Azorella compacta* y *Trifolium sp*, entre otros. La degradación del ecosistema andino es un problema complejo que está relacionado con el modelo de organización al interior de las comunidades, a la política de tenencia de la tierra y al gobierno. Se ha observado que las peores condiciones ecológicas corresponden a los niveles más elementales de organización y a economías de subsistencia (Recharte *et al.* 2009). El sobrepastoreo, las prácticas de manejo inadecuadas, la sobreexplotación de los recursos y la falta de prácticas de conservación se encuentran entre las causas principales de la degradación del suelo en los pastizales andinos.

En el Perú no existe una legislación para regular la utilización y conservación de los pastizales. La mayor parte de la tierra de pastizales está bajo el control de la comunidad. Sin embargo, una aproximación se da con la ley N° 24656, denominada “Ley General de Comunidades”, aprobada por el Congreso en abril de 1987, la cual brindó a las comunidades autonomía en cuanto a la decisión sobre el número de animales y las prácticas de utilización de los pastizales en forma de empresa comunal, familiar o individual.

Las agencias de gobierno, las universidades y las organizaciones no gubernamentales deben trabajar estrechamente con las comunidades y entender las formas de manejo de estos recursos y sus transformaciones históricas para identificar mecanismos de organización y asistencia que permitan desarrollar e implementar programas de conservación de los pastizales basados en los intereses e instituciones locales (Florez y Malpartida 1987).

En los últimos años ha surgido una gran preocupación por la conservación y manejo de ecosistema pastizal, junto con una revaloración de los servicios ambientales que este ecosistema nos brinda. Las principales causas de degradación se detallan en los resultados de la evaluación de los Ecosistemas del Milenio (ONU 2005), su informe concluye que: “La transformación sin precedentes operada por el ser humano en los últimos 50 años ha producido una pérdida sustancial y en gran medida irreversible en la diversidad de la vida sobre la tierra. Estos cambios han contribuido a mejoras netas en el bienestar humano y el desarrollo económico; pero a un costo creciente que, si no es abordado, disminuirá sustancialmente los beneficios para las futuras generaciones”.

El sobre pastoreo está considerado como una de las principales causas de desertificación. El sobrepastoreo, es una práctica que tiene su origen en causas tan diferentes como son el atraso socioeconómico, las tradiciones culturales, el uso y tenencia de la tierra y el rápido aumento de las poblaciones campesinas (Olivier 1988). Plantea Raéz (2011) cuatro procesos conducentes a la degradación y la pérdida de los ecosistemas naturales y sus servicios: 1) La transformación de hábitats, 2) La explotación excesiva de un recurso renovable por encima de su capacidad de renovación, 3) La introducción de especies invasoras y 4) La contaminación con nutrientes excesivos.

Flores (2004) hace mención a otras causas que inciden en el deterioro de los pastizales, entre estos se incluye: Escaso conocimiento acerca de la estructura y funcionamiento de los



diferentes ecosistemas de pastizal, Ausencia de un sistema de generación y transferencia de tecnología en pastos naturales, aguadas y biodiversidad. Pobreza y baja rentabilidad de los sistemas de producción ganadera acentúan la presión sobre los ecosistemas de pastizal, La sociedad no ha internalizado en sus costos la importancia de proteger los ecosistemas de montaña y falta de políticas y marco legal inadecuado para la planificación y gestión sostenible de las praderas”

### **2.1.1. Características climáticas**

El clima de puna considerado entre 4000 y 5000 msnm. se caracteriza por presentar precipitaciones promedio de 700 mm anuales y temperaturas promedios anuales de 6°C. Los veranos (Diciembre-Marzo) son lluviosos y nubosos, los inviernos (Junio-Agosto) son secos y con heladas nocturnas continuas. Clima gélido o de nieves perpetuas, en cuanto al relieve de la región Puna es variado, con mesetas y zonas onduladas, y zonas altamente escarpadas. Los suelos que predominan son andosoles y paramosoles, con variaciones importantes, como en el sur donde son volcánicos (Alegría 2013).

Las características de temperatura son importantes por su influencia en el crecimiento de la vegetación se ha observado que el pasto empieza a crecer cuando la temperatura del suelo se mantiene por encima de 4°C por 3-4 días continuos como mínimo (Pearson 1942), aunque la temperatura en la cual las plantas de los pastizales empiezan a crecer, puede ser mayor alrededor de 6.1°C aproximadamente (Florez *et al.* 1987).

Es posible que el incremento de la temperatura del planeta incrementa la frecuencia de sequías lo que impactaría fuertemente la producción primaria en muchos pastizales templados (De Boek *et al.* 2008). e incluso la sequía extrema en los pastizales, y recurrentes pueden reducir su cobertura vegetal (Pendall *et al.* 2004).

El déficit hídrico o estrés hídrico se inicia cuando las tasas de transpiración de agua superan a las tasas de absorción que provoca respuestas como la pérdida considerable en la cantidad de hojas (Buxton 1996; Reddy *et al.* 2003). No obstante, las sequías largas inhiben el crecimiento de macollos y la ramificación de las plantas, además de acelerar la muerte de los tallos y la senescencia de las hojas puesto que reubican las proteínas, el nitrógeno y los carbohidratos solubles de las hojas a las raíces, con lo cual se reduce el valor nutritivo de la especie (Buxton 1996). El impacto del cambio climático no solo afectará, la calidad

forrajera de los pastizales, sino también la composición florística (Kreyling *et al.* 2008; Stampfli y Zeiter 2004). El valor nutritivo de los pastizales está fuertemente influido por la composición de la comunidad debido principalmente a la gran variación de especies, los compuestos químicos, las etapas fenológicas, y los grupos funcionales (Huyghe *et al.* 2008).

En el ecosistema de pastizal, donde la disponibilidad de agua es un factor limitante, la producción puede verse afectada negativamente por el aumento de la temperatura, resultado de una mayor tasa de evapotranspiración y menor ciclaje de nutrientes (Larcher 2000). Además, un incremento de la temperatura puede significar un aumento del período y los ciclos diarios de crecimiento de esta manera, las alteraciones en la disponibilidad estacional de agua y calor pueden afectar la funcionalidad de los ecosistemas (McCarty 2001).

### **2.1.2. Características del suelo.**

Los suelos de pastizales, que se encuentra en zonas de llanuras son suelos profundos y con un contenido de materia orgánica mayor a 4.0 por ciento por lo que para lo que su capacidad de retención de humedad es buena. Sin embargo, las tasas de mineralización son lentas debido a las bajas temperaturas que predominan por arriba de los 4000 msnm. La retención y disponibilidad de agua en el suelo, proveniente de las precipitaciones y/o irrigación es crucial; para contribuir al normal desarrollo de las plantas durante su ciclo de vida (Aguirre, 1985; Rivera 2004). Además, la textura del suelo, distribución de los poros y su profundidad, determinará la cantidad de agua capilar que es retenida en los horizontes superficiales donde se encuentra el mayor volumen de raíces (Flores y Malpartida 1987). De otro lado, durante el verano se registran mayores valores de radiación, con lo cual, el régimen térmico del suelo se ve alterado por el incremento del intercambio de calor entre el suelo y el ambiente por convección.

### **2.1.3. Características de la vegetación.**

La vegetación del ecosistema pastizal está representada principalmente por gramíneas altas (pajonales) o gramíneas de porte bajo (césped), las cuales tienen un estrato bajo de especies herbáceas. Los pastizales son ecosistemas caracterizados por presentar una vegetación abierta dominada por especies herbáceas y cuya producción primaria es aprovechada directamente

por los herbívoros (Miller 1990). Los pastizales se hallan en regiones semiáridas donde el factor agua es determinante para la producción primaria.

En esta situación, la biomasa y productividad del pastizal están disminuidas con una gran pérdida de la cobertura perenne, incremento de plantas anuales e invasoras y suelo desnudo (Herbel 1983). Además, el manejo de la cobertura del suelo es la estrategia más viable para recuperar el ecosistema degradado, debido a que sus exigencias en comparación son necesariamente intensivas y contempla estatus pobre o muy pobre del pastizal, con una tendencia negativa y alejado de una fuente de agua principal (Flores y Bryant 1999).

La productividad primaria neta (PPN) es el incremento absoluto de la biomasa vegetal por unidad de tiempo, esta energía es capturada por medio de la fotosíntesis y queda disponible para los otros niveles tróficos (McNaughton *et al.* 1989). Estructuralmente el pastoreo modifica la estructura vertical del pastizal, la composición y riqueza de especies, así como los atributos de las plantas (Altesor *et al.* 2010). A nivel regional la productividad primaria neta puede visualizarse como un indicador generalizado del potencial ecológico (McNaughton *et al.* 1989) es un dato básico y necesarios en el planteamiento y manejo de los recursos naturales renovables.

## **2.2. CARACTERISTICAS DE ESPECIES ESTUDIADAS**

*Festuca humillior* y *Calamagrostis vicunarum*, son especies consideradas claves en ecosistemas de pajonales húmedos que se encuentran entre los 3700 – 4300 m. de altitud, estas especies predominan en áreas expuestas a perturbaciones físicas como el sobrepastoreo y su presencia muestra su capacidad de adaptación a condiciones climáticas variables de puna (Tovar 1993). Una especie clave es aquella que reúne dos condiciones presentes en gran proporción del área de interés y constituye significativamente a la biomasa del ecosistema.

*Festuca humilior* Nees & Meyen “Chillihua”: Es una gramínea perenne, robusta, de gran rusticidad y plasticidad adaptativa. Presenta hábito de crecimiento erecto, formando matas densas y presenta raíces profundas y fibrosas y relativamente profundas (Maddaloni y Ferrari 2001). Este sistema radicular proporciona, además un piso firme para los animales que pastorean en épocas de mucha lluvia (Maddaloni y Ferrari 2001). En términos botánicos

*Festuca humilior* es una especie de 30-50 cm de altura, inflorescencia en panícula angosta de 10 – 17 cm de largo, espiguilla multiflora de 0.9 – 1.0 cm de largo, lemma de 0.6 – 0.7 cm de largo, ligeramente aristada o acuminada, glumas agudas más cortas que la lemma, desiguales, la inferior 0.4 cm de largo, uninervada; la superior mayor a 0.55 cm de largo, 3 nervas; tallos, floríferos son sobresalientes a los tallos vegetativos; raíz adventicia, fasciculada, fibrosa y profunda (Maddaloni y Ferrari 2001) su propagación, es vía semilla botánica y vegetativa (Paca *et al.* 2003). Esta especie se distribuye desde 16° hasta 30°C, entre 2500–4800 m de altitud, crece en suelos rocosos, laderas de altas montañas, cerca de los cuerpos de agua, y está distribuida en Chile, Argentina, Bolivia y Perú (Ospina 2016).

*Calamagrostis vicunarum* (wedd) Pilg. “Orqo paqu”, “crespillo”: Planta en mata densa y con numerosos culmos, de 5 – 35 cm de alto, lígula 0.5 – 1.5 mm, muy finamente ciliada. Hojas filiformes, a veces curvadas que terminan abruptamente en una punta amarilla de 2 – 4.5 cm de largo. Panícula angosta más o menos 1 cm. de ancho, densa purpúrea o verde pálida, 5 cm. de longitud, flósculo de 0.3 cm de largo; glumas de 0.5 cm de largo, raquilla 0.5 – 1 mm ligeramente pubescente y con pocos pelos terminales más largos (Tovar 2003) Próspera en suelo seco o algo húmedos de textura mediana y pesada, mayormente se encuentran en praderas nativas y su propagación es una semilla botánica y vegetativa (Paca *et al.* 2003).

Tanto *Festuca humilior* como *Calamagrostis vicunarum* han co-evolucionado bajo la presión de herbívoros, sin embargo, una apropiada presión de pastoreo y sistema de pastoreo favorece la estabilidad de la estructura florística del pastizal, mientras que los contrarios pueden conducir al pastizal en la pérdida de vigor, productividad e incluso desaparición de especies. La intensidad de pastoreo, se refleja primero en el vigor (volumen) de las especies, más tarde en densidad, composición y estabilidad del suelo, por tanto, el vigor es un indicador que proporciona información valiosa en relación a las tendencias de corto tiempo (Woolfolk 1956).

El vigor es una advertencia de que el cambio es inminente, este indicador es uno de los más importantes en estudios de condición y una expresión positiva de vigor denota una buena reserva de carbohidratos acumulados en corona o raíces. Así mismo una planta vigorosa muestra un buen crecimiento en altura, abundancia de follaje y rápida producción de flores (Pellant *et al.* 2000). La salud del pastizal según la Academia Nacional de las Ciencias (NRC) es considerada como una alternativa, para el concepto de condición y define la salud del

pastizal como el grado en el que la integridad del suelo y los procesos ecológicos de los ecosistemas de pastizal son mantenidos. En esta definición la integridad se refiere al mantenimiento de las características de los atributos funcionales de un lugar (Pellant *et al.* 2000).

La integridad de los pastizales puede ser distribuida con el sobrepastoreo recurrente, el cual puede provocar gradualmente la invasión de plantas leñosas, la reducción de la cobertura vegetal, quedando así el suelo expuesto a la erosión, eólica e hídrica (Rzedowski 1986). Esta situación conlleva a grandes pérdidas de suelo, una pérdida calculada en pastizales con áreas desnudas de hasta 7.081 Kg. de suelo por hectárea por año, en contraste sitios con cubierta vegetal superior al 30 por ciento la pérdida disminuye en promedio a 70 kg/ha en un mismo ciclo de lluvias (Serna y Echavarría 2002). La calidad del suelo y la salud del pastizal son interdependientes, la salud del pastizal se caracteriza por el funcionamiento de suelo y comunidades de plantas, mientras que la capacidad del suelo afecta la función de los procesos ecológicos, la captura, almacenamiento y redistribución de agua, el crecimiento de plantas y el ciclo de los nutrientes.

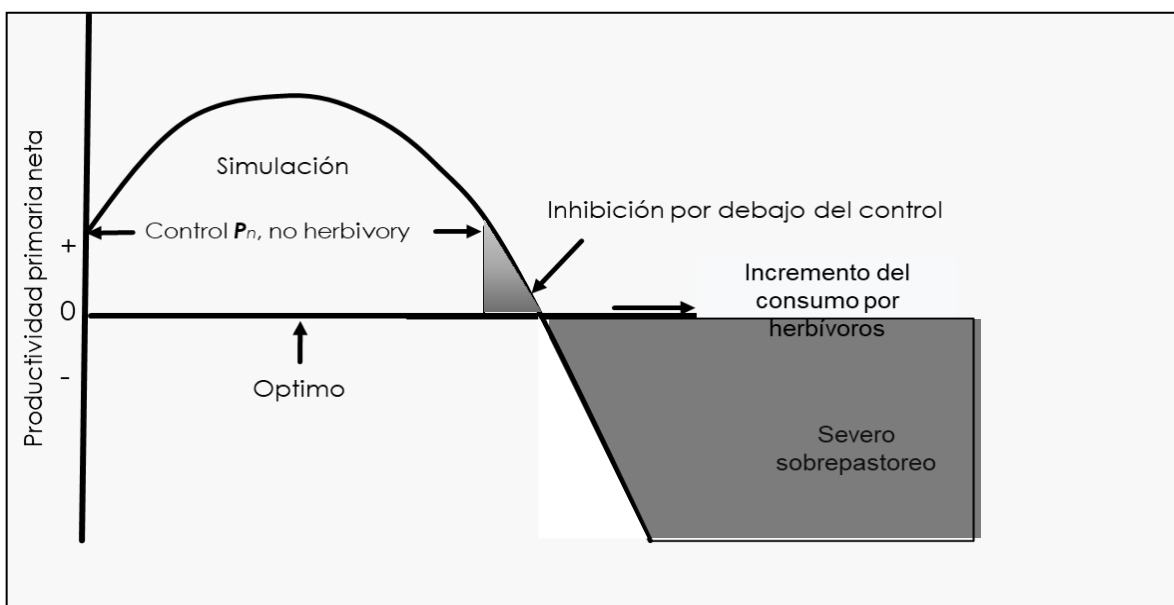
Los atributos e indicadores de la salud del pastizal, la producción, composición y densidad de la vegetación, así como la estabilidad de suelo, se utilizan como indicadores de la condición del pastizal o capacidad de carga. La determinación de la salud del pastizal se determina por medio de un grupo de indicadores claves. El producto de la evaluación cualitativa no es simplemente una calificación de la salud, sino la evaluación de los atributos: estabilidad de suelo/sitio (ES), funcionalidad hidrológica (FH) e integridad biótica (IB) (Herrick *et al.* 2003; Pellant *et al.* 2000).

### **2.3. IMPACTO DEL PASTOREO**

La intensidad de uso inadecuada de un pastizal puede constituirse una perturbación negativa y perjudicial en la estructura y el funcionamiento de las comunidades de pastizales (McNaughton 1985). Las prácticas de manejo inadecuadas, la sobreexplotación de los recursos y la falta de prácticas de conservación se encuentran entre las causas principales de la degradación del suelo en los pastizales andinos (Recharte *et al.* 2009). En los pastizales subhúmedos templados de América del Sur, el pastoreo promueve cambios en la riqueza, diversidad y dominancia de las especies.

El pastoreo afecta de manera directa a la parte aérea de la vegetación e indirecta a la subterránea (López *et al.* 2016). El efecto del pastoreo sobre la productividad primaria neta aérea (PPNA) ha sido muy estudiado en pastizales (Milchunas y Lauenroth 1993). En cambio, el efecto del pastoreo sobre la productividad primaria neta subterránea (PPNS) es relativamente menos conocido (López *et al.* 2015). La ganadería puede modificar todo el sistema ya que el grado de utilización del pastizal puede afectar indirectamente el balance de agua a través de cambios en la estructura de la vegetación y en los atributos del suelo superficial (Bisigato y López 2009)

En estudios de pastoreo, se usan términos como es el “factor de uso”, el cual se define como el crecimiento anual de forraje, que puede ser consumido por los animales (Huss *et al.* 1986). El concepto de uso está relacionado con la conservación del recurso, es decir, una cosecha adecuada del pasto por parte de los animales, estimula la conservación del pastizal y su potencial de producción. Un correcto uso y conservación de la pradera, plantea consumir de un 50 a 60 por ciento del crecimiento anual acumulado, expresado en peso de la planta. En Figura 1 se observa la estimulación potencial de la productividad primaria por el consumo de los herbívoros. La flecha indica consumo óptimo para maximizar la simulación de la productividad primaria neta (McNaughton 1979).



**Figura 1. Estimulación potencial de la productividad primaria por el consumo de los herbívoros**

Fuente: McNaughton (1979)

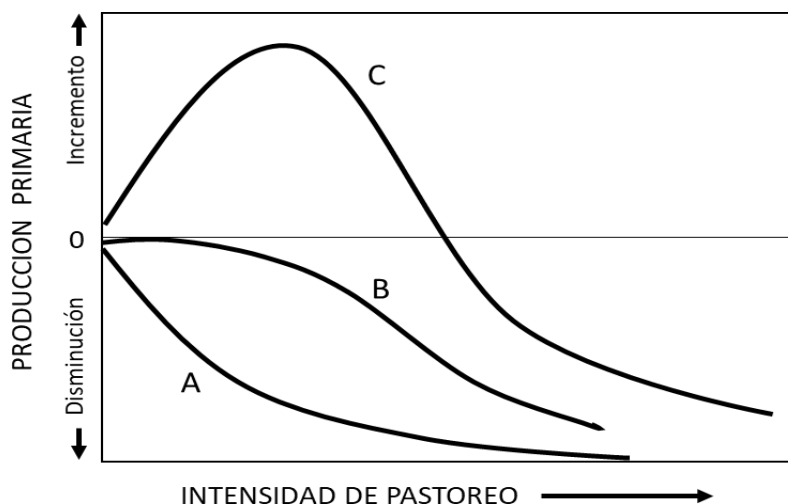
A nivel global en pastizales, la respuesta de la PPNS al pastoreo no presenta una tendencia clara en pastizales que reciben una precipitación acumulada anual superior a 800 mm se

observaron respuestas en su mayoría positivas del pastoreo sobre la PPNS. Además, el pastoreo puede modificar la estacionalidad de la biomasa subterránea (López *et al.* 2015). La PPNS representa, en promedio, el 70 por ciento de la PPN total, lo que constituye una de las determinantes principales del secuestro de C por parte de los pastizales (Piñeiro *et al.* 2010). Se ha observado también que la fracción más superficial explica una gran parte de la PPNS del perfil del suelo (López *et al.* 2016)

En los pastizales, las especies vegetales frecuentemente muestran adaptaciones morfológicas y/o fisiológicas que parecen responder a la acción conjunta de la sequía y el pastoreo. Así Coughenour (1985). Algunas características que confieren a las especies resistencia al pastoreo también le confieren tolerancia a la aridez por lo cual se esperaría que las especies mejor “defendidas” de los herbívoros sean también las más tolerantes a la sequía. Por ejemplo, las altas concentraciones de lignina y sílice que presentan algunas gramíneas disuaden a los herbívoros de ser pastoreadas, ésta es la estrategia de resistencia, si bien la función de estos compuestos indudablemente resulta crucial tanto para el soporte estructural como para la tolerancia a la sequía (Coughenour 1985). No obstante, las teorías de co-evolución entre plantas y herbívoros proponen otras estrategias alternativas por parte de las plantas como la tolerancia a la remoción de biomasa, que permite que una serie de mecanismos fisiológicos reduzcan los efectos negativos de la pérdida de tejido a través de una mayor tasa de crecimiento por unidad de biomasa, que muchas veces puede incluso sobre compensar la pérdida de tejido (Oosterheld y McNaughton 1991). Una tercera estrategia es la del escape, que describe a aquellas especies que evaden a los herbívoros espacial o temporalmente, como las especies rastreras o las anuales.

La respuesta de las plantas a la intensidad de pastoreo interactúa con la disponibilidad de agua en el suelo, a disponibilidades hídricas intermedias, la menor biomasa aérea por unidad de raíz, le permitiría un mejor estado hídrico y el efecto de la defoliación sería menos negativo (Oosterheld y McNaughton 1991). Un meta análisis realizado por Hawkes y Sullivan (2001) concluye que las monocotiledóneas en general crecen significativamente más cuando son defoliadas en situaciones de alta disponibilidad agua y otros recursos respondiendo al modelo de respuesta continua de Maschinski y Whitham (1989) este modelo propone que el crecimiento compensatorio es mayor en ambientes con alta disponibilidad de recurso debido a que grandes cantidades de recurso facilitan el reemplazo de los tejidos perdidos por la defoliación.

En la Figura 2 se observa respuestas potenciales de la producción primaria al incrementarse la intensidad de pastoreo como indica la hipótesis de la optimización del pastoreo. La producción primaria (A) puede disminuir con el incremento de la intensidad del pastoreo, (B) puede no ser afectada hasta niveles intermedios de intensidad de pastoreo y luego decrecen, o (C) incrementan con el incremento de la intensidad de pastoreo a un nivel óptimo y luego decrecen (Detling 1988)



**Figura 2. Tres respuestas potenciales de la producción primaria al incrementarse la intensidad de pastoreo**

Fuente: Detling (1988)

Los impactos ecológicos del sobrepastoreo continuo, se dan sobre cada una de las grandes categorías de factores limitantes de la productividad: a) Biológicos; vegetación y fauna, b) Edáficos; suelo y c) Climáticos; temperatura y humedad (Pascual 1994). El principal factor de impacto sobre los pastizales es el pastoreo, el cual responde en función de la especie o combinación de especies pastoreadas, la época de pastoreo, la intensidad y frecuencia de pastoreo, los periodos de descanso, la distribución del pastoreo sobre la superficie total del pastizal, la apetecibilidad relativa de las especies forrajeras y los cambios sufridos en la apetecibilidad durante la época de crecimiento (Pascual 1994).

Un pastoreo severo durante el rebrote puede reducir fuertemente el crecimiento futuro del follaje y el almacenamiento de carbohidratos. Si la defoliación severa en este periodo continua por varios años sucesivos, la planta eventualmente morirá. La producción de forraje de los años siguientes también decrecerá con el uso severo durante la estación de crecimiento. En el invierno, durante la etapa de descanso, la planta mantiene una reserva alta

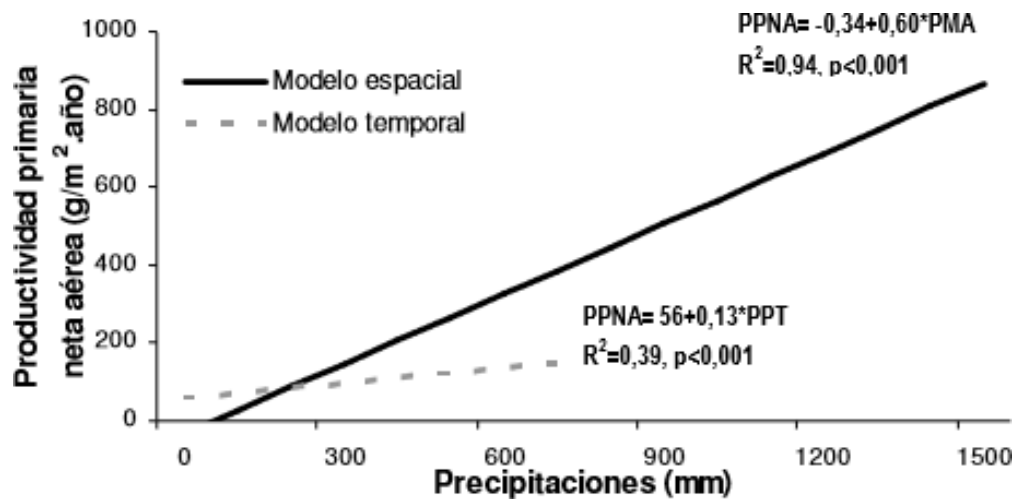


de carbohidratos y puede ser utilizada con menor daño; esto no implica la defoliación al 100 por ciento, ya que muchas herbáceas, especialmente a gramíneas, almacenan carbohidratos en las yemas basales y si son consumidos, la reserva de carbohidratos se reducirá sensiblemente. Las plantas perennes al entrar en descanso, movilizan sus carbohidratos de las hojas y los tallos hacia las raíces y yemas, donde permanecerán en reserva hasta el rebrote de la planta en la siguiente primavera (Pascual 1994).

La defoliación es más perjudicial cuando las reservas de carbohidratos se encuentran en el nivel más bajo; esto es cuando la planta inicia el crecimiento de primavera y que aún no hay suficiente tejido fotosintético. La defoliación severa o frecuente reduce el desarrollo posterior de la planta, especialmente de su sistema radicular. En una primera etapa se interrumpe la elongación y la profundidad de las raíces. El efecto de la defoliación sobre el crecimiento y funcionamiento de las raíces dependen de la intensidad, frecuencia y época de la defoliación. Aunque la composición química y la digestibilidad de un forraje presentan grandes variaciones entre especies, suelo y época del año, se ha comprobado que el valor forrajero varía también con la frecuencia de la defoliación. Generalmente, a una severidad mayor la defoliación corresponde a una menor calidad del forraje, a menos que las condiciones sean favorables para el rebrote rápido. Las plantas ligeramente pastoreadas son más saludables y vigorosas que las plantas no pastoreadas (Pascual 1994).

#### **2.4. IMPACTO DE LA PRECIPITACIÓN**

Una de las relaciones mejor documentadas en la ecología de pastizales es la relación positiva y lineal que existe entre la productividad primaria neta aérea (PPNA) y la precipitación anual media (Lauenroth 1979; McNaughton 1985; Lauenroth y Sala 1992) (Figura 3). Los dos modelos más importantes propuestos, para predecir el comportamiento de la PPNA en función de la precipitación contemplan la respuesta desde el punto de vista espacial y temporal. El modelo espacial plantea un aumento de la productividad en un gradiente espacial de precipitaciones (Lauenroth y Sala 1992), donde se utiliza la PPNA de un ecosistema con una estructura de vegetación diferente a cada nivel de precipitación, mientras que el modelo temporal, relaciona las precipitaciones anuales y la productividad de un mismo lugar a través de tiempo, muestra un incremento menos pronunciado de la productividad por milímetro de lluvia precipitado (Lauenroth y Sala 1992).



**Figura 3. Relación entre la productividad primaria neta aérea y la precipitación anual en el tiempo (modelo temporal) y en espacio (modelo espacial) para pastizales de las grandes llanuras de Norteamérica**

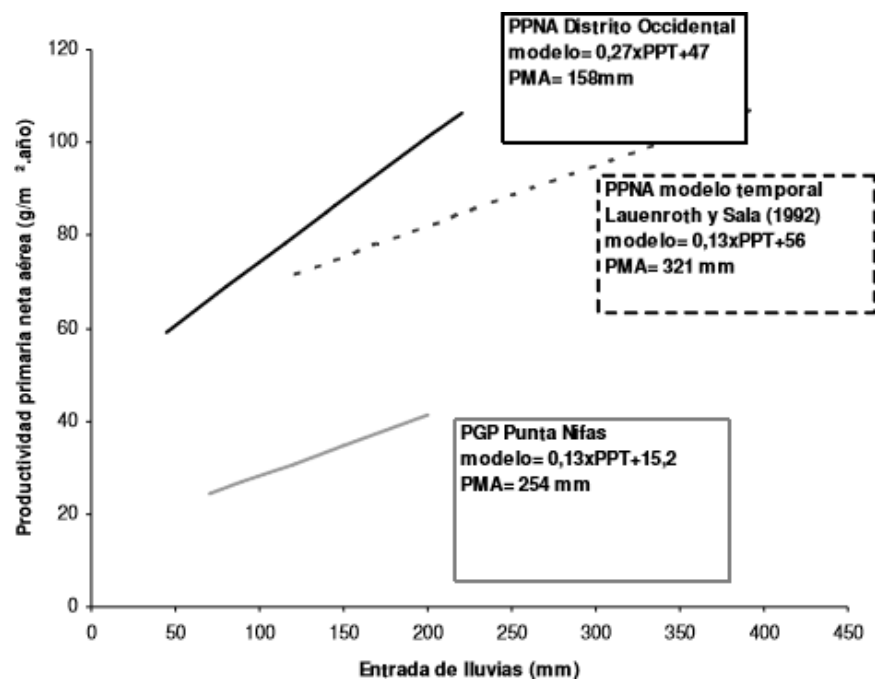
Fuente: Laueronth y Sala (1992)

El nivel de precipitación afecta la duración de la estación de crecimiento ejerciendo así un efecto indirecto sobre la productividad secundaria (Hall 2000). En esta estepa se ha encontrado que la mayor disponibilidad de agua en el suelo provoca un alargamiento de las etapas de crecimiento de *Stipa tenuis* (Bisigato y López 2009). En los ecosistemas áridos y semiáridos las precipitaciones son escasas y muy variables, ingresando al sistema en forma de pulsos más o menos discretos. La naturaleza episódica del ingreso de agua en estos ecosistemas tiene consecuencias directas en la mayoría de los procesos biológicos, así como consecuencias indirectas, por ejemplo, a través de sus interacciones con el suelo (Austin *et al.* 2004). Por otro lado, las reducciones de la precipitación no impactan por igual a todas las especies. Por ejemplo, en la estepa Patagónica, la sequía actúa de manera diferencial sobre las gramíneas y arbustos, grupos funcionales de vegetación más característicos (Yahdjian y Sala 2006).

En los ecosistemas áridos, la fenología responde a la disponibilidad de agua (Reynolds *et al.* 1999) y es fuertemente afectada por las diferencias en las precipitaciones anuales (Ghazanfar 1997). En los pastizales áridos del centro de Estados Unidos, se ha observado una respuesta de la vegetación a las lluvias asimétricas de los años húmedos respecto de los años secos. Esta asimetría estaría dada por la existencia de mecanismos, como el ajuste fisiológico al estrés hídrico, que amortiguan el efecto en los años secos, mientras que las restricciones estructurales, que reducen la respuesta al aumento de la disponibilidad hídrica, no serían tan severas. En otras palabras, estos sistemas tienen una respuesta más atenuada frente a años

secos (poca reducción de la PPNA) y una respuesta más evidente frente a los años húmedos (gran aumento de la PPNA) (Knapp y Smith 2001).

Interceptores de lluvia han sido diseñados para simular sequía de intensidad variable en un experimento a campo en la estepa Patagónica, Sudoeste de Chubut, Argentina. Los modelos contenían 6, 10 o 14 bandas de acrílico y fueron diseñados para interceptar el 30, 55 u 80 por ciento de la precipitación, que era colectada en un tanque flexible ubicado al lado de la parcela experimental. Un modelo con 10 bandas de acrílico, fue utilizado para interceptar el 55 por ciento de la precipitación y simular una sequía de mediana intensidad (Yahdjian y Sala 2011). Figura 4 muestra en el primer modelo de regresión se construyó con cuatro niveles de intercepción de lluvia, un control y un nivel de riego (Yahdjian y Sala 2006). El segundo modelo se construyó con dos niveles de intercepción de lluvia, un nivel control y dos niveles de riego. El modelo temporal es el propuesto por Lauenroth y Sala (1992).



**Figura 4. Modelos que relacionan la productividad primaria neta aérea (PPNA) a través de un gradiente temporal de lluvia**

Fuente: Yahdjian y Sala (2006); Lauenroth y Sala (1992)

El grupo de Investigación en Recursos Naturales de la EEA Santa Cruz impulsa el trabajo “Impacto de la sequía sobre el crecimiento y calidad de forraje en el pastizal natural”, con el objetivo de conocer cómo la sequía interfiere en la cantidad y calidad de forraje producido en la zona sur de Santa Cruz. El trabajo se desarrolla desde el año 2014 en la Estancia Los Pozos, establecimiento ganadero situado frente a la costa del Río Gallegos. La productividad primaria del ecosistema y la composición de especies vegetales de los pastizales están directamente relacionadas con la distribución estacional y las cantidades anuales de las precipitaciones, que son variables entre años. Indirectamente, la productividad de los pastizales está controlada por otras variables climáticas, como la temperatura y el tipo de suelo (Yahdjian y Sala 2011).

Los modelos de circulación general de la atmósfera (MCG) son una representación espacial y temporal aproximada de los principales procesos físicos que ocurren en la atmósfera y de sus interacciones con otros componentes del ambiente. En la actualidad, son las herramientas más confiables para la investigación del clima futuro, sus fluctuaciones y variaciones en precipitación se estimaron de 12 combinaciones de modelos climáticos globales de la IPCC (2013) y escenarios de emisión para luego obtener los resultados donde se puede apreciar un resumen de las proyecciones realizadas para la cuenca del Mantaro al año 2050. Así como aumento de temperaturas promedio en verano de 1.3°C, disminución en la humedad relativa de 6 por ciento en verano, disminución de precipitaciones en las zonas norte, centro y sur en 10, 19 y 14 por ciento, e incremento en el número de días con heladas en los meses de verano de 30 días.

En zonas entre los 3500 a 4200 msnm, las proyecciones de estos modelos indican que la disminución de lluvias en verano será de alrededor de 6 por ciento; situación que se prolongará hasta el otoño (5 por ciento), mientras que en invierno se estima que la reducción de lluvias será aproximadamente de 35 por ciento. Si a ello superponemos un escenario más cálido en el que las temperaturas extremas se incrementarán entre 2.5°C y 3.3°C; para finales de siglo esta zona con aptitud para la producción animal estaría, pero altamente vulnerable a los cambios del clima en el mediano y largo plazo estaría enfrentando perturbaciones severas (Donald 2013).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se realizó en la Sociedad Agrícola de Interés Social (SAIS) Túpac Amaru, ubicada en la provincia de Jauja, departamento de Junín, ubicado en la zona central del país, sus coordenadas son 11°57' 16.47" S, 75°42'24.89" O a 4186 msnm, abarca territorios de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes en diversas altitudes, incluyendo valles y punas de la sierra. Pertenece a zona de vida de Paramo muy húmedo – subalpino tropical (Figura 5). La precipitación pluvial promedio anual observada es de 650 mm, a una altitud entre los 3500 y 4800 msnm (Caballero *et al.* 2018). La SAIS Tupac Amaru tiene como actividad principal la crianza de tipo extensivo de ganado ovino y vacunoslecheros de raza Brown Swiss (Caballero *et al.* 2018). Los sistemas extensivos de la SAIS ocupan áreas de pastos naturales. El sistema el pastoreo utilizado es el rotativo; las zonas de pastoreo (canchas) se caracterizan por un cercado parcial o total de las unidades de producción (Núñez *et al.* 2006).

El área experimental es denominada “Mesa pata” y corresponde a la unidad de Producción Consac, ubicado a 413 msnm, el área experimental abarca una extensión de 2500 m<sup>2</sup> (50m x 50m) que fue debidamente cercada.

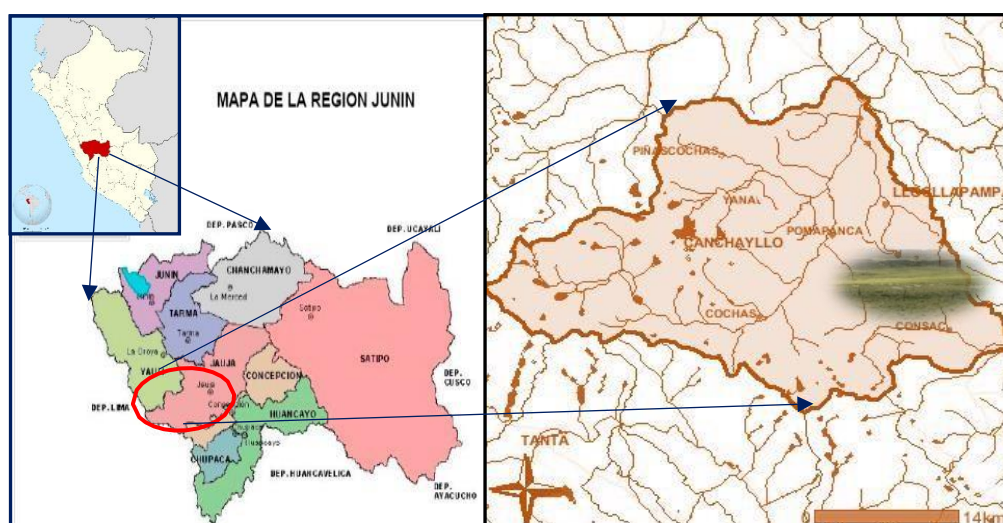
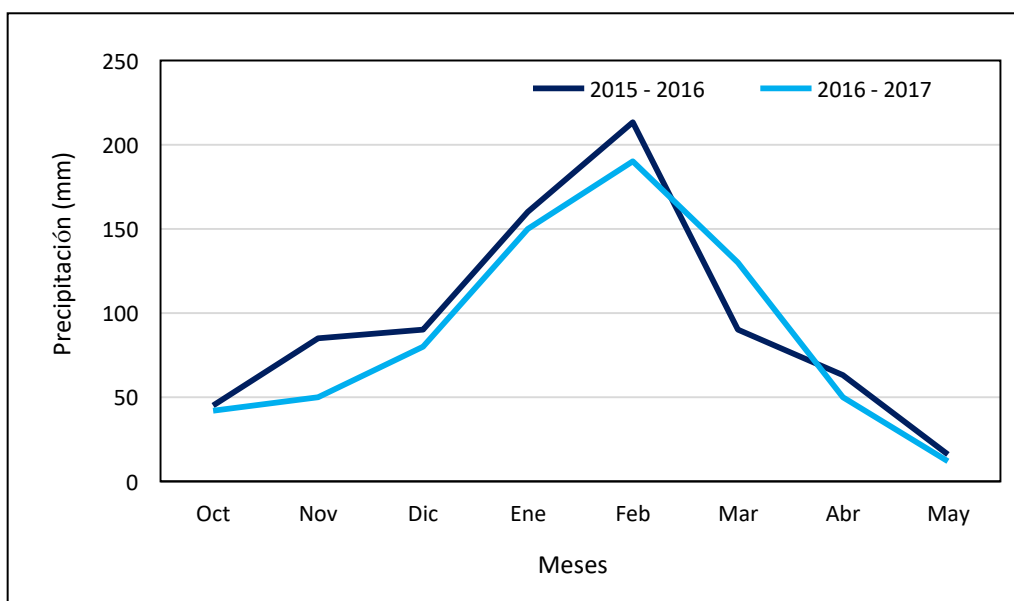


Figura 5. Ubicación de la zona de investigación

### 3.1.1. Patrones de precipitación y temperatura

Los patrones de temperatura ambiental corresponden a un clima templado a frío, muestran una temperatura máxima anual que oscila de 8 a 14°C y temperatura mínima anual oscila de -1 a 3°C (SENAMHI 2007). En la zona de investigación se reportaron temperaturas de suelo de 15.6°C para los meses de febrero a mayo, mientras, para los meses de junio a agosto fue de 11°C (Ávalos 2006). Existe una variación significativa de la temperatura del suelo entre la temporada de lluvias y la temporada seca; en cambio, la humedad del suelo osciló entre 21 a 27 por ciento durante todo el año, siendo mayor en los meses de enero a mayo; y menor entre junio y noviembre; donde el mes de menor humedad fue junio con 21.3 por ciento.

Se utilizó un pluviómetro para registrar las precipitaciones mensuales durante el periodo que duro el estudio de octubre a mayo (2015-2016 y 2016-2017) (Figura 6). De los registros obtenidos, se observa que los niveles de precipitación registrados para cada temporada fueron de 762.3 y 704.0 mm respectivamente, lo cual muestra una disminución de aproximadamente 7.6 por ciento de los niveles de precipitación con respecto a primer año evaluada.

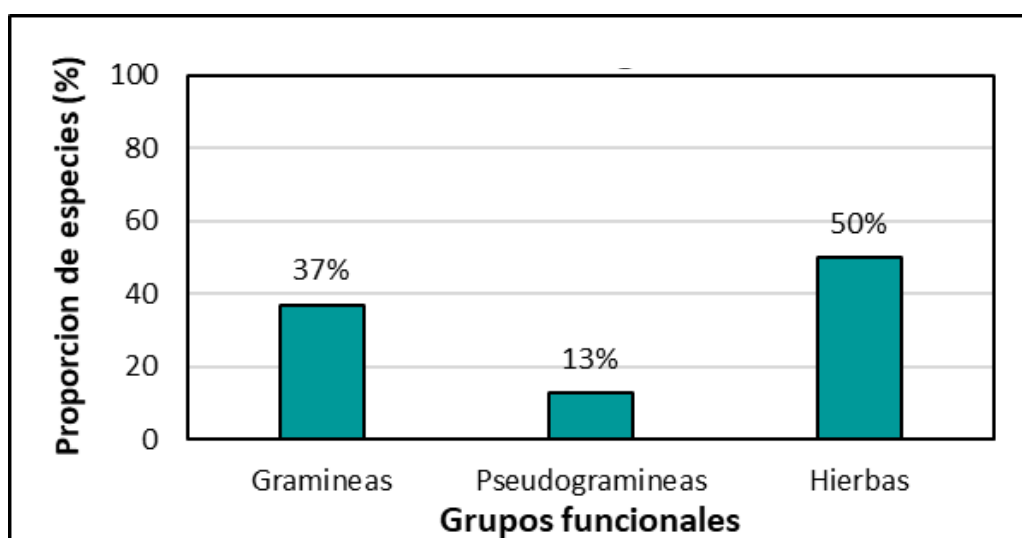


**Figura 6. Registros de precipitación en periodos de octubre a mayo durante (2015a 2017) en el área de estudio**

### 3.1.2. Características de la comunidad vegetal

La comunidad vegetal del área de estudio presenta una alta diversidad de especies, las gramíneas presentes son: *Calamagrostis spicigera*, *Nassella brasiphylia*, *Aciachne pulvinata*, *Calamagrostis rigescens*, *Calamagrostis vicunarum*, *Festuca humilior*, *Mulembergia fastigiata*, *Poa candamoana*, *Poa marshallii*, *Poa spicigera*, *Agrostis breviculmis*, *Bromus modestus*, *Mulembergia peruviana* y *Hordium muticum*; las pseudogramíneas; *Carex ecuadorica*, *Carex sp*, *Eleocharis albibracteata*, *Luzula racemosa* y *Trichophorum rigidum*; y las Herbáceas; *Plagiocheilus soliviformis*, *Werneria nubigena*, *Werneria pygmaea*, *Alchemilla pinnanta*, *Hypochoeris taraxacoides*, *Plantago tubulosa*, *Ranunculus peruvianus*, *Lobelia oligophylla*, *Lucilia piptolepis*, *Taraxacum officinale*, *Arenaria sp*, *Paranephelium uniflorus*, *Arenaria digyna*, *Gentiana sedifolia*, *Geranium sessiliflorum*, *Oreomyrrhis andicola*, *Oxalis sp*, *Castilleja nubigena* y *Cerastium danguyi*

Durante el periodo de estudio, la composición florística estaba constituida de 38 especies, de cuales 14 especies (37 por ciento) representan a las gramíneas. Las especies más dominantes de la comunidad vegetal fueron: *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum*. Las herbáceas son el segundo grupo en importancia con 19 especies que representan el 50 por ciento en la estructura de la comunidad vegetal y finalmente el grupo de pseudogramíneas con 5 especies representan solo un 13 por ciento (Figura 7).



**Figura 7. Estructura de las comunidades vegetales en la zona de estudio basecobertura**

El área de estudio presenta suelos bien desarrollados, profundos y de textura franca o franco arenoso que corresponden en su mayoría al orden Mollisol y contienen un horizonte A con buen contenido de materia orgánica y un horizonte B que se caracteriza por la presencia de arcilla (lo que evidencia un buen desarrollo del perfil). En general los suelos de pastizales tienen una gran capacidad de retener agua gracias al alto contenido de materia orgánica, sin embargo, son deficientes en iones disponibles de nitrógeno debido a las bajas tasas de mineralización que son restringidas por las temperaturas bajas que predominan en estos ecosistemas (Castañeda 2007).

En general los pastizales de la región Junín, ubicados generalmente por encima de los 3400 msnm, Presentan bajos niveles de potasio, fósforo y nitrógeno. En cuanto a la conductividad eléctrica, por lo general no presentan problemas de sales y presentan un pH que esta entre 6.2 a 6.6 (Castañeda 2007).

## **3.2. TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES**

### **3.2.1. Recorte de la precipitación**

El estudio involucró la simulación de tres niveles de recorte de precipitación, con este fin se construyeron los “*rainout shelters*” (interceptores de lluvia) con los que se simularon dos escenarios de sequía. Estos interceptores se confeccionaron utilizando piezas de acrílico transparente de 1.85 metros de largo por 11 cm de ancho con una concavidad en todo el largo para poder drenar el agua de lluvia. El área de cada interceptor fue de 2.83 m<sup>2</sup> (1.85 m x 1.53 m); el techo compuesto de bandas de acrílico se logró interceptar la lluvia.

Este interceptor es una adaptación del modelo de intercepción de lluvias diseñado por (Yahdjian y Sala 2002). Las variaciones en los interceptores diseñado Yahdjian y Sala (2002) tenían una altura de 0.45 y 1.1 metros con respecto al suelo y un aérea de 3.76m<sup>2</sup> (2mx1.88m) y utilizaron soportes de metal. Los interceptores usados en el presente estudio se adecuaron a la altura potencial que puede llegar los grupos funcionales de nuestro ecosistema, especialmente las gramíneas que en su periodo de máximo crecimiento pueden alcanzar 1.3 metros (Tovar 1993), se utilizó madera en lugar de soportes de metal debido a las características climáticas de la zona y la presencia de rayos en época de lluvias.



Para esta investigación se simularon dos escenarios de sequía y se diseñaron dos tipos de interceptores de lluvia. En Figura 8 muestran los modelos de interceptores, el interceptor a través del cual se logra interceptar el 30 por ciento de lluvia, es decir llega a la parcela el 70 por ciento de la precipitación está compuesto de 4 piezas de acrílico. El modelo de interceptor que intercepta el 60 por ciento de la precipitación está formado por 8 piezas de acrílico para simular el escenario de sequía más extremo. En total, se construyeron 18 interceptores de lluvia y las unidades de control experimental se marcaron con estacas de madera, estas recibieron la cantidad normal de lluvia.



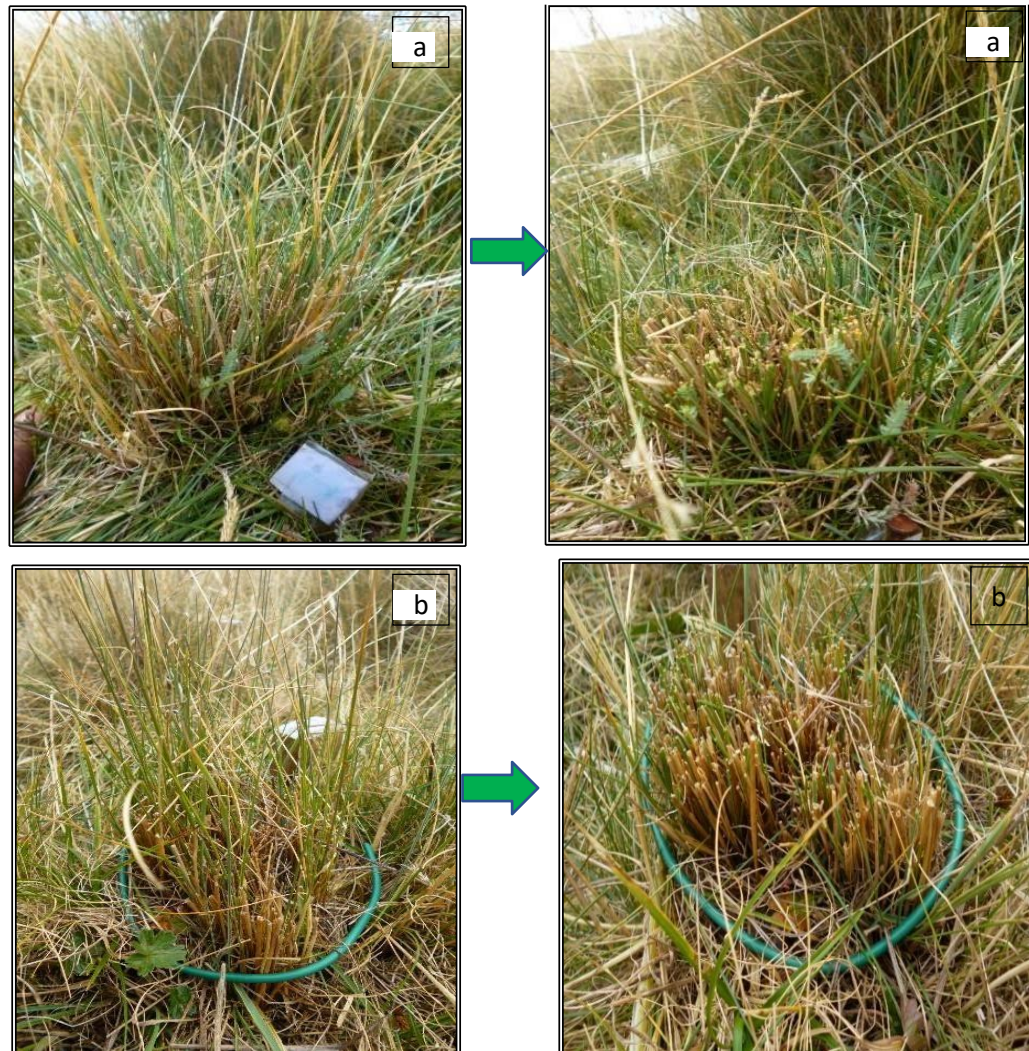
**Figura 8: Modelo de interceptor de 30 por ciento (a) e interceptor de 60 por ciento de la precipitación (b)**

La investigación incluyó la época de lluvia y la época seca, el monitoreo de la respuesta de las dos especies se realizó en el mes de febrero del 2016 y 2017, que representa el periodo de máxima precipitación “pico de lluvia” y en el mes de julio del 2016 y 2017 en el cual históricamente se registra poca o ausencia total de lluvia.

### **3.2.2. Intensidad de Uso**

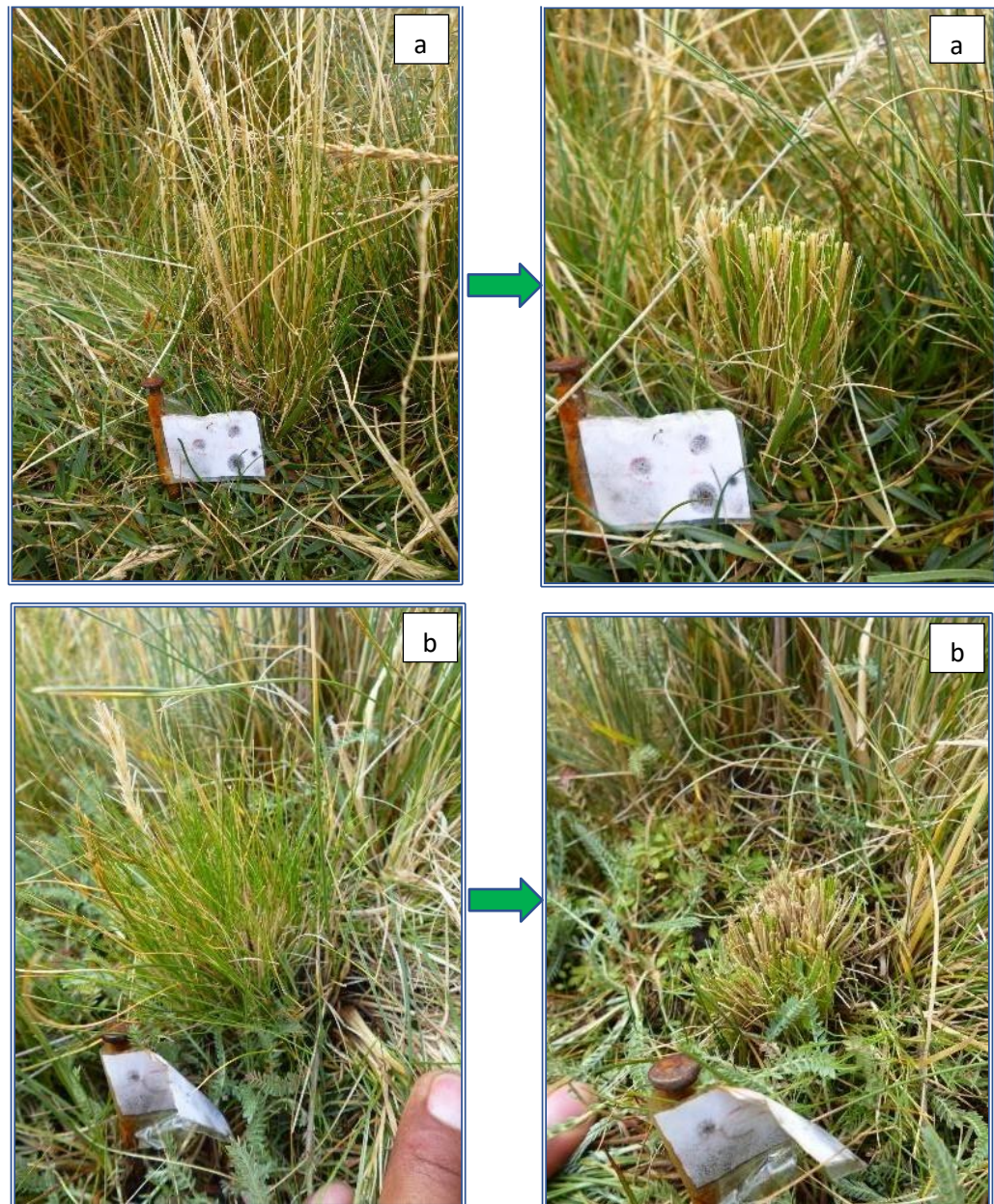
Para evaluar la respuesta de *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum* dos especies claves de pastizales, se simularon tres intensidades de uso a través de cortes manuales, en cada parcela. Se identificó una planta de *Festuca humilior* y otra de *Calamagrostis vicunarum* (por parcela) en las que se realizaron las simulaciones de intensidad de uso a través de todo el periodo de estudio. La simulación se realizó a través de cortes de la biomasa en función de la altura de planta para simular intensidades de uso 40 y 80 por ciento de cada especie estudiada. Se utilizó como referencia de intensidad de uso la altura de planta para facilitar la implementación de las simulaciones, por cuanto las dos especies difieren en tamaño. Se realizaron tres cortes al año (frecuencia de cuatro meses), el primer corte en marzo

del 2016, el segundo corte en Julio 2016 y el tercer corte en noviembre del 2016. Las simulaciones de pastoreo repitieron en el año 2017 (Figuras 9 y 10).



**Figura 9.** Plantas marcadas de *Festuca humilior* en las que ilustran la simulación de niveles de uso 40 por ciento (a) y 80 por ciento (b)





**Figura 10. Plantas marcadas de *Calamagrostis vicunarium* que ilustran las simulaciones de intensidades de us 40 por ciento (a) y 80 por ciento (b)**

### **3.2.3. Tratamientos experimentales.**

Los tratamientos experimentales involucran dos factores, nivel de precipitación y nivel de uso. El factor de precipitación con tres niveles: 100, 70 y 40 por ciento de precipitación. El factor de intensidad de uso con tres niveles: 0, 40 y 80 por ciento. Los tratamientos que resultan de combinación de factores son 9 (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Tratamientos experimentales en el estudio**

<b>Tratamientos</b>	<b>Niveles de Precipitación (Porcentaje)</b>	<b>Intensidad de Uso (Porcentaje)</b>
T-1	Normal – 100	0
T-2	Normal – 100	40
T-3	Normal – 100	80
T-4	Media – 70	0
T-5	Media – 70	40
T-6	Media – 70	80
T-7	Baja – 40	0
T-8	Baja – 40	40
T-9	Baja – 40	80

### **3.2.4. Parámetros evaluados.**

Los parámetros evaluados fueron altura de la planta, volumen y productividad, estos parámetros se evaluaron en la época lluviosa (mes Febrero del 2017) y en época seca (Julio del 2017).

#### **a. Altura.**

La altura es el atributo morfológico de las especies vegetales y es un parámetro sensible a cambios abióticos precipitación y bióticos (pastoreo). La altura es un parámetro que corresponde a una variable continua y sus límites extremos, inferior y superior no corresponden a puntos fijos sino relativos, de acuerdo al uso, características o estados de las especies (Malleux 1982). Este parámetro conjuntamente con el volumen es utilizado para estimar el vigor de las plantas. Para fines del presente estudio la medición de la altura se realizó desde la superficie del suelo hasta la altura de la hoja bandera de la planta (figura 11).



**Figura 11. Fotografía que ilustra la medición de altura en *Festuca humilior***

## b. Volumen.

El volumen es un indicador del vigor de la vegetación, en el presente estudio el volumen se estimó en función de las medidas alométricas de diámetro basal, diámetro de canopia y la altura del matojo a la hoja bandera. El vigor de las matas estuvo representado por la variación del volumen que estos adquirieron en cada momento de evaluación (Weaver y Darlan 1947). Para determinar el volumen de la planta en estudio se utilizó la fórmula de un cono invertido, bajo la siguiente relación:

$$V = \left( \frac{R + r}{2} \right)^2 \times \pi \times h$$

Donde:

V = Volumen de la mata

h = Altura de la mata

R = Radio mayor de la mata

r = Radio menor de la planta

El procedimiento se realizó en cada una de las subunidades experimentales, que incluyeron a dos especies por cada unidad experimental (27 unidades por especie en toda el área de estudio) totalizando 54 plantas para monitorear durante dos años de investigación.

## c. Productividad

La productividad definida como peso acumulado por planta entre cortes, fue estimado por alometría a partir de los resultados obtenidos del vigor de las especies claves: *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum*. El método indirecto y no destructivo utilizado ayudaron a hacer más eficiente el muestreo por corte directo y permitieron obtener una estimación rápida de la cantidad de biomasa presente y en la pradera. El método utilizado se basó en mediciones de altura y peso, y se requirió una calibración por corte directo (Castillo *et al.* 2009).

Para generar la ecuación de predicción de la biomasa se colectaron ejemplares (70) plantas de *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum* que fueron secadas y pesadas en una balanza electrónica. En base a los pesos y los volúmenes se elaboraron ecuaciones alométricas a partir de un análisis de regresión (Figura 12).

$$\text{Peso} = b(\text{volumen}) \pm e$$

De esta forma, se pudo estimar la producción de biomasa de las especies claves en función a su relación peso-volumen (Anexo 1).

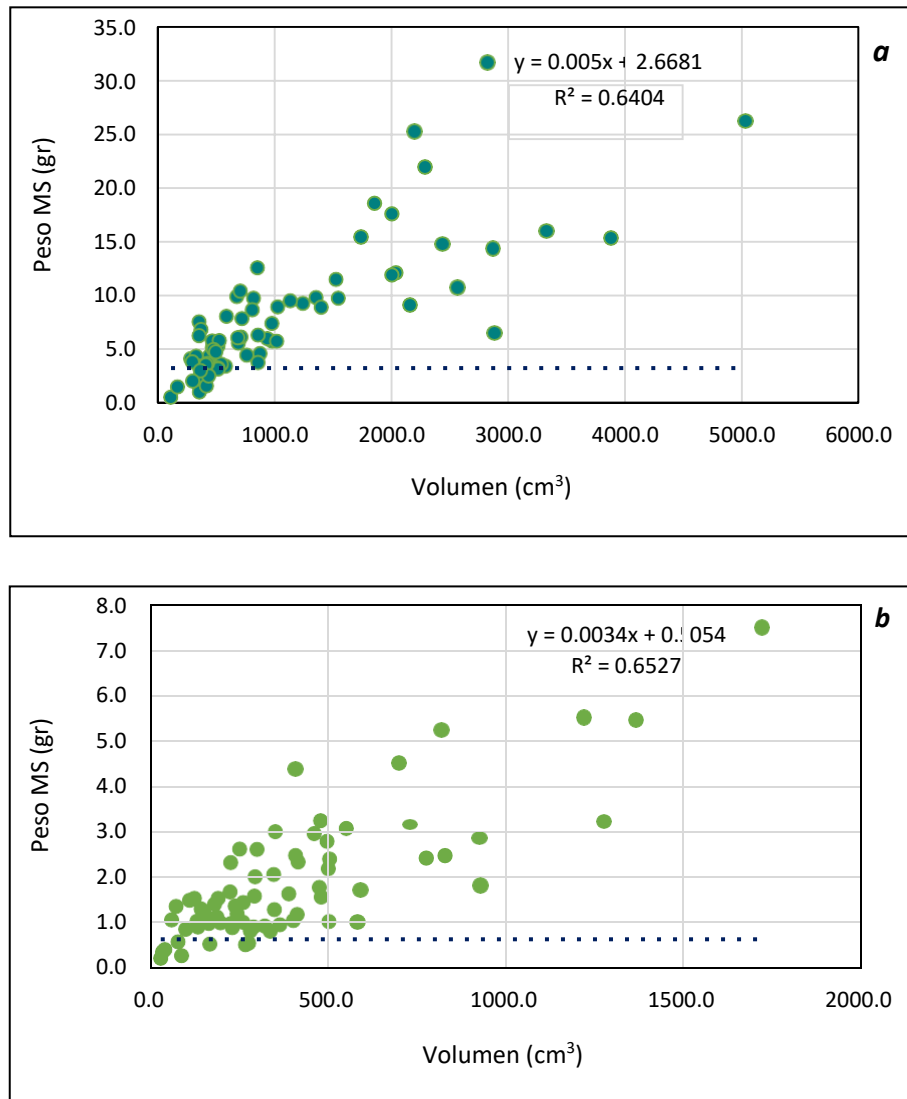


Figura 12. Ecuación de regresión lineal para *Festuca humilior* (a) y *Calamagrostis vicunarum* (b)

### 3.3. DISEÑO ESTADÍSTICO

El diseño utilizado para el análisis de los datos fue Parcela Dividida en Bloques con Arreglo Factorial de 2x3x3 (dos épocas, tres niveles de precipitación y tres niveles de intensidad de uso), con 3 réplicas. Para el análisis de varianza se utilizó el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.4 y para realizar la separación de medias (la prueba de Tukey,  $p < 0.05$ ).

El modelo aditivo lineal es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + Ep_i + R_l + (Ep*R)_{il} + PP_j + NU_k + (PP*NU)_{jk} + PP*NU(Ep)_{ijk} + \epsilon_{ijklm}$$

**Donde:**

$i = 1, 2$  a (hasta “a” épocas),  $j = 1, 2$  y  $3$  b (hasta “b” niveles de precipitación),  $k = 1, 2$  y  $3$  c (hasta “c” Intensidad de pastoreo) y  $l = 1, 2$  y  $3$  r (repeticiones)

- $Y_{ijkl}$  = Variables de respuestas en investigación
- $\mu$  = Media poblacional.
- $Ep_i$  = El efecto del i-ésimo factor “a” época.
- $R_l$  = El efecto del replicas experimentales
- $(Ep*R)_{il}$  = Efecto de la interacción del i-ésimo factor “a” época con la k-ésimo repeticiones (Error A)
- $(PP)_j$  = Efecto del j-ésimo nivel de factor “b” precipitación
- $(NU)_k$  = Efecto del k-ésimo nivel de factor “c” niveles de uso
- $(PP*NU)_{jk}$  = Efecto de la interacción del j-ésimo factor “b” precipitación con k-ésimo nivel de factor “c” niveles de uso.
- $PP*NU(Ep)_{ijk}$  = Efecto de la interacción del j-ésimo nivel del factor “b” precipitación con k-ésimo nivel del factor “c” nivel de uso, está dentro del efecto factor “a” época.
- $\epsilon_{ijklm}$  = Error residual del experimento.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. EFECTO DE LOS NIVELES DE INTENSIDAD DE USO

#### 4.1.1 *Festuca humilior* Nees & Meyen

Los resultados muestran que, altura, volumen y productividad de *Festuca humilior* son diferentes significativamente ( $p < 0.05$ ) en respuesta a los niveles de uso utilizados (0, 40 y 80 por ciento). El Cuadro 2 muestra que altura, volumen y productividad disminuyeron significativamente cuando la intensidad de uso incrementa. *Festuca humilior* reduce en altura significativamente a partir de intensidades de uso moderadas (40 por ciento) lo que muestra que este parámetro es el más sensible para monitorear la respuesta al pastoreo en esta especie. De otro lado, el volumen de planta muestra reducciones significativas ( $p < 0.05$ ) a intensidades de uso del 80 por ciento, sin embargo, se observa (Cuadro 2) que aún a intensidades de uso moderadas (40 por ciento) *Festuca humilior* muestra una reducción del 31 por ciento en volumen y 26 por ciento en productividad con respecto a plantas no pastoreadas.

Las recomendaciones del nivel de uso en pastizales sugieren un 50 por ciento de nivel de uso como moderado (Huss *et al.* 1986) intensidad a la cual la planta pastoreada en lugar de reducir su crecimiento, este es estimulado (McNaughton 1985). Sin embargo, el hecho de que *Festuca humilior* muestre reducciones en volumen y productividad a partir de niveles moderados estaría sugiriendo que esta especie no tolera pastoreos intensos, por lo que *Festuca humilior* debería utilizarse en sistemas de baja intensidad y baja frecuencia, para no alterar sus ritmos de crecimiento, productividad y presencia en el ecosistema. En función de los modelos (Brysk 1991) de respuesta a la intensidad de pastoreo, que plantean tres respuestas diferentes, *Festuca humilior* parece corresponder al de las especies que reducen su productividad rápidamente al incrementarse la intensidad de uso, comparativamente a especies que mantienen su productividad hasta niveles de uso moderados (50 por ciento) y luego decaer (Brysk 1991)



**Cuadro 2. Efecto de los niveles de intensidad de uso en *Festuca humilior***

Parámetros	Niveles de Intensidad de uso (porcentaje)		
	0	40	80
Altura (cm)	15.4 <sup>(a)</sup>	11.4 <sup>(b)</sup>	7.8 <sup>(c)</sup>
Volumen (cm <sup>3</sup> )	2879.20 <sup>(a)</sup>	1995.80 <sup>(ab)</sup>	1417.90 <sup>(b)</sup>
Productividad (gMS/Planta)	17.1 <sup>(a)</sup>	12.6 <sup>(ab)</sup>	9.8 <sup>(b)</sup>

Letras diferentes en la misma fila son significantes con la prueba Tukey ( $p < 0.05$ )

#### 4.1.2 *Calamagrostis vicunarium* (wedd)

Los resultados muestran que *Calamagrostis vicunarium* expresa una reducción significativa ( $p < 0.05$ ) en altura en respuesta a la intensidad de uso del 80 por ciento, mientras que su respuesta en volumen y productividad no es diferente ( $p > 0.05$ ) al incrementarse la intensidad de pastoreo a 40 y 80 por ciento (Cuadro 3). Los niveles de 40 y 80 por ciento de uso determinaron reducciones en altura de orden 8 al 24 por ciento con respecto a las parcelas no pastoreadas. Sin embargo, el análisis de tendencias de los datos revela una reducción en volumen de una magnitud del 7 por ciento a una intensidad de uso de 40 por ciento y una reducción del 31 por ciento a la intensidad de uso de 80 por ciento con respecto a las parcelas no pastoreadas.

Los resultados muestran que la altura de planta cambia en respuesta a una alta intensidad de pastoreo (80 por ciento) pero el volumen no muestra esta misma respuesta estadística, lo que podría deberse a que la reducción en altura estaría siendo compensada con el aumento en el área de la canopia. Esto podría ser resultado de una mayor distribución de recursos hacia la corona y raíces para la activación de yemas basales y producción de mayor número de macollos lo que contribuiría a una mayor área de la canopia por tanto al volumen (Nowak y Caldwell 1984). Así mismo la fotosíntesis compensatoria estaría contribuyendo a un mejor desarrollo de las hojas nuevas, este comportamiento se observa en plantas que tienen tolerancia a la defoliación (Nowak y Caldwell 1984 y Bryske 1991; Rotundo y Aguiar 2008).

**Cuadro 3. Efecto de los niveles de intensidad de uso en *Calamagrostis vicunarum***

Parámetros	Nivel de Intensidad de uso (porcentaje)		
	0	40	80
Altura (cm)	8.3 (a)	7.6 (ab)	6.3 (b)
Volumen (cm <sup>3</sup> )	150.29 (a)	139.38 (a)	103.35 (a)
Productividad (gMS/Planta)	1.0 (a)	1.0 (a)	0.9 (a)

Letras diferentes en la misma fila son significantes con la prueba Tukey ( $p < 0.05$ )

Cuando se compara la respuesta de *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum* (Figura 13) aun cuando no existe significancia estadística claramente se observa que la intensidad de uso tuvo un mayor impacto negativo en la altura, volumen y productividad. *Festuca humilior* es menos tolerante a los aumentos de las intensidades de uso que *Calamagrostis vicunarum*. En figura 13 se observa que la altura de *Festuca humilior* a intensidades de uso moderadas (40 por ciento) presenta una reducción de 26 por ciento mientras que *Calamagrostis vicunarum* se observa una reducción del 24 por ciento recién a intensidades de pastoreo del 80 por ciento.

Los resultados sugieren que *Calamagrostis vicunarum* sería una especie tolerante al pastoreo en parte debido a estrategias de acumulación de reservas disponibles en corona y raíces para la reproducción y el crecimiento como una estrategia para lidiar con el pastoreo y defoliación, mientras que *Festuca humilior* sería menos tolerante y no acumularía dichas reservas.

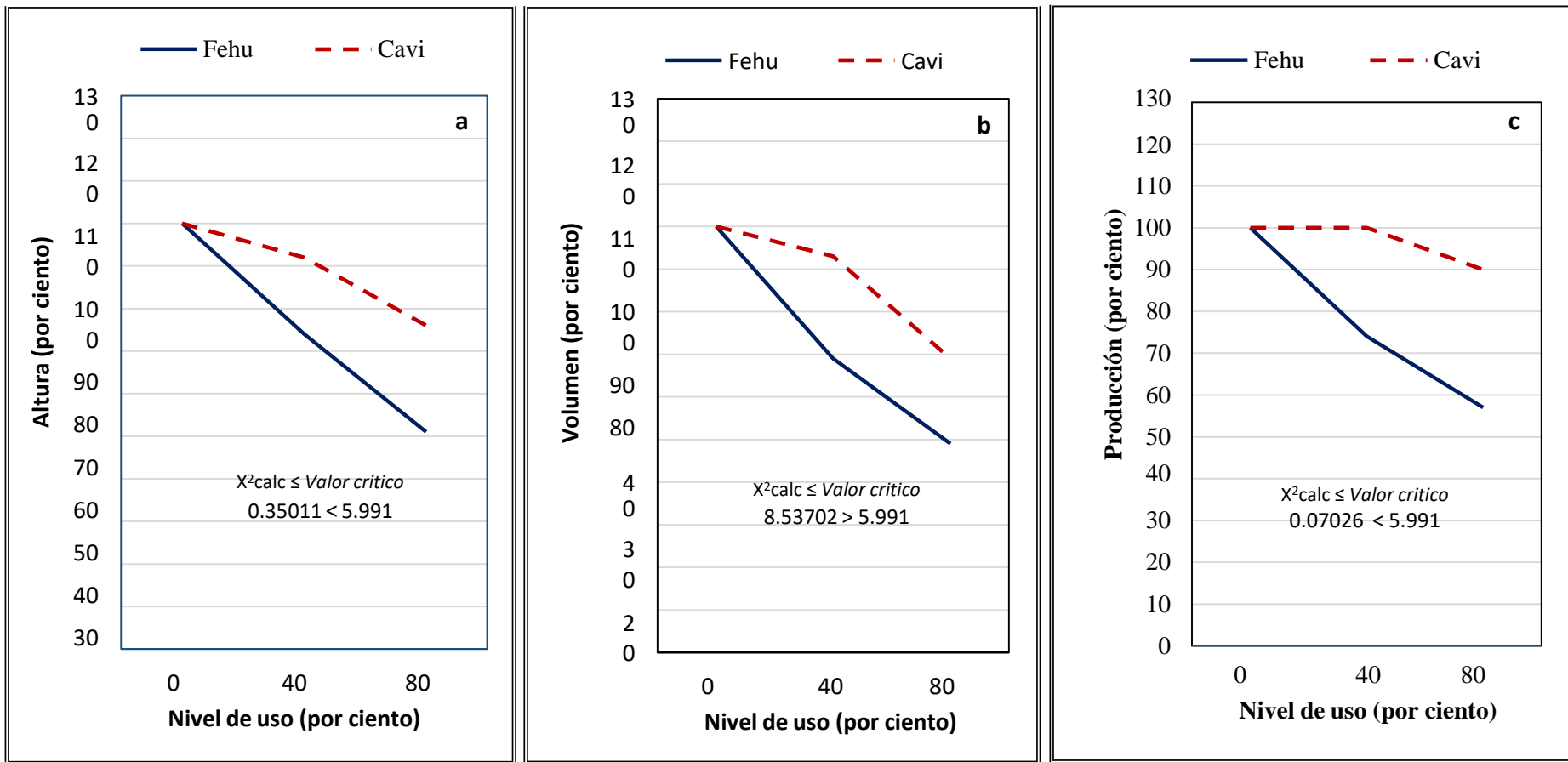


Figura 13. Efecto de intensidad de uso sobre altura (a), volumen (b) y productividad (c) en especies *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum*

#### 4.2. EFECTO DE LOS NIVELES DE PRECIPITACIÓN EN ESPECIES CLAVES *Festuca humilior* Y *Calamagrostis vicunarium*

En resultados presentados en relación al efecto del factor principal, intensidad de uso se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en ambas especies para, altura volumen y productividad en respuesta a la intensidad de uso simulados de 0, 40 y 80 por ciento, pero la respuesta a los niveles de precipitación (100, 70 y 40 por ciento) no muestran diferencias significativas (Cuadros 4 y 5).

Estos resultados no esperados podrían explicarse por la presencia inadvertida al momento de la instalación del estudio de flujo subterráneo en el área de estudio cedida por la SAIS Túpac Amaru. Aparentemente el flujo subterráneo pudo haber influido de manera significativa con la generación de escenarios de sequía a través del uso de interceptores que se utilizaron para restringir el ingreso del agua de lluvia hacia las parcelas en observación.

**Cuadro 4. Efecto de la precipitación en *Festuca humilior***

Parámetros	Nivel de precipitación (porcentaje)		
	100	70	40
Altura (cm)	11.3 <sup>(a)</sup>	11.9 <sup>(a)</sup>	11.4 <sup>(a)</sup>
Volumen (cm <sup>3</sup> )	1965.80 <sup>(a)</sup>	2363.40 <sup>(a)</sup>	1963.80 <sup>(a)</sup>
Productividad (gMS/Planta)	12.5 <sup>(a)</sup>	14.5 <sup>(a)</sup>	12.5 <sup>(a)</sup>

Letras iguales en la misma fila no son significantes con la prueba Tukey ( $p > 0.05$ )

**Cuadro 5. Efecto de la precipitación en *Calamagrostis vicunarium***

Parámetros	Nivel de precipitación (porcentaje)		
	100	70	40
Altura (cm)	7.7 <sup>(a)</sup>	7.2 <sup>(a)</sup>	7.3 <sup>(a)</sup>
Volumen (cm <sup>3</sup> )	125.40 <sup>(a)</sup>	135.54 <sup>(a)</sup>	131.71 <sup>(a)</sup>
Productividad (gMS/Planta)	0.9 <sup>(a)</sup>	1.0 <sup>(a)</sup>	1.0 <sup>(a)</sup>

Letras iguales en la misma fila no son significantes con la prueba Tukey ( $p > 0.05$ )

El Cuadro 6 muestra los promedios de humedad a tres profundidades del perfil del suelo, pudiéndose notar la ausencia de un patrón diferenciado de humedad en respuesta a los tratamientos de recorte del ingreso de la precipitación a la parcela. Se nota también que, a partir de los 20 cm de profundidad del suelo, la humedad se estabiliza y es esencialmente la misma en todos los escenarios de precipitación. La ausencia de las gradientes de humedad esperadas podría deberse al ascenso de agua por capilaridad y al posible levantamiento hidráulico (Gutierrez y Squeo 2004) que se generaba por la diferencia en profundidad de raíces de las especies estudiadas presentes como dominante (*Festuca humilior*) y subdominante (*Calamagrostis vicunarum*) del área de estudio.

**Cuadro 6. Promedios de porcentaje de humedad volumétrica a tres profundidades del suelo en época de lluvia y seca**

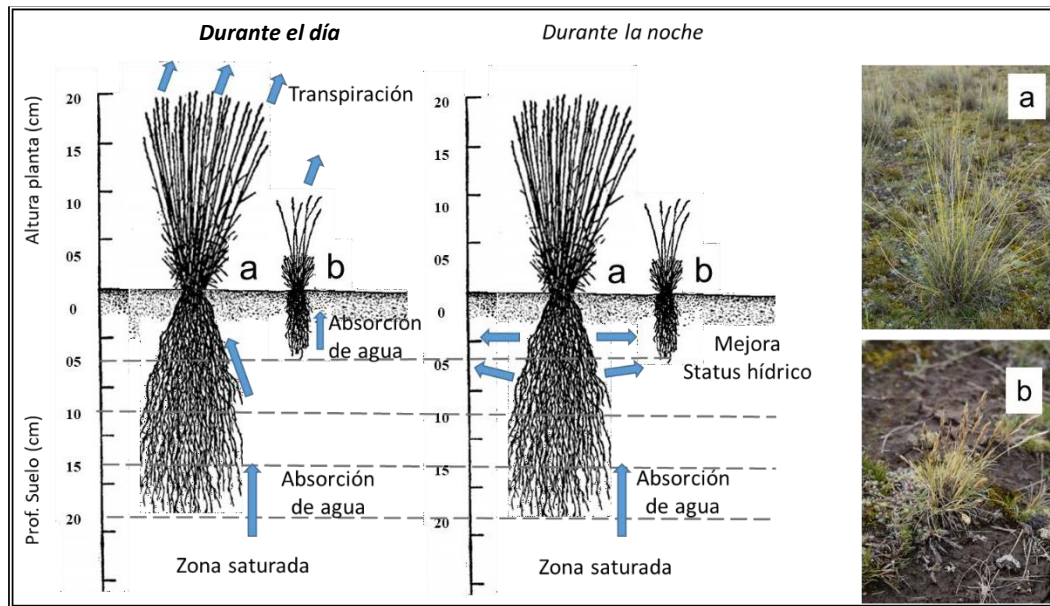
Profundidad Suelo (cm)	Época Lluvia			Época seca		
	T1 (100-0) *	T4 (70-0) **	T7 (40-0) ***	T1 (100-0) *	T4 (70-0) **	T7 (40-0) ***
7.6	58.7	44.7	52.9	9.0	8.6	7.7
12	44.2	33.8	40.7	11.5	10.4	9.7
Promedio	<b>51</b>	<b>39</b>	<b>47</b>	<b>10.3</b>	<b>9.5</b>	<b>8.7</b>
20	48.3	48.9	45.8	13.1	12.8	9.0

\* = Tratamiento uno (100 por ciento de precipitación con 0 por ciento de nivel de uso)

\*\*= Tratamiento cuatro (70 por ciento de precipitación con 0 por ciento de nivel de uso)

\*\*\*= Tratamiento siete (40 por ciento de precipitación con 0 por ciento de nivel de uso)

*Festuca humilior* presenta un sistema radicular más profundo (mayor a 15 cm) que *Calamagrostis vicunarum* (menor a 15 cm), lo cual pudo haber hecho posible que *Festuca humilior* a través del levantamiento hidráulico alterara el estado hídrico esperado como respuesta a la presencia de los interceptores de lluvia (Fig.14)



**Figura 14. Ilustración de probable levantamiento hidráulico (*Festuca humilior* (a) y *Calamagrostis vicunarum* (b))**

*Calamagrostis vicunarum* al presentar raíces superficiales podría beneficiarse del levantamiento hidráulico generado por *Festuca humilior*. Las especies que poseen raíces superficiales concentradas en las capas superiores de suelo, entre los primeros 30 cm del perfil podrían ser las más afectadas en escenarios de sequía dado que los primeros horizontes son los que agotan rápidamente su humedad. Esta característica morfológica de *Calamagrostis vicunarum* podría ubicarla como una especie más vulnerable en áreas secas o con baja precipitación, esta especie reflejaría con fidelidad las pequeñas variaciones en el contenido de humedad del suelo que ocurren aún con eventos muy bajos de precipitación (Bertiller *et al.* 1991).

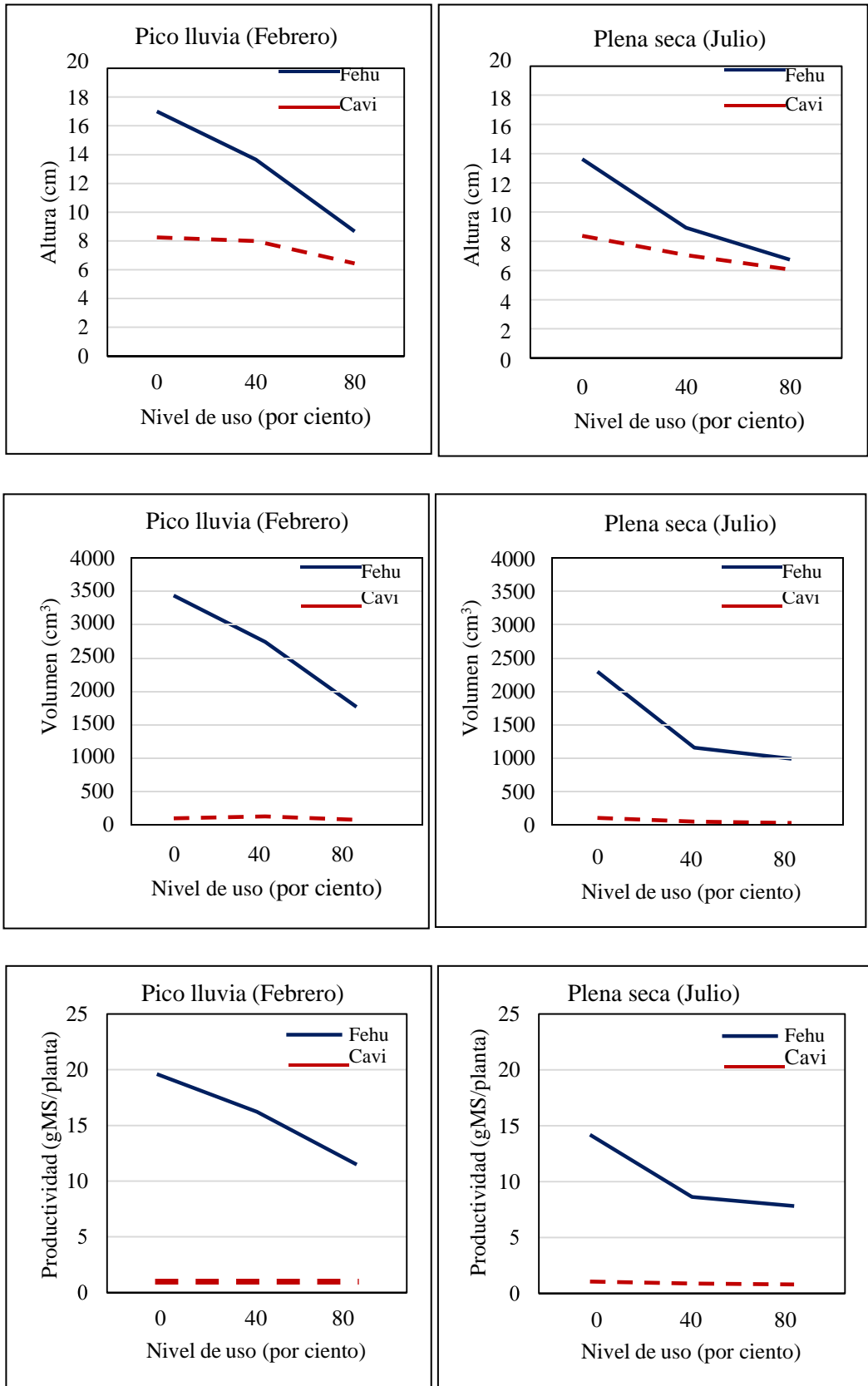
Estudios realizados simulando escenarios de sequía del 70 por ciento de intercepción en áreas de pastizal cercanas al presente estudio (Unsihuay 2017) en las que la especie dominante era *Festuca dolichophylla*. Ambas especies al segundo año de evaluación mostraron similar reducción en producción (20 por ciento), mientras que la reducción en el volumen fue diferente, *Calamagrostis vicunarum* redujo su volumen mayor magnitud (56 por ciento) que *Festuca dolichophylla* (45 por ciento). Estos resultados sugieren que *Calamagrostis vicunarum* sería más sensible a escenarios de sequía que *Festuca dolichophylla* cuando no interviene el factor de intensidad de uso. En el presente estudio se implementaron niveles de uso lo que resultó en una respuesta diferente de *Calamagrostis vicunarum* al resistir mejor altas intensidades de uso.

### **4.3. EFECTO DE LA PRECIPITACIÓN E INTENSIDAD DE USO SOBRE LA ALTURA, VOLUMEN Y PRODUCTIVIDAD EN *Festuca humilior* Y *Calamagrostis vicunarum***

El análisis de la interacción entre niveles de precipitación e intensidades de uso no fue significativo ( $p > 0.05$ ) para *Festuca humilior* en todos los parámetros de respuesta (altura, volumen y productividad). A pesar que estadísticamente se encontró que la respuesta del volumen y productividad de *Calamagrostis vicunarum* fue significativa (Anexo 5 y 6), se advierte la presencia de efectos no controlados como el del flujo subterráneo y ascenso por capilaridad del agua, lo que aparentemente influyó en la ausencia de un patrón de respuesta lógico a los recortes de precipitación. A pesar de ello, se puede observar una clara diferencia en altura, volumen y productividad entre especies y época de lluvia y seca, así como la respuesta de reducción de la altura, volumen y productividad cuando la intensidad de uso incrementa.

Al analizar el comportamiento de las dos especies en época lluviosa y seca se observa de manera clara que *Calamagrostis vicunarum* tiene una respuesta menos detrimental a los niveles de uso que *Festuca humilior*. Esta respuesta es sostenida en la época seca, con lo cual la hipótesis de que *Calamagrostis vicunarum* sea una especie tolerante al pastoreo y probablemente a sequía se fortalece.

La Figura 15 muestra que en época lluviosa la reducción en altura de *Festuca humilior* en respuesta a un 80 por ciento de intensidad de uso reduce un 49 por ciento su altura, versus 22 por ciento de *Calamagrostis vicunarum*. Este comportamiento es sostenido en la época seca dado que *Festuca humilior* reduce su altura en 50 por ciento en respuesta a la intensidad de uso del 80 por ciento mientras que *Calamagrostis vicunarum* reduce su valor en 28 por ciento. Este comportamiento superior de *Calamagrostis vicunarum* se mantiene para volumen y productividad. En el caso de volumen *Calamagrostis vicunarum* en época de lluvia reduce su volumen solo en un 10 por ciento frente a 48 por ciento que muestra *Festuca humilior*. Esta respuesta sugiere que *Calamagrostis vicunarum* podría estar usando como estrategia para tolerar el pastoreo intenso la distribución de carbohidratos hacia corona y raíces lo que hacen posible la activación de las yemas basales y compensándose de esta forma la pérdida por defoliación (Nowak y Caldwell 1984).



**Figura 15. Comparación de la respuesta de *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum* a los efectos de la época de lluvia y seca e intensidad de pastoreo**



En la época seca *Calamagrostis vicunarum* continua una mejor performance dado que reduce su volumen en un 45 por ciento comparado con el 55 por ciento de reducción observada en *Festuca humilior*. Finalmente, la productividad en respuesta a la época seca, considerada crítica por cuanto es cuando el suelo no dispone de suficiente humedad, *Calamagrostis vicunarum* muestra una reducción del 24 por ciento frente a una reducción observada en *Festuca humilior* del 45 por ciento.

Estos resultados fortalecen el planteamiento de la hipótesis que *Calamagrostis vicunarum* es tolerante no solo a altas intensidades de pastoreo sino también a bajos niveles de humedad en el suelo. La combinación de estos dos factores de estrés (pastoreo y sequía) puede eventualmente modificar la estructura de la comunidad en la que se encuentran pastos perennes (Frank 1996). Este comportamiento de *Calamagrostis vicunarum* explicaría la dominancia de esta especie en comunidades sobrepastoreadas en detrimento de la especie más sensible como *Festuca humilior*, lo cual tiene implicancias relacionadas a la calidad del forraje producido (McNaughton y Wolf 1979).

## V. CONCLUSIONES

- 1 *Calamagrostis vicunarum* y *Festuca humilior* responden de manera diferenciada a la intensidad de pastoreo, *Festuca humilior* se comporta como una especie menos tolerante al pastoreo que *Calamagrostis vicunarum*.
- 2 La intensidad de uso reduce el vigor y productividad de ambas especies, sin embargo *Festuca humilior* presenta reducciones de mayor magnitud.
- 3 En base a los resultados observados se plantea la hipótesis que *Calamagrostis vicunarum* es tolerante no solo a altas intensidades de pastoreo sino también a bajos niveles de humedad en el suelo.

## VI. RECOMENDACIONES

- 1 Estudiar los mecanismos de compensación anti herbívoro y rol de carbohidratos en respuesta a la defoliación en *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum*.
- 2 Analizar la respuesta adaptativa de *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarun* al estrés hídrico en función de las estrategias morfo-fisiológicas como, producción de macollos, profundidad de raíces y dinámica de la relación parte aérea vs radicular, así como monitoreo de las tasas de transpiración.
- 3 Replicar experimentos en los ecosistemas de puna seca o en sitios secos para evaluar la hipótesis que *Calamagrostis vicunarum* es más tolerante a reducciones en la humedad del suelo.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Alegría, F. 2013.** Inventario y uso sostenible de pastizales en la zona colindante a los depósitos de relavera de ocroyoc - comunidad san antonio de rancas – pasco. Tesis para optar el grado de Magíster en Desarrollo Ambiental. Universidad Católica del Perú.

**Aguirre, TL. 1985.** Soil-plant water relation in the altiplano of Perú. M.S. Thesis, Texas Tech University. Lubbock, TX.

**Austin AT., Yahdjian L., Stark, J., Belnap, MJ. Porporato, Norton, AU., Ravetta, D. A. & Schaeffer SM. 2004.** “Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems”. *Oecología* 141:221-235.

**Avalos, OP. 2006.** Dinámica de la producción forrajera y perfil alimentario de vacas lecheras al pastoreo en una asociación gramínea – leguminosa en la sierra central. Tesis Mag.Sci. en Producción Animal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 117 p.

**Altesor, A., Ayala, W. & Paruelo, JM. 2010.** Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales. Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA- Uruguay.

**Bandyopadhyay, J. 1992.** Sobre las percepciones de las características de Montaña. En: World Mountain network Newsletter. N°7.

**Bertiller, MB., Beeskow, AM. & Coronato, F. 1991.** “Seasonal environmental variation and plant phenology in arid Patagonia (Argentina)”. *Journal of Arid Environments* 21:1-11.

**Bisigato, AJ. & López, RM. 2009.** “Ecohydrological effects of grazininduced degradation in Patagonian Monte, Argentina”. *Austral Ecology* 34: 545-557.

**Buxton, DR. 1996.** Quality-related characteristics of forages as influenced by plant environment and agronomic factors. *Anim. Feed Sci. Technol.* 59, 37–49.

**Brack, A. & Mendiola, C. 2004.** *Ecología del Perú*. Lima – Perú. Edición: 2a. 495 p

**Bryske, DD. 1991.** Developmental morphology and physiology of grasses. En: *Grazing Management: An Ecological Perspective*. Ed. R.K Heitschmidt & J.W. Stuth. Timber Press. Portland, Oregon. p.85

**Castañeda, A. & Sánchez, 2007.** “Efecto de una quema controlada en los artrópodos epigeos de pasturas en la SAIS Túpac Amaru, Junín – Perú”. Laboratorio de Ecología de Procesos. Departamento Académico de Biología. Universidad Nacional Agraria La Molina. Av. La Molina S/N. *Revista de Ecología Aplicada*.

**Caballero, V. 1990.** Cambios en la Propiedad de la Tierra: Estudio de la SAIS Cahuide y de las Comunidades Sociales en Perú El Problema Agrario en Debate SEPIA III, Pág. 173

**Caballero, Z., Pantoja, C. Villacaqui E. & Morales, S. 2018.** Prevalencia de anticuerpos contra el virus de la Enfermedad de la Frontera en ovinos de raza Junín de crianza extensiva de la SAIS Túpac Amaru, Junín. *REDVET* - Vol. 19 N° 6

**Castillo, G., Valles, E. & Jarillo, R. 2009.** Relación entre materia seca presente y altura en gramas nativas del trópico mexicano. *Tecn. Pecuaria en México* 47, 79-92.

**Coughenour, MB. 1985.** Graminoid Responses to Grazing by Large Herbivores. Adaptations, Exaptations, and Interacting Processes. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 72:852-863

**Donald, A. 2013.** *Meteorology today: An Introduction to weather, climate, and environment*. Brooks/Cole. Tenth edition. Canadá.

**Detling, JK. 1988.** Defoliation responses of western wheatgrass populations with diverse histories of prairie dog grazing. *Oecologia* 57: 65–71

**De Boeck, HD., Lemmens, C., Zavalloni, C., Gielen, B., Malchair, S., Carnol, M., Merckx, R., Van den Berge, J., Ceulemans, R. & Nijs, I. 2008.** Biomass production in experimental grasslands of different species richness during three years of climate warming. *Biogeosciences* 585–594.

**Flores, E. 2004.** Gestión ambiental y uso racional de la tierra. Lima: Centro de Investigación y Capacitación Campesina, pp. 1-13.

**Flores, E. 2016.** Cambio climático: Pastizales altoandinos y seguridad alimentaria *Revista de Glaciares y Ecosistemas de Montaña* Vol. 2. p 73-80

**Flores, E., Ñaupari, J. & Tácuna, R. 2015.** La economía del cambio climático en el Perú: ganadería altoandina. C.E. Ludeña y L. Sánchez-Aragón (editores). Banco Interamericano de Desarrollo, Monografía No. 265. Washington DC.

**Florez, A. 2005.** Manual de Pastos y Forrajes Altoandinas. OIKOS. Lima-Perú. 53 p.

**Florez, A. & Bryant, 1999.** Manual de pastos y forrajes. Programa Colaborativo de Apoyo a la Investigación en Rumiantes Menores – Texas Tech University – Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial (INIAA). Dirección general de investigación pecuaria. Programa de investigación pastos y forrajes. Lima. Perú. pp. 209.

**Florez, MA., Malpartida, IE. & San Martín, F. 1987.** Manual de forrajes para zonas áridas y semiáridas andinas. Programa colaborativo de apoyo a la investigación en rumiantes menores (SR-CRSP). Lima-Perú. pp 281.

**Florez, A. & Malpartida, E. 1987.** Manejo de praderas nativas y pasturas en la región altoandina del Perú. Lima: Fondo del Libro del Banco Agrario.

**Ghazanfar, SA. 1997.** “The phenology of desert plants: a 3 year study in a gravel desert wadi in northern Oman”. *Journal of Arid Environmental* 35: 404-417.

**Gutierrez, JR & Squeo, FA. 2004.** *Ecosistemas* 13 (1): 36-45.

**Hall, SA. 2000.** “Condiciones ambientales del porcentaje de señalada ovina en el noroeste de la Patagonia (Argentina): un enfoque regional”. Trabajo de Intensificación. Facultad de Agronomía UBA.

**Hawkes, CV. & Sullivan, JJ. 2001.** The Impact of Herbivory on Plants in Different Resource Conditions: Department of biology, University of Pennsylvania – USA. A Meta-Analysis. *Ecology*, Vol. 82, No. 7. (Jul. 2001), pp. 2045-2058.

**Herbel, CH. 1983.** Principles of intensive range improvements. *Journal of range management*. 36(2):140-144.

**Herrick, JE., Melgoza, MA., Pyke, DA., Shaver, P. & Pellant, M. 2003.** I Simposio Internacional de Manejo de Pastizales. UAA. Aguascalientes México.

**Huss, DL., Bernardón, EA., Anderson, LD. & Brun, JM. 1986.** Principios de Manejo de Praderas Naturales. INTA, Buenos Aires y Of. Regional FAO. Santiago de Chile 356 p.

**Huyghe, C., Baumont, R. & Isselstein, J. 2008.** Plant diversity in grasslands and feedquality. *Grassl. Sci. Eur.* 13, 375–386.

**IPCC, 2013.** Bases físicas Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

**Informe Nacional del Estado del Ambiente. 2014.** Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental -- Lima: Ministerio del Ambiente.

**Kreyling, J., Beierkuhnlein, C., Elmer, M., Pritsch, K., Radovski, M., Schloter, M., Wollecke, J. & Jentsch, A. 2008.** Soil biotic processes remain remarkably stable after 100-year extreme weather events in experimental grassland and heath. *PlantSoil* 308, 175–188.

**Knapp, AK. & Smith, MD. 2001.** Variation among biomes in temporal dynamics of aboveground primary production. 481-4.

**Larcher, W. 2000.** Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants. *Plant Biosystems*. 134: 279-95.

**Lauenroth, WK. & Sala, OE. 1992.** “Long-term forage production of north American shortgrass steppe”. *Ecological Applications* 2(4), pp. 397- 403.

**Lauenroth, W. 1979.** “Grassland primary production: North American grasslands in perspective”. In *Perspectives in grassland ecology*, Ed N French. pp 324. Springer-Verlag, New York.

**López, L., Oyarzabal, M., Altesor, A. & Paruelo, JM. 2016.** Efecto del pastoreo sobre la productividad primaria neta subterránea de un pastizal templado, Universidad de Buenos Aires/CONICET. Buenos Aires, Argentina.

**López, L., Altesor, A., Oyarzabal, M., Baldassini, P. & Paruelo, JM. 2015.** Grazing increases below-ground biomass and net primary production in a temperate grassland. *Plant Soil* 392(1):155-162

**Lambers, HF., Chapin, IS. & Pons, TL. 2008.** *Plant physiological ecology*. Second edition. Editorial Springer. 623 pp.

**Marengo. 2011.** “Regional climate modelling in CLARIS-LPB: a concerted approach towards twenty first century projections of regional temperature and precipitation over South America”.

**Maddaloni, J. & Ferrari, L. 2001.** Festuca alta. En: Forrajeras y pasturas del ecosistema templado húmedo de la Argentina. INTA - Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Facultad de Ciencias Agrarias, pp. 165–182.

**Maschinski, J. & Whitham, TG. 1989.** The Continuum of Plant Responses to Herbivory: The Influence of Plant Association, Nutrient Availability, and Timing. *American Naturalist*, Volume 134, Issue 1-19.

**McNaughton, SJ. & Wolf, LL. 1979.** *General Ecology*. “2da. Edition. Page. 702.



**McNaughton, S.J., Oesterheld, M., Frank, D.A. & Williams, K.J. 1989.** Ecosystem level patterns of primary productivity and herbivory in terrestrial habitats. *Nature* 341:142–144.

**McCarty, J.P. 2001.** Ecological consequences of climate change. *Conservation Biology*. 15: 320-331.

**Miller, G.T. 1990.** Resource conservation and management. Wadsworth Publishing Company, USA.

**Malleux, J. 1982.** Inventarios forestales en bosques tropicales. Lima, Perú, s.e. 414 p.

**Milchunas, D.G. & Lauenroth, W.K. 1993.** “Quantitative effects of grazing on vegetation and soils over a global range of environments”. *Ecological Monographs*, 63(4), 327-366.

**McNaughton, S.J. 1985.** “Ecology of a grazing ecosystem: The Serengeti”. *Ecological Monographs* 55, 259-294.

**Nowak, R.S. & Caldwell, M.M. 1984.** A test of compensatory photosynthesis in the field: implications for herbivory tolerance. *Oecol.* 61: 311.

**Núñez, E., Yaranga, R. & Zubieta, R. 2006.** Antecedentes generales de la ganadería en el valle del Mantaro. Instituto Geofísico del Perú. Volumen 2 Manejo de riesgos de desastres ante eventos meteorológicos extremos en el valle del Mantaro.

**Ortiz, R. 2014.** Estudio agrotoedafológico y capacidad de carga animal en contadera-Tomas – Yauyos. Tesis – Universidad Nacional Agraria la Molina – Lima.

**Organización de las Naciones Unidas. 2005.** Sistema de las Naciones Unidas en el Perú. Recuperado el 09 de 10 de 2012, de Objetivos del Desarrollo del Milenio.

**Olivier, S. 1988.** Ecología y subdesarrollo en América Latina. México: Siglo XXI editores.

**Ospina, J.C. 2016.** Estudios morfológicos, anatómicos, taxonómicos y relaciones filogenéticas de las especies de *Festuca* del cono sur (Argentina, Chile, Uruguay, Paraguay

y sur de Brasil). Facultad de Ciencias Naturales y Museo - Universidad Nacional de la plata-Argentina.

**Oosterheld, M. & McNaughton, S.J. 1991.** “Effect of stress and time for recovery on the amount of compensatory growth after grazing”. *Oecologia*, 85:305313.

**Paca, F., Paca, R., Palao, A., Canaza, D., Bustinza, H., Vasquez, G., Chabilla, R. & Chavez, M. 2003.** Estudio de la t'ola y su capacidad de soporte para ovinos y camélidos en el ámbito peruano del sistema T.D.P.S - Conservación de la biodiversidad en la cuenca del lago titicaca - desaguadero – poopo – salar de coipasa (TDPS) – Puno.

**Pascual, MA. 1994.** Manejo y rehabilitación de agostaderos de las zonas áridas y semiáridas de México (Región Norte), Instituto Nacional de Ecología.

**Pearson, GA. 1942.** Herbaceous vegetation a factor in natural regeneration of ponderosa pine in the Southwest. *Ecol. Monogr.* 12, 315–338.

**Pellant, M., Shaver, P., Pyke, DA., Herrick, JE., Habich, N. & Mendenhall, A. 2000.** Interpreting indicators of rangeland health. Version 3. Tech. Rep. 1734-6. U.S. Department of interior. U.S. Department of Agriculture. Denver, CO. pp. 2235-2384 in *Manual of Remote Sensing*, Vol. 2 (R.N. Colwell, ed.) Amer. Soc. Photogrammetry, Falls Church, V.A

**Pendall, E., Bridgham, S., Hanson, PJ., Hungate, B., Kicklighter, DW., Johnson, DW., Law, BE., Luo Megonigal, JP. & Olsrud, M. 2004.** Below-ground process responses to elevated CO<sub>2</sub> and temperature: A discussion of observations, measurement methods, and models. *New Phytol.*, 162, 311–322 p.

**Piñeiro, G., Paruelo, JM., Oosterheld, M. & Jobba, EG. 2010.** Pathways of Grazing Effects on Soil Organic Carbon and Nitrogen. Universidad Nacional de San Luis–CONICET, San Luis, Argentina. *Rangeland Ecol Manage* 63:109–119 p.

**Raéz, E. 2011.** La sostenibilidad ambiental en la transición hacia el post extractivismo en el Perú. En A. A. (editores), *Transiciones Post Extractivismo y alternativas al extractivismo en el Perú* (págs. 31- 60). Lima: CEPES.

**Reddy, BVS., Reddy, PS., Bidinger, S., & BlümmeL, M. 2003.** Crop management factors influencing yield and quality of crop residues. *Field Crops Res.* 84,57–77 p.

**Recharte, J., Albán, L., Arévalo, R., Flores, E., Huerta, L. & Orellana, M. 2009.** Instituciones y acciones en beneficio de comunidades y ecosistemas alto andinos. Lima: El grupo Páramos/Jalcas y Punas del Perú.

**Reynolds, JF., Virginia, RA., Kemp, PR., De Soyza, AG. & Tremmel, DC. 1999.** “Impact of drought on desert shrubs: effects of seasonality and degree of resource island development”. *Ecology Monography* 69: 69106.

**Rzedowski, J. 1986.** Vegetación de México. 2da Ed., Limusa. México.

**Rivera, V. 2004.** Efecto de los diferentes niveles de fertilización fosforada en la producción forrajera de la asociación rye grass – trébol en la SAIS Túpac Amaru – Junín. Tesis Mag. Sci. Lima – Perú. 67 p.

**Rotundo, JL. & Aguiar, MR. 2008.** “Herbivory resistance traits in populations of *Poa ligularis* subjected to historically different sheep grazing pressure in Patagonia”. *Pant Ecol*, 194:121-133 p.

**Sala, OE., Parton, WJ., Joyce, LA. & Lauenroth, WK. 1988.** “Primary production of the central grassland region of the United States”. *Ecology* 69:40-45.

**SENAMHI. 2007.** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. Centro de Predicción Numérica – CPN, “Escenarios de cambio climático en la Cuenca del río Mantaro para el año 2100”.

**Serna, PA. & Echavarría, ChFG. 2002.** Caracterización hidrológica de un agostadero comunal excluido al pastoreo en Zacatecas, México. I. Pérdidas de suelo. *TEC. PECU.MEX*, 40 (1):37-53 p.

- Stampfli, A. & Zeiter, M. 2004.** Plant regeneration directs changes in grassland composition after extreme drought: a 13-year study in southern Switzerland. *J. Ecol.* 92, 568–576.
- Tovar, C. 1993.** “Las Gramíneas (Poaceae) del Perú” Volumen 13 de Monografías del Real Jardín Botánico Ruizia: Real Jardin Series. CSIC Press.
- Unsihuay, PF. 2017.** Respuesta de pastizales de la sierra central (Junín) a cambios en patrones de precipitación. Tesis. Universidad Nacional Agraria la Molina - Lima
- Yahdjian, L. & Sala OE. 2002.** A rainout shelter design for intercepting different amounts of rainfall, august
- Yahdjian, L. & Sala, OE. 2006.** “Vegetation structure constrains primary production response to water availability in the Patagonian steppe”. *Ecology* 87:952-962.
- Yahdjian, L. & Sala, OE. 2008.** Climate change impacts on South American rangelands.
- Yaranga, L. 2009.** Alimentación de camélidos sudamericanos y manejo de pastizales, Módulo de Camélidos Sudamericanos I, Huancayo.
- Yahdjian, L. & Sala, O. 2011.** El futuro de los pastizales sudamericanos, feb. *Interciencia*, Vol. 36 N°2.
- Weaver, J.E. & Darlan, RW. 1947.** A method of measuring vigor of range grasses. University of Nebraska – Lincoln. Agronomy and Horticulture Department Ecology. 28(2), 146-162 p.
- Woolfolk, E.J. 1956.** Plant vigor as a criterion of range condition. *Journal of range management*, 9(2), 66-69 p.
- Wllumson, SC., Detling, JK., Dodd, JL. & Dyer, MI. 1989.** Experimental evaluation of the grazing optimization hypothesis. *Journal of range management* 42(2).

## **VIII. ANEXO**

## Anexo 1. Base de Datos

### a) Datos para determinar parámetros evaluados (Altura, volumen y productividad) en *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum*

Tratamiento	Replica	Precipitación	Nivel de uso	Época	<i>Festuca humilior</i>			<i>Calamagrostis vicunarum</i>		
					Altura (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Productividad (gMS/planta)	Altura (cm)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Productividad (gMS/planta)
1	1	1	1	1	15	1700.3910	11.1701	8	64.9264	0.7261
1	1	1	1	2	13	1882.0802	12.0785	11	136.0706	0.9680
2	1	1	2	1	10	2293.3680	14.1349	6	68.7225	0.7391
2	1	1	2	2	.	.	.	.	.	.
3	1	1	3	1	5	895.3560	7.1449	6	43.9824	0.6549
3	1	1	3	2	5	570.7240	5.5217	6.5	47.6476	0.6674
4	1	2	1	1	17	3115.4200	18.2452	7	95.2952	0.8294
4	1	2	1	2	13	1616.6150	10.7512	8	165.4576	1.0680
5	1	2	2	1	18	1489.1184	10.1137	7	95.2952	0.8294
5	1	2	2	2	9	581.9814	5.5780	4	25.3946	0.5917
6	1	2	3	1	9	4863.1968	26.9841	7	95.2952	0.8294
6	1	2	3	2	6	2847.8604	16.9074	5.5	65.1555	0.7269
7	1	3	1	1	14	1828.9348	11.8128	8	58.6432	0.7048
7	1	3	1	2	11	711.3106	6.2247	5	21.9258	0.5799
8	1	3	2	1	12	1960.3584	12.4699	11	336.9366	1.6510
8	1	3	2	2	8.5	749.9261	6.4177	7	115.4538	0.8979
9	1	3	3	1	8	1265.0176	8.9932	4	40.8408	0.6443
9	1	3	3	2	7	870.4850	7.0205	5	51.0510	0.6790
1	2	1	1	1	15	2748.9000	16.4126	9	148.4406	1.0101
1	2	1	1	2	13	3117.5144	18.2557	7	177.7622	1.1098
2	2	1	2	1	13	2310.9086	14.2226	7	95.2952	0.8294
2	2	1	2	2	9.5	499.9071	5.1676	6.5	114.0139	0.8930
3	2	1	3	1	11	2015.8600	12.7474	5	68.0680	0.7368
3	2	1	3	2	.	.	.	.	.	.
4	2	2	1	1	19	5511.4136	30.2252	9	103.0838	0.8559

4	2	2	1	2	14	4028.0548	22.8084	7	205.2512	1.2033
5	2	2	2	1	12	2604.3864	15.6900	10	272.9265	1.4334
5	2	2	2	2	9	1394.8704	9.6425	8.5	157.4400	1.0407
6	2	2	3	1	5	888.8110	7.1122	6	108.7779	0.8752
6	2	2	3	2	7	1084.8992	8.0926	6.5	165.0649	1.0666
7	2	3	1	1	10	2170.3220	13.5197	8	131.9472	0.9540
7	2	3	1	2	16	2651.5104	15.9257	7	104.9164	0.8621
8	2	3	2	1	10	1337.7980	9.3571	8	203.1568	1.1961
8	2	3	2	2	8	697.4352	6.1553	7	104.9164	0.8621
9	2	3	3	1	8	913.1584	7.2339	5	182.9328	1.1274
9	2	3	3	2	11	711.3106	6.2247	4.5	19.7332	0.5725
1	3	1	1	1	23	5605.9234	30.6977	12	436.6824	1.9901
1	3	1	1	2	15	2226.6090	13.8011	12	327.5118	1.6189
2	3	1	2	1	14	2946.8208	17.4022	6	26.3109	0.5949
2	3	1	2	2	7.5	865.9035	6.9976	8.5	37.2738	0.6321
3	3	1	3	1	7	1253.4984	8.9356	7	104.9164	0.8621
3	3	1	3	2	5	519.6730	5.2665	6	108.7779	0.8752
4	3	2	1	1	15	2195.1930	13.6441	3.3	11.2312	0.5436
4	3	2	1	2	.	.	.	.	.	.
5	3	2	2	1	20	3665.2000	20.9941	10	190.4595	1.1530
5	3	2	2	2	9	876.5064	7.0506	7	89.7974	0.8107
6	3	2	3	1	11	2110.8934	13.2226	9	228.5514	1.2825
6	3	2	3	2	9	1302.9786	9.1830	7.5	229.7295	1.2865
7	3	3	1	1	25	5622.1550	30.7789	10	175.4060	1.1018
7	3	3	1	2	14	2213.7808	13.7370	10	190.4595	1.1530
8	3	3	2	1	14	5772.6900	31.5316	7	191.0486	1.1550
8	3	3	2	2	11	3881.9704	22.0780	8	245.0448	1.3386
9	3	3	3	1	14	1642.0096	10.8781	9	157.8654	1.0421
9	3	3	3	2	4	348.7176	4.4117	7	38.4846	0.6362

**b) Base de datos para determinar volumen y ecuación de regresión lineal en *Festucahumilior***

N° Planta	Diámetro menor (cm)	Diámetro mayor (cm)	Altura (cm)	R	r	R <sup>2</sup>	r <sup>2</sup>	Rr	Vol. (cm <sup>3</sup> )	Peso MS (g)
1	3.5	13.5	24	6.75	1.75	45.6	3.1	11.8	1519.0	11.5
2	7	17	24	8.5	3.5	72.3	12.3	29.8	2871.4	14.4
3	6.5	19.5	27	9.75	3.25	95.1	10.6	31.7	3882.4	15.4
4	5.5	9.5	12.8	4.75	2.75	22.6	7.6	13.1	578.9	3.5
5	4.2	13.8	14	6.9	2.1	47.6	4.4	14.5	975.1	5.7
6	1.9	9.5	12.1	4.75	0.95	22.6	0.9	4.5	354.5	1.1
7	2.5	8.4	15.5	4.2	1.25	17.6	1.6	5.3	396.9	2.4
8	3.6	10.5	16.3	5.25	1.8	27.6	3.2	9.5	687.1	5.6
9	3.1	8.2	16.2	4.1	1.55	16.8	2.4	6.4	433.7	4.2
10	3.9	8.1	15.8	4.05	1.95	16.4	3.8	7.9	465.0	5.2
11	4.5	19	21	9.5	2.25	90.3	5.1	21.4	2566.1	10.7
12	3.2	15	27.5	7.5	1.6	56.3	2.6	12.0	2039.2	12.1
13	3	10.1	19.2	5.05	1.5	25.5	2.3	7.6	710.3	6.1
14	2.6	20	24	10	1.3	100.0	1.7	13.0	2882.5	6.5
15	2.3	8.8	20.1	4.4	1.15	19.4	1.3	5.1	541.8	3.6
16	4.4	14	25.6	7	2.2	49.0	4.8	15.4	1856.2	18.6
17	3.9	12.3	18.2	6.15	1.95	37.8	3.8	12.0	1021.9	8.9
18	3.4	11.2	19	5.6	1.7	31.4	2.9	9.5	870.9	4.6
19	1.8	10	16.2	5	0.9	25.0	0.8	4.5	514.2	3.3
20	1.05	8.5	5.2	4.25	0.525	18.1	0.3	2.2	112.0	0.6
21	1.3	9.5	15.2	4.75	0.65	22.6	0.4	3.1	415.0	1.7
22	1.8	10	16.2	5	0.9	25.0	0.8	4.5	514.2	3.2
23	1.7	7	10.2	3.5	0.85	12.3	0.7	3.0	170.3	1.5
24	2.6	7.7	12.5	3.85	1.3	14.8	1.7	5.0	281.7	4.1
25	4.2	21.5	22.3	10.75	2.1	115.6	4.4	22.6	3328.8	16.0
26	3.8	14.6	18.2	7.3	1.9	53.3	3.6	13.9	1348.8	9.8
27	3.9	11	17.4	5.5	1.95	30.3	3.8	10.7	815.9	9.7
28	2.5	12	19.8	6	1.25	36.0	1.6	7.5	934.4	6.0
29	3.2	14.5	22	7.25	1.6	52.6	2.6	11.6	1537.2	9.7
30	3.4	13.7	19.2	6.85	1.7	46.9	2.9	11.6	1235.7	9.3
31	2.5	9.7	13.5	4.85	1.25	23.5	1.6	6.1	440.3	4.4
32	3.2	10.9	12	5.45	1.6	29.7	2.6	8.7	515.0	5.3
33	3.4	8.4	11.3	4.2	1.7	17.6	2.9	7.1	327.4	4.4
34	4.4	12.3	13.7	6.15	2.2	37.8	4.8	13.5	806.2	8.7
35	4.5	11	17	5.5	2.25	30.3	5.1	12.4	849.0	12.5
36	2.8	9.2	15	4.6	1.4	21.2	2.0	6.4	464.3	5.8
37	2.3	12	16.4	6	1.15	36.0	1.3	6.9	759.5	4.5
38	3.1	11.6	15.2	5.8	1.55	33.6	2.4	9.0	716.8	7.8
39	2.5	12	18.1	6	1.25	36.0	1.6	7.5	854.1	6.3
40	1.9	8.5	14.6	4.25	0.95	18.1	0.9	4.0	351.7	3.5
41	2.5	12	18.1	6	1.25	36.0	1.6	7.5	854.1	3.8



42	1.9	8.5	14.6	4.25	0.95	18.1	0.9	4.0	351.7	7.5
43	2.5	10.3	11.7	5.15	1.25	26.5	1.6	6.4	423.0	3.7
44	3.1	12	13.5	6	1.55	36.0	2.4	9.3	674.4	9.9
45	2.5	10.3	10.2	5.15	1.25	26.5	1.6	6.4	368.8	6.8
46	3.3	14	21	7	1.65	49.0	2.7	11.6	1391.4	8.9
47	1.9	8.5	14.6	4.25	0.95	18.1	0.9	4.0	351.7	6.3
48	2.4	7.7	13.5	3.85	1.2	14.8	1.4	4.6	295.2	3.9
49	3.6	10.7	13.5	5.35	1.8	28.6	3.2	9.6	586.6	8.0
50	2.2	9.7	13	4.85	1.1	23.5	1.2	5.3	409.3	3.6
51	4.2	10.3	12	5.15	2.1	26.5	4.4	10.8	524.6	5.8
52	2	9.3	15.2	4.65	1	21.6	1.0	4.7	434.1	2.6
53	4.7	11	13.8	5.5	2.35	30.3	5.5	12.9	703.7	10.4
54	3.7	13.3	18	6.65	1.85	44.2	3.4	12.3	1130.0	9.5
55	3.5	11.3	14.5	5.65	1.75	31.9	3.1	9.9	681.4	6.1
56	3.2	15.8	30	7.9	1.6	62.4	2.6	12.6	2438.2	14.8
57	3.7	18.3	19.8	9.15	1.85	83.7	3.4	16.9	2157.9	9.1
58	3.7	16.7	21.6	8.35	1.85	69.7	3.4	15.4	2003.9	11.9
59	2.9	9.6	14.2	4.8	1.45	23.0	2.1	7.0	477.4	5.0
60	1.5	8	17.8	4	0.75	16.0	0.6	3.0	364.6	3.1
61	2.35	14	16.5	7	1.18	49.0	1.4	8.2	1012.6	5.8
62	4.6	16.3	23.2	8.15	2.3	66.4	5.3	18.7	2197.7	25.3
63	2.6	9.6	15.3	4.8	1.3	23.0	1.7	6.2	496.2	4.8
64	4.4	14.3	26.7	7.15	2.2	51.1	4.8	15.7	2004.5	17.6
65	3.4	14	26	7	1.7	49.0	2.9	11.9	1736.8	15.5
66	2.3	12	21	6	1.15	36.0	1.3	6.9	972.5	7.4
67	1.7	9.1	11.3	4.55	0.85	20.7	0.7	3.9	299.3	2.1
68	4.6	22.7	30	11.35	2.3	128.8	5.3	26.1	5033.4	26.2
69	4.5	16.3	30	8.15	2.25	66.4	5.1	18.3	2821.9	31.7
70	4.3	15.8	26	7.9	2.15	62.4	4.6	17.0	2287.6	22.0

c) Base de datos para determinar volumen y ecuación de regresión lineal en *Calamagrostisvicunarium*

N° Planta	Diámetro menor (cm)	Diámetro mayor (cm)	Altura (cm)	R	r	R <sup>2</sup>	r <sup>2</sup>	Rr	Vol. (cm <sup>3</sup> )	Peso MS (g)
1	1.5	4.5	6	2.25	0.75	5.1	0.6	1.7	45.9	0.4
2	1.8	8	11	4	0.9	16.0	0.8	3.6	235.1	0.9
3	5	13	18	6.5	2.5	42.3	6.3	16.3	1220.5	5.5
4	3	9.5	15	4.75	1.5	22.6	2.3	7.1	501.7	2.8
5	2	8	16	4	1	16.0	1.0	4.0	351.9	2.1
6	1.8	5.4	11.7	2.7	0.9	7.3	0.8	2.4	129.0	1.5
7	1.9	6.5	16	3.25	0.95	10.6	0.9	3.1	243.8	1.4
8	2	9.1	15.2	4.55	1	20.7	1.0	4.6	417.9	1.2
9	2.1	8.6	14	4.3	1.05	18.5	1.1	4.5	353.4	1.3
10	1.4	8.2	12.9	4.1	0.7	16.8	0.5	2.9	272.5	0.5
11	2	6.6	12.7	3.3	1	10.9	1.0	3.3	202.0	1.0
12	1.8	7.6	8.8	3.8	0.9	14.4	0.8	3.4	172.1	0.5
13	1.8	8	16	4	0.9	16.0	0.8	3.6	342.0	0.8
14	1.9	6.3	9.4	3.15	0.95	9.9	0.9	3.0	136.0	1.0
15	2.2	8.4	12.2	4.2	1.1	17.6	1.2	4.6	299.8	2.0
16	2.8	11.4	16.4	5.7	1.4	32.5	2.0	8.0	728.7	3.1
17	2.3	8.1	15.2	4.05	1.15	16.4	1.3	4.7	356.3	3.0
18	0.9	3.8	7	1.9	0.45	3.6	0.2	0.9	34.2	0.2
19	2.1	7.3	12	3.65	1.05	13.3	1.1	3.8	229.4	1.7
20	1.7	7.5	10.2	3.75	0.85	14.1	0.7	3.2	192.0	1.1
21	2.1	7	9.5	3.5	1.05	12.3	1.1	3.7	169.4	1.0
22	0.7	3.8	8.7	1.9	0.35	3.6	0.1	0.7	40.1	0.4
23	1.15	9	15.2	4.5	0.575	20.3	0.3	2.6	368.8	1.0
24	2.5	9	16.2	4.5	1.25	20.3	1.6	5.6	465.5	3.0
25	0.85	5.3	10.6	2.65	0.425	7.0	0.2	1.1	92.5	0.3
26	1.5	11.6	14.6	5.8	0.75	33.6	0.6	4.4	589.4	1.6
27	2.2	9.4	14.1	4.7	1.1	22.1	1.2	5.2	420.4	2.3
28	1.7	9.7	17	4.85	0.85	23.5	0.7	4.1	505.0	2.2
29	1.9	8.9	12.5	4.45	0.95	19.8	0.9	4.2	326.4	0.9
30	2.1	9.7	22.4	4.85	1.05	23.5	1.1	5.1	697.1	4.5
31	1.7	8.1	18.3	4.05	0.85	16.4	0.7	3.4	394.2	1.6
32	1.8	11.5	14.4	5.75	0.9	33.1	0.8	5.2	588.8	1.0
33	1.15	9	11.6	4.5	0.575	20.3	0.3	2.6	281.4	0.6
34	1.1	8.5	13.2	4.25	0.55	18.1	0.3	2.3	286.2	0.8
35	1.8	9.6	17.2	4.8	0.9	23.0	0.8	4.3	507.4	1.0
36	2.1	13	17.6	6.5	1.05	42.3	1.1	6.8	924.8	2.9
37	1.5	13.1	16.5	6.55	0.75	42.9	0.6	4.9	835.9	2.5
38	1.4	7.8	12	3.9	0.7	15.2	0.5	2.7	231.6	1.0
39	1.6	6.6	13.2	3.3	0.8	10.9	0.6	2.6	195.9	1.5
40	1.9	11	14.6	5.5	0.95	30.3	0.9	5.2	556.2	3.1
41	1.5	15	19.5	7.5	0.75	56.3	0.6	5.6	1275.0	3.2
42	2.2	12.8	18	6.4	1.1	41.0	1.2	7.0	927.6	1.8
43	1.3	8.1	13	4.05	0.65	16.4	0.4	2.6	264.9	1.0

44	2.7	15.7	22.3	7.85	1.35	61.6	1.8	10.6	1729.1	7.5
45	1.5	7.8	15.2	3.9	0.75	15.2	0.6	2.9	297.6	1.6
5646	2.5	15.5	18.3	7.75	1.25	60.1	1.6	9.7	1366.6	5.5
47	1.5	6.2	8	3.1	0.75	9.6	0.6	2.3	104.7	0.9
48	1.7	11.5	12	5.75	0.85	33.1	0.7	4.9	486.0	1.6
49	2	7.5	13	3.75	1	14.1	1.0	3.8	256.1	2.6
50	1.6	10	16.4	5	0.8	25.0	0.6	4.0	509.0	2.4
51	2.4	9.7	15	4.85	1.2	23.5	1.4	5.8	483.5	3.2
52	0.65	5.4	9.6	2.7	0.325	7.3	0.1	0.9	83.2	0.6
53	1	7.7	16.6	3.85	0.5	14.8	0.3	1.9	295.5	0.9
54	1.5	8	13	4	0.75	16.0	0.6	3.0	266.3	1.4
55	1.6	11	13	5.5	0.8	30.3	0.6	4.4	480.4	1.8
56	1.25	8	12.6	4	0.625	16.0	0.4	2.5	249.3	1.2
57	1.8	9.8	13.3	4.9	0.9	24.0	0.8	4.4	407.1	1.0
58	2.5	7.8	10.2	3.9	1.25	15.2	1.6	4.9	231.2	2.3
59	2.7	12	17	6	1.35	36.0	1.8	8.1	817.5	5.2
60	2.3	10	23.3	5	1.15	25.0	1.3	5.8	782.6	2.4
61	2.3	10	12.3	5	1.15	25.0	1.3	5.8	413.1	2.5
62	1.5	5.6	5.9	2.8	0.75	7.8	0.6	2.1	64.9	1.1
63	1.7	4.7	9	2.35	0.85	5.5	0.7	2.0	77.7	1.4
64	1.2	6.8	9.5	3.4	0.6	11.6	0.4	2.0	138.9	0.9
65	1.25	6.2	9.2	3.1	0.625	9.6	0.4	1.9	115.0	1.5
66	1.6	6.7	12.2	3.35	0.8	11.2	0.6	2.7	185.8	1.4
67	1.3	6.3	11.4	3.15	0.65	9.9	0.4	2.0	147.9	1.3
68	2.52	9.8	12.2	4.9	1.26	24.0	1.6	6.2	405.9	4.4
69	1.7	8.5	13	4.25	0.85	18.1	0.7	3.6	304.9	2.6
70	1.4	7.3	9.1	3.65	0.7	13.3	0.5	2.6	156.0	1.2

## Anexo 2. Determinación de Análisis de varianza de los parámetros evaluados en especiesclaves *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum*

```

data;
title 'parcela dividida Altura de Festuca humilior';
input t r pp nu ep Alt;
cards;
1 1 1 1 1 15
1 1 1 1 2 13
2 1 1 2 1 10
2 1 1 2 2 .
3 1 1 3 1 5
3 1 1 3 2 5
4 1 2 1 1 17
4 1 2 1 2 13
5 1 2 2 1 18
5 1 2 2 2 9
6 1 2 3 1 9
6 1 2 3 2 6
7 1 3 1 1 14
7 1 3 1 2 11
8 1 3 2 1 12
8 1 3 2 2 8.5
9 1 3 3 1 8
9 1 3 3 2 7
1 2 1 1 1 15
1 2 1 1 2 13
2 2 1 2 1 13
2 2 1 2 2 9.5
3 2 1 3 1 11
3 2 1 3 2 .
4 2 2 1 1 19
4 2 2 1 2 14
5 2 2 2 1 12
5 2 2 2 2 9
6 2 2 3 1 5
6 2 2 3 2 7
7 2 3 1 1 10
7 2 3 1 2 16
8 2 3 2 1 10
8 2 3 2 2 8
9 2 3 3 1 8
. . . . .
. . . . .
. . . . .
;
proc print;
proc glm;
class t r pp nu ep;
model alt = ep r ep*r t ep*t;
test h=ep r e=ep*r;
means t/tukey;
run;
proc glm;
class t r pp nu ep;
model alt = ep r ep*r pp nu pp*nu nu*pp(ep);
test h=ep r e=ep*r;
means pp nu/duncan tukey;
lsmeans pp nu pp*nu/pdiff stderr;
run;

```

**Anexo 3. Resultados del análisis de varianza de los parámetros evaluados en las especies claves *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarium***

**a) ANVA para Altura de *Festuca humilior***

FV	GL	SC	CM	Fcal	P valor	Significancia
Época	1	146.2606838	146.2606838	5.57	0.1423	ns
Replica	2	53.1676768	26.5838384	1.01	0.4971	ns
Error a (E*R)	2	52.5616162	26.2808081	3.44	0.0458	--
Precipitación	2	11.0200904	5.5100452	0.72	0.4951	ns
Nivel Uso	2	479.0010101	239.5005051	31.31	<.0001	**
PP*NU	4	25.8802507	6.4700627	0.85	0.5077	ns
E(PP*NU)	8	40.7621032	5.0952629	0.67	0.7165	ns
Error b	29	221.822222	7.649042			
Total	50	1030.5				

R-cuadrado    Coef Var    Raíz MSE    Alt. Media  
 0.789327    23.96775    2.765690    11.53922

**b) ANVA para volumen de *Festuca humilior***

FV	GL	SC	CM	Fcal	P valor	Significancia
Época	1	15822601.67	15822601.67	12.57	0.0712	ns
Replica	2	7350176.46	3675088.23	2.92	0.2551	ns
Error a (E*R)	2	2517756.27	1258878.14	0.72	0.4942	--
Precipitación	2	3170260.61	1585130.30	0.91	0.4140	ns
Nivel Uso	2	19335065.65	9667532.83	5.55	0.0091	*
PP*NU	4	6314222.09	1578555.52	0.91	0.4737	ns
E(PP*NU)	8	2329218.94	291152.37	0.17	0.9937	ns
Error b	29	50552365.2	1743185.0			
Total	50	107391667				

R-cuadrado    Coef Var    Raíz MSE    Vol. Media  
 0.522203    62.94198    1320.297    2097.642

**c) ANVA para productividad de *Festuca humilior***

FV	GL	SC	CM	Fcal	P valor	Significancia
Época	1	24389496.31	24389496.31	18.84	0.0492	*
Replica	2	16504206.27	8252103.14	6.38	0.1356	ns
Error a (E*R)	2	2588509.05	1294254.53	0.53	0.5957	--
Precipitación	2	5885822.37	2942911.19	1.20	0.3160	ns
Nivel Uso	2	19014284.97	9507142.48	3.87	0.0323	*
PP*NU	4	20594050.74	5148512.68	2.10	0.1068	ns
E(PP*NU)	8	10196073.89	1274509.24	0.52	0.8321	ns
Error b	29	71177033.7	2454380.5			
Total	50	170349477.3				

R-cuadrado    Coef Var    Raíz MSE    Prod Media  
 0.593773    60.51887    1566.646    2588.691

**d) ANVA de Altura en *Calamagrostis vicunarum***

FV	GL	SC	CM	Fcal	P valor	Significancia
Época	1	2.08722222	2.08722222	1.62	0.3307	ns
Replica	2	20.02121212	10.01060606	7.78	0.1139	ns
Error a (E*R)	2	2.57272727	1.28636364	0.42	0.6599	--
Precipitación	2	0.66347804	0.33173902	0.11	0.8973	ns
Nivel Uso	2	38.29393939	19.14696970	6.28	0.0054	**
PP*NU	4	27.16616882	6.79154220	2.23	0.0907	ns
E(PP*NU)	8	17.30589438	2.16323680	0.71	0.6814	ns
Error b	29	88.4727778	3.0507854			
Total	50	196.58				

R-cuadrado    Coef Var    Raíz MSE    Alt. Media  
 0.556274    23.67237    1.746650    7.378431

**e) ANVA de volumen en *Calamagrostis vicunarum***

FV	GL	SC	CM	Fcal	P valor	Significancia
Época	1	3515.48704	3515.48704	3.54	0.2007	ns
Replica	2	59300.73673	29650.36836	29.84	0.0324	*
Error a (E*R)	2	1987.5579	993.7790	0.18	0.8352	--
Precipitación	2	5454.4375	2727.2187	0.50	0.6133	ns
Nivel Uso	2	23829.3214	11914.6607	2.17	0.1321	ns
PP*NU	4	101667.1632	25416.7908	4.63	0.0051	**
E(PP*NU)	8	55627.6045	6953.4506	1.27	0.2979	ns
Error b	29	159046.6085	5484.3658			
Total	50	410428.917				

R-cuadrado    Coef Var    Raíz MSE    Vol. Media  
 0.601649    56.52853    74.05650    131.0073

**f) ANVA de productividad en *Calamagrostis vicunarum***

FV	GL	SC	CM	Fcal	P valor	Significancia
Época	1	2680.85502	2680.85502	1.31	0.3715	ns
Replica	2	38968.79452	19484.39726	9.49	0.0953	ns
Error a (E*R)	2	4105.7158	2052.8579	0.05	0.9476	--
Precipitación	2	107239.4288	53619.7144	1.41	0.2607	ns
Nivel Uso	2	629533.6209	314766.8104	8.27	0.0014	**
PP*NU	4	631352.2570	157838.0643	4.15	0.0089	**
E(PP*NU)	8	204090.8942	25511.3618	0.67	0.7132	ns
Error b	29	1103825.502	38062.948			
Total	50	2721797.068				

R-cuadrado    Coef Var    Raíz MSE    Prod. Media  
 0.590398    57.36613    195.0973    340.0914

**Anexo 4. Determinación de X<sup>2</sup> cuadrado para intensidad de uso de los parámetros evaluados en especies claves *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum***

Valores observados en altura (cm)

Intensidad de uso (por ciento)	<i>Festuca humilior</i>	<i>Calamagrostis vicunarum</i>	Total
0	15.41	8.31	23.72
40	11.44	7.56	19.00
80	7.76	6.26	14.03
Total	34.62	22.14	56.75

$$\chi^2_{calc} = \sum \frac{(f_0 - f_e)^2}{f_e}$$

*f*<sub>0</sub> : Frecuencia de valor observado

*f*<sub>e</sub>: Frecuencia de valor esperado

Valores esperados

Intensidad de uso (por ciento)	<i>Festuca humilior</i>	<i>Calamagrostis vicunarum</i>
0	14.47	9.25
40	11.59	7.41
80	8.56	5.47

X<sup>2</sup><sub>calc</sub> ≤ Valor crítico

0.35011 < 5.991

Valores observados en volumen (cm<sup>3</sup>)

Intensidad de uso (por ciento)	<i>Festuca humilior</i>	<i>Calamagrostis vicunarum</i>	Total
0	2879.18	150.29	3029.48
40	1995.83	139.38	2135.21
80	1417.91	103.35	1521.25
Total	6292.93	393.02	6685.95

Valores esperados

Intensidad de uso (por ciento)	<i>Festuca humilior</i>	<i>Calamagrostis vicunarum</i>
0	2851.40	178.08
40	2009.70	125.51
80	1431.83	89.42

X<sup>2</sup><sub>calc</sub> ≤ Valor crítico

8.53702 > 5.991

Valores observados en producción (gMS/planta)

Intensidad de uso (por ciento)	<i>Festuca humilior</i>	<i>Calamagrostis vicunarum</i>	Total
0	17.06	1.02	18.08
40	12.65	0.98	13.63
80	9.76	0.86	10.61
Total	39.47	2.85	42.32

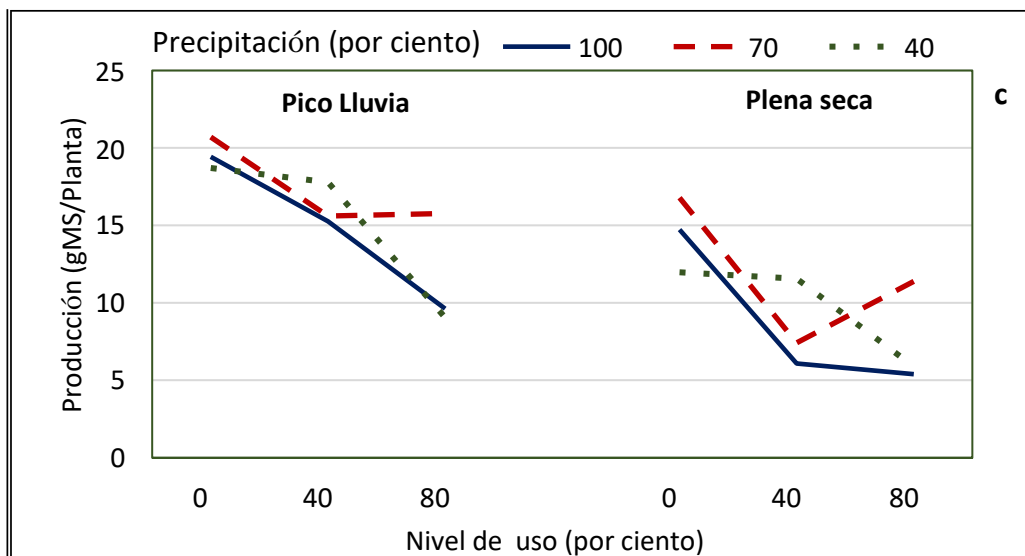
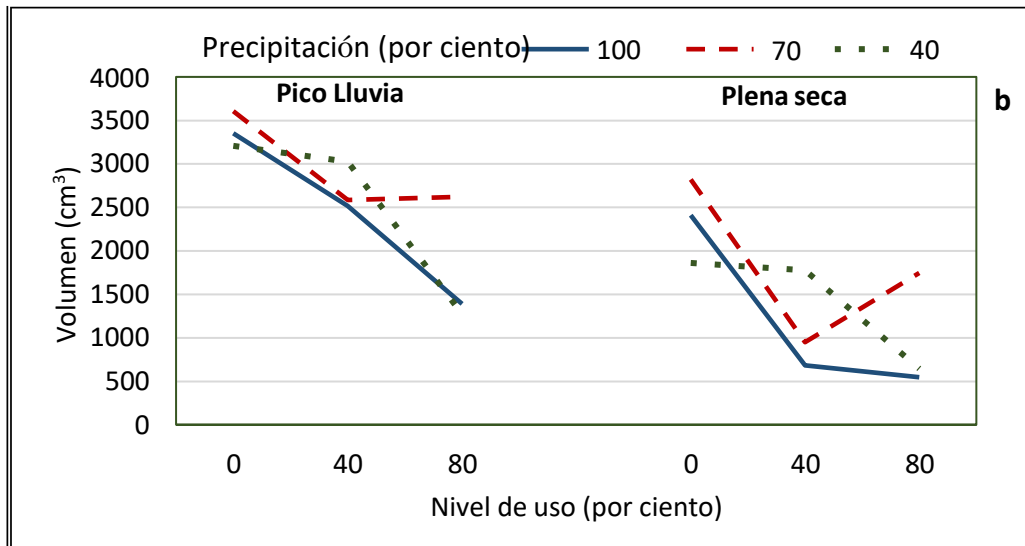
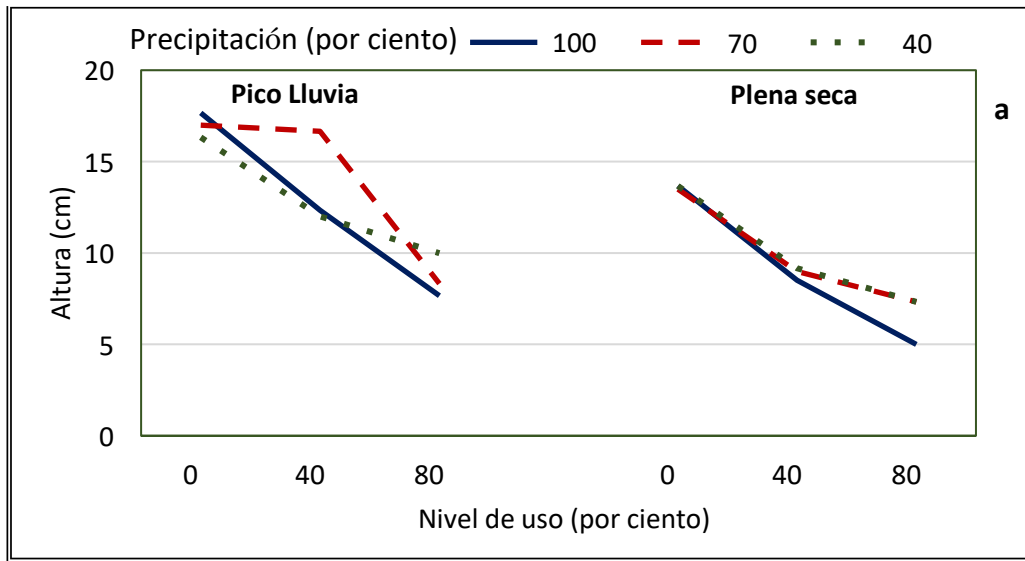
Valores esperados

Intensidad de uso (por ciento)	<i>Festuca humilior</i>	<i>Calamagrostis vicunarum</i>
0	16.86	1.22
40	12.71	0.92
80	9.90	0.72

X<sup>2</sup><sub>calc</sub> ≤ Valor crítico

0.07026 < 5.991

**Anexo 5. Efecto de la precipitación y niveles de uso sobre altura (a), volumen (b) y productividad (c) en *Festuca humilior***





**Anexo 6. Efecto de la precipitación y niveles de uso sobre altura (a), volumen (b) y productividad (c) en *Calamagrostis vicunaru***

