



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRONÓMICA



**OPTIMIZACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE *Festuca humilior* A
DIFERENTES INTENSIDADES DE USO Y PRECIPITACIONES EN
SIERRA CENTRAL**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDSON EFRAÍN TITO QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

PUNO – PERÚ

2022



DEDICATORIA

Ante todo, agradecer a Dios por haberme dado la oportunidad, a mis padres Elías que en paz descansa 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 docentes, que me apoyaron y depositaron su confianza durante el periodo de investigación.



AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, Dr. Pablo Antonio Beltrán Barriga, por su guía, apoyo, enseñanza y consejo académico y profesional, para así culminar satisfactoriamente con la presente investigación.

A los Docentes y miembros del jurado de la presente tesis, D. Sc. Luis Alfredo Palao Iturregui, D. Sc. Javier Mamani Paredes y M. Sc. Jesús Sánchez Mendoza, por compartir sus conocimientos, experiencias y aportes en la realización del presente trabajo.

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



INDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS

INDICE DE FIGURAS

RESUMEN..... 10

ABSTRACT 11

APITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO GENERAL..... 14

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 14

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES..... 15

2.2 MARCO TEORICO..... 16

2.2.1 ECOSISTEMA DE PASTIZAL ALTOANDINO..... 16

2.2.2 CARACTERISTICAS DE ESPECIE ESTUDIADA 22

2.2.3 OPTIMIZACION DE LA INTENSIDAD DE USO. 25

2.2.4 OPTIMIZACION DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL..... 30

2.2.2 DISEÑOS EXPERIMENTALES 35

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDIO..... 42

3.1.1. Patrones de precipitación pluvial y temperatura 43

3.1.2. Características de la comunidad vegetal..... 46

3.2 TRATAMIENTOS EXPERIMENTALES..... 48



3.2.1 Recorte de la precipitación pluvial	48
3.2.2. Intensidad de uso	49
3.2.3. Tratamientos experimentales	50
3.3. PROCEDIMIENTO ANALITICO	54
3.3.1 Fase de cribado.	54
3.3.2 Fase de optimización.	57
3.3.3 Validación del modelo.....	58
CAPITULO IV	
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. DISEÑO DE CRIBADO – DISEÑO EXPERIMENTAL PLACKETT	
BURMAN	59
4.2. OPTIMIZACIÓN DE LAS VARIABLES RESPUESTAS	63
4.3. ANÁLISIS DE LA SUPERFICIE DE RESPUESTA	64
4.4. VALIDACIÓN DEL MODELO PREDICTIVO.....	71
4.4.1. Optimización del efecto nivel de utilización sobre altura, vigor y productividad en <i>Festuca humilior</i>	71
4.4.2. Optimización del efecto de la precipitación pluvial sobre altura, vigor y productividad en <i>Festuca humilior</i>	74
V. CONCLUSIONES	77
VI. RECOMENDACIONES.....	78
VII. REFERENCIAS	79
ANEXOS	97

Área : Ciencias agrarias

Tema : Manejo de pastizales y cultivos forrajeros

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 09 de febrero del 2022



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Datos climáticos periodo (2016 - 2017) área de estudio.....	44
Tabla 2.	Datos climáticos periodo (2000 - 2018) Jauja - Junín	45
Tabla 3.	Tratamientos experimentales en el estudio	51
Tabla 4.	Valores de niveles evaluados en diseño Plackett-Burman.....	55
Tabla 5.	Arreglo aleatorio factorial del diseño Plackett-Burman para el cribado en función de los niveles para cada factor	56
Tabla 6.	Efecto de los niveles de utilización en Festuca humilior.....	62
Tabla 7.	Valores óptimos en base a combinación de factores.	70
Tabla 8.	Condiciones óptimas de nivel de utilización para altura, vigor y productividad de Festuca humilior.....	71
Tabla 9.	Condiciones óptimas de nivel de precipitación pluvial para altura, vigor y productividad de Festuca humilior.....	74
Tabla 10.	Registro de base de datos de precipitaciones pluviales en unidades experimentales del estudio.....	97
Tabla 11.	Registro de precipitaciones pluviales periodo 2000 – 2018 Jauja - Junín ...	98
Tabla 12.	Registro de temperaturas máximas periodo 2000 – 2018 Jauja - Junín.....	99
Tabla 13.	Registro de temperaturas mínimas periodo 2000 – 2018 Jauja - Junín	100
Tabla 14.	Base de datos para determinar volumen y ecuación de regresión lineal....	101
Tabla 15.	Base de datos para determinar el análisis estadístico.....	103
Tabla 16.	Arreglo aleatorio en función de factores, sobre las variables de respuestas se muestran valores observados y esperados.....	104
Tabla 17.	ANVA en regresión factorial para validar el modelo	105
Tabla 18.	ANVA efectos principales en altura, vigor y productividad.....	106
Tabla 19.	ANVA optimización mediante superficie de respuesta.....	107



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Estimulación potencial de la productividad primaria por el consumo de los herbívoros (McNaughton, 1979).....	26
Figura 2.	Tres respuestas potenciales de la producción primaria al incrementarse la intensidad de pastoreo (Detling, 1988).	29
Figura 3.	Relación entre PPNA y la precipitación anual en el tiempo y espacio para pastizales de llanuras de Norteamérica (Lauenroth y Sala, 1992)	31
Figura 4.	Modelos que relacionan la PPNA a través de un gradiente temporal de lluvia (Yahdjian y Sala, 2006; Lauenroth y Sala, 1992).	33
Figura 5.	Ubicación de la zona de investigación.....	43
Figura 6.	Grafica climadiagrama periodo (2016 a 2017) área de estudio.	44
Figura 7.	Grafica climadiagrama periodo (2000 -2018) Jauja - Junín	45
Figura 8.	Estructura de las comunidades vegetales en la zona de estudio	47
Figura 9.	Modelos de interceptores (A) 30% y (B) 60% de precipitación pluvial.....	49
Figura 10.	Plantas marcadas de Festuca humilior en las que ilustran la simulación de niveles de utilización (A) 40% y (B) 80%	50
Figura 11.	Fotografía que ilustra la medición de altura en Festuca humilior.....	52
Figura 12.	Ecuación de regresión lineal para Festuca humilior	54
Figura 13.	Diagramas de Pareto estandarizado, muestra significancia en (A) Altura, (B) Vigor y (C) Productividad	59
Figura 14.	Efectos principales sobre (A) altura, (B) vigor y (C) productividad mediante el diseño experimental Plackett-Burman.	61
Figura 15.	Gráficos (A) superficie de respuesta y (B) contorno para efectos combinados en altura de Festuca humilior.....	65



Figura 16. Gráficos (A) superficie de respuesta y (B) contornos para efectos combinados en vigor de Festuca humilior.....	66
Figura 17. Gráficos (A) superficie de respuesta y (B) contornos para efectos combinados en productividad de Festuca humilior.....	67



LISTA DE ACRÓNIMOS

MSR: Metodología de superficies de respuesta.

PPNS: Productividad primaria neta del suelo.

PPNA: Productividad primaria neta aérea.

MCG: Modelos de circulación general de la atmósfera

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático

CCD: Diseño central compuesto

ANVA: Análisis de Varianza

PP: Precipitación Pluvial

NU: Nivel de utilización



RESUMEN

Los escenarios de cambio climático global son una realidad que repercutirá negativamente en la integridad de los ecosistemas de pastizales. El estudio se realizó en pajonal húmedo de condición regular de la SAIS Túpac Amaru, ubicada en Junín a 4186 msnm. El objetivo de la presente investigación fue optimizar los cambios en patrones de precipitaciones pluviales e intensidades de utilización sobre altura, vigor y productividad de *Festuca humilior*. Se realizó sobre la base de los pesos y volúmenes que se elaboraron ecuaciones alométricas, análisis de regresión lineal y la metodología de superficies de respuesta. Para mejor ajuste se consideraron mayores coeficientes de determinación (R^2), aporte significativo y bajos errores estándar de los términos. *Festuca humilior* mostró reducciones significativas en altura, vigor y productividad a intensidades altas y moderadas de utilización (80% y 40%) con respecto al control, lo cual muestra una respuesta diferenciada a los niveles de precipitaciones pluviales siendo no significativos. En efecto, las respuestas óptimas considerando los máximos, en altura, vigor y productividad guarda una relación de 100% de precipitación pluvial con 0% de niveles de utilización, estos resultados mostraron consistencia debido a la influencia significativa de flujo subterráneo y por las intensidades altas durante la época de lluvia del segundo año. Por lo tanto, *Festuca humilior* es sensible a altas intensidades de utilización y tolerante a niveles moderados de precipitaciones pluviales por ende estas características son muy sustancioso para su aplicación en procesos que requieran condiciones menos agresivas.

Palabras clave: Pajonal, precipitación, utilización, *Festuca humilior*



ABSTRACT

Global climate change scenarios are a reality that will harm the integrity of grassland ecosystems. The study was carried out in wet grasslands of the regular condition of the SAIS Túpac Amaru, located in Junín at 4186 m.a.s.l. The objective of this research was to optimize changes in precipitation patterns and grazing intensities on height, vigor and productivity of *Festuca humilior*. Based on the weights and volumes, allometric equations, linear regression analysis, and response surface methodology were developed. For a better fit, higher coefficients of determination (R^2), significant contribution, and low standard errors of the terms were considered. *Festuca humilior* showed significant reductions in height, vigor and productivity at high and moderate intensities of grazing (80% and 40%) concerning the control, which shows a differentiated response to the levels of rainfall, being not significant. In effect, the optimal responses considering the maximums, in height, vigor and productivity, have a relationship of 100% of rainfall with 0% of grazing levels, these results showed consistency due to the significant influence of underground flow and high intensities. during the rainy season of the second year. Therefore, *Festuca humilior* is sensitive to high intensities of use and tolerant to moderate levels of rainfall, therefore these characteristics are very substantial for its application in processes that require less aggressive conditions.

Keywords: Grasslands, precipitation, grazing, *Festuca humilior*



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONU, 2005), los pastizales contribuyen dos roles principales como son servicios ambientales y seguridad alimentaria. Entre los servicios ambientales que proporciona el ecosistema de pastizal podemos mencionar que son fuente de alimento, forraje, energía y hábitat de numerosas especies, ya que actúan como regulador del clima, generador de oxígeno, regulador hídrico, reducen la pérdida de agua por escorrentía, y además son agentes importantes en el control de la erosión y de la recuperación de suelos. Por lo tanto, el porqué del estudio es en base a los roles que cumplen la integridad del ecosistema dependerá de los cambios en la estructura y función y como producto final se obtendrá la productividad de especies nativas, siendo evidente los cambios en los patrones de precipitaciones pluviales y el sobrepastoreo cada vez es más intenso.

En el contexto del cambio climático y particularmente los cambios en patrones de precipitación, se puede prever un impacto negativo en la productividad y sostenibilidad de este ecosistema; en consecuencia, es necesario generar información que nos permita estimar la magnitud de los cambios a nivel de la especie vegetal (Quiroga *et al.*, 2005). Los pastizales alto andinos en general son pastoreados con cargas moderadas a pesadas lo que también impacta negativamente a la comunidad vegetal. Por lo tanto, es importante conocer el óptimo uso de precipitación y nivel de uso para poder plantear estrategias que contribuyan a la estabilidad sostenible de *Festuca humilior* en el ecosistema de los pastizales. Las proyecciones de reducción de precipitaciones pluviales para América del Sur, al año 2050 van desde 5-10% y hasta el año 2080 un 20-40% (Yahdjian y Sala, 2008); mientras para los andes centrales del Perú, se prevé una reducción de los niveles de



precipitación de 5 a 10% para el año 2030 (Marengo, 2011) y 30% para 2100 (SENAMHI, 2007). 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 eco-sistémicos que estas generan (Lambers *et al.*, 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 una especie clave del pastizal a cambios en patrones de precipitaciones pluviales 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.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la productividad óptima de *Festuca humilior* en respuesta a diferentes intensidades de uso y niveles de precipitaciones pluviales sobre su desarrollo y producción.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar el efecto de la intensidad de uso sobre la altura, el vigor y la productividad óptima de *Festuca humilior*.

Determinar el efecto de los cambios de patrones de precipitaciones pluviales sobre la altura, el vigor y la productividad óptima de *Festuca humilior*.



CPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTES

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 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).

Sin embargo, se muestra investigaciones similares, en Perú en un escenario de 750 mm de precipitación anual de sierra central, en la especie *Festuca dolichophyla*, al interceptar 70% de precipitación obtuvo al segundo año una reducción de 20% de biomasa aérea con respecto al 30% de intercepción y control (Unsihuay, 2017), en Argentina utilizando para interceptar el 50%, 30% de lluvias y control, las lluvias fueron 159 mm y 145 mm en 2007 y 2008 respectivamente, obtuvo en gramíneas su productividad durante el segundo año sí se halló una correspondencia ($p=0.0012$) mostrando diferencias significativas entre los tratamientos de sequía y riego y con respecto a la intensidad de



uso la biomasa total inicial y final de plantas defoliadas y no defoliadas de cuatro gramíneas a distintos niveles de disponibilidad hídrica. No se encontraron diferencias entre los tratamientos ($\alpha < 0.005$ y $n=5$) evidenciando compensación total luego de la defoliación (Massara, 2003) y según Arredondo *et al*, 2016 mediante la reducción de las precipitaciones en un 42% (2011) y 20% (2012) con respecto a no manipuladas en *Bouteloua gracilis* y praderas de especies mixtas perturbado, obtuvo consistentemente una producción de 50-80 g/m² más de los bosques mixtos.

2.2 MARCO TEORICO

2.2.1 ECOSISTEMA DE PASTIZAL ALTOANDINO

Los pastizales ocupan una superficie de 18 246, 926 ha, lo que representa el 14,2 % del total nacional. (MINAM, 2014) Este ecosistema sostiene a más del 80% de la ganadería extensiva en el país, por lo cual cumple un rol importante en la economía de la población dedicada 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% 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, graminoides y herbáceas de bajo crecimiento (Tovar, 1993). Entre las gramíneas dominantes se encuentra *Festuca dolichophylla*, *Festuca rigescens*, *Festuca humilior*, *Calamagrostis*



vicunarum, *Calamagrostis rigescens*, *Muhlenbergia fastigiata*, *Muhlenbergia ligularis*, *Muhlenbergia peruviana*, *Poa sp*, *Luzula vulcanica*, *Werneria nubigena*, *Bromus lanatus*; y en las graminoides, 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*, *Paranephelium sp*, *Hipochoeris stenocephala*, *Gentiana sedifolia*, *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 (Flores 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”

2.2.1.1 Características climáticas

El clima de puna considerado entre 4000 y 5000 msnm. se caracteriza por presentar precipitaciones pluviales 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 (Flores *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 superar 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 afectara, 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).



2.2.1.2 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 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 pluviales y/o irrigación es crucial; para contribuir al normal desarrollo de las plantas durante su ciclo de vida (Aguirre, 1985 y 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.

2.2.1.3 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 and 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.

2.2.2 CARACTERISTICAS DE ESPECIE ESTUDIADA

Festuca humilior Nees & Meyen “Chilligua”, es una especie considerada clave 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 “Chilligua”: 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).

Festuca humilior ha 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% 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 funcionalidad hidrológica e integridad biótica (Herrick *et al.*, 2003; Pellant *et al.*, 2000).

Las características fisiológicas referente a la relación del potencial hídrico y la temperatura que se manifiesta en su alrededor con potenciales hídricos muy altos (muy negativos) de -0,903 MPa a -3,88 MPa, se desarrolla en temperaturas que están por debajo y encima de cero (-4,31 a 7,83 °C), a mayor temperatura, el potencial hídrico muestra una tendencia negativa, contrariamente la planta se desarrolla de forma natural en temperaturas extremas, así como en presencia de heladas (Febles *et al.* 2009 referenciado por Condori, 2017).

2.2.3 OPTIMIZACION DE LA INTENSIDAD DE USO.

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 % 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).

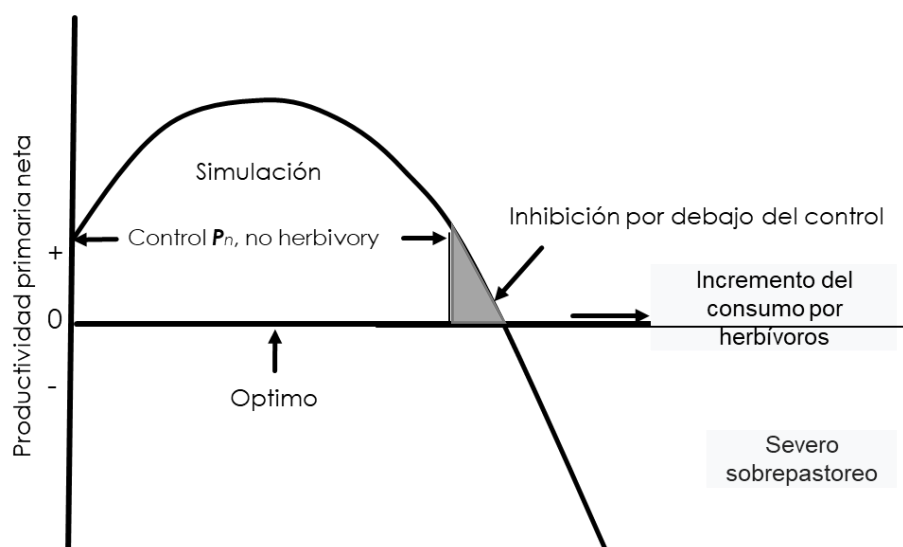


Figura 1. Estimulación potencial de la productividad primaria por el consumo de los herbívoros (McNaughton, 1979).



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% 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 coevolución 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 (Oesterheld 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 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)

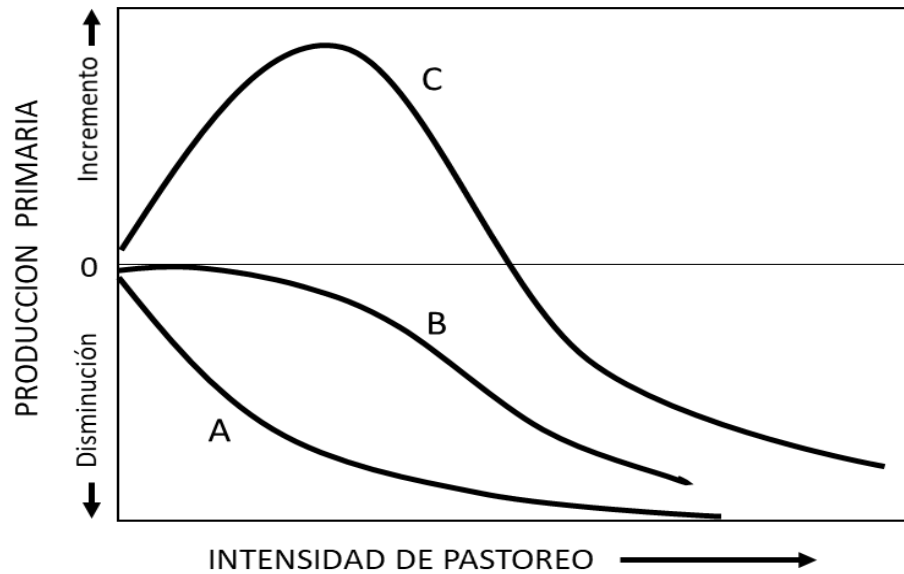


Figura 2. Tres respuestas potenciales de la producción primaria al incrementarse la intensidad de pastoreo (Detling, 1988).

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%, 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).

2.2.4 OPTIMIZACION DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL

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 temporal y espacial. El modelo temporal, relaciona las precipitaciones pluviales 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, mientras que el modelo espacial plantea un aumento de la productividad en un gradiente espacial de precipitaciones pluviales, donde se utiliza la PPNA de un ecosistema con una estructura de vegetación diferente a cada nivel de precipitación (Lauenroth y Sala, 1992)

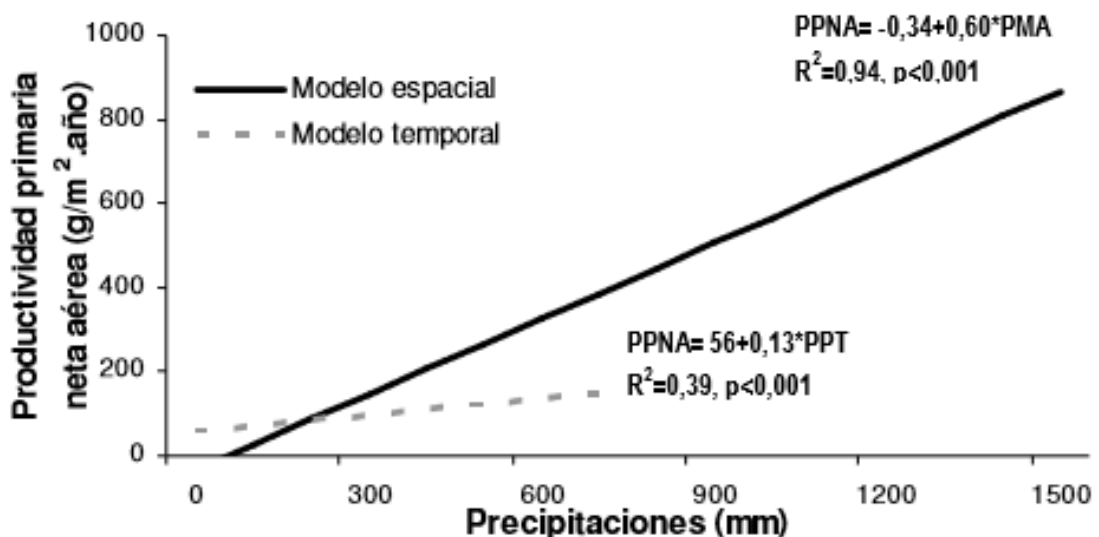


Figura 3. Relación entre PPNA y la precipitación anual en el tiempo y espacio para pastizales de llanuras de Norteamérica (Lauenroth y Sala, 1992)

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 pluviales 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 pluviales 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% 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% 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).

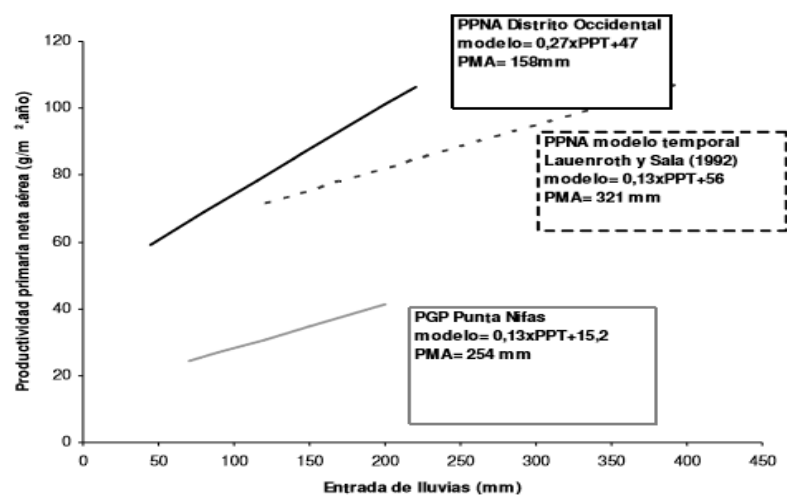


Figura 4. Modelos que relacionan la PPNA a través de un gradiente temporal de lluvia (Yahdjian y Sala, 2006; Lauenroth y Sala, 1992).

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 pluviales, 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 $1,3^{\circ}\text{C}$, disminución en la humedad relativa de 6% en verano, disminución de precipitaciones pluviales en las zonas norte, centro y sur en 10%, 19% y 14%, 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%; situación que se prolongará hasta el otoño (5%), mientras que en invierno se estima que la reducción de lluvias será aproximadamente de 35%. 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). En las gramíneas, el crecimiento vegetativo, está asociado a la humedad del suelo y al contenido de nitratos en la solución del suelo, mientras que los períodos de inactividad (senescencia y dormancia) están relacionados con la temperatura del aire y el amonio (Bertiller *et al.*, 1991)

2.2.2 DISEÑOS EXPERIMENTALES

Dentro de las diferentes ramas de la ciencia, los métodos de estudio y análisis de fenómenos físicos, químicos y biológicos han sido mejorados gracias al desarrollo de metodologías matemáticas y estadísticas para el procesamiento y comprensión de los datos numéricos, como lo son el análisis factorial, reconocimiento de patrones, el diseño de experimentos, etc. De estos, el diseño de experimentos es uno de las metodologías más usadas en investigación, pues refiere al proceso de planear experimentos que deriven a datos adecuados que puedan ser analizados mediante métodos estadísticos, generando conclusiones válidas y objetivas, considerándose la realización de réplicas, la aleatorización y la formación de bloques (Montgomery, 1991). El uso de herramientas que faciliten el manejo de la producción y optimización, puede ser adoptado en diferentes fases dentro de la estrategia aplicada, tal es el caso de los experimentos de factorial o la búsqueda de condiciones óptimas para una variable respuesta específica considerando los parámetros o factores involucrados en estos procesos (Box y Behnken, 1960).

La optimización de procesos podría dividirse en seis etapas: la selección de variables independientes y las respuestas, la selección del diseño experimental, la ejecución de los experimentos y la obtención de resultados, la determinación de la ecuación modelo en base a la data experimental, la obtención de gráficos de superficie de respuesta y la validación del modelo (Witek-Krowiak *et al.*, 2014). El empleo de bioprocesos, considerando los niveles de los parámetros físicos y químicos, ha tenido una gran importancia en el desarrollo y diseño de estos aplicados a procesos fermentativos, debido al impacto económico y la factibilidad que estos ofrecen (Abdel-Fattah *et al.*, 2012).



2.2.5.1 Diseño de factorial - Plackett Burman

El uso de metodologías estadísticas que tengan como objetivo identificar las variables que presentan significancia en un proceso, refieren a los diseños experimentales de factorial. Si los factores afectan de manera sensible a la variable respuesta, permitirá el acceso o búsqueda de regiones óptimas mediante la aplicación de otros diseños experimentales, sin considerar las variables poco significativas (Montgomery, 1991). Mientras el número de factores se incrementa en un diseño factorial común 2^k , el número de corridas experimentales para la realización y viabilidad del diseño, excede los recursos necesarios en la mayoría de etapas que se requiera utilizar. Por ejemplo, en un diseño 2^6 , se requerirían 64 experimentos, de los cuales solo seis de los 63 grados de libertad se emplearían para estimar los efectos principales y 15 corresponderían a las interacciones entre dos factores; el resto de corridas experimentales abarcaría interacciones de tres a más factores. Muchas variables afectan la respuesta deseada, y no es posible la identificación individual de cada una de ellas. Sin embargo, existe una necesidad de seleccionar las variables significativas o de efecto marcado sobre la variable respuesta como ha sido mencionado anteriormente. Por esta razón, el uso de diseños factoriales fraccionados propiciaría un menor gasto de recursos, tiempo y experimentos, siendo este tipo de diseños los más empleados en la industria, especialmente en los experimentos de cribado (Myers *et al.*, 2009).

Uno de los diseños de cribado más aplicados en el sector industrial es el diseño PlackettBurman, el cual es un diseño factorial fraccionado de dos niveles, que permite seleccionar un gran número de factores que afectan significativamente un proceso. Este diseño permite dos niveles por cada una de las variables o factores que se deseen evaluar, además la condición de diseño fraccionado significa que frente a un diseño factorial



convencional, se requieren menos corridas experimentales, característica que es deseada con el fin de ahorrar tiempo y recursos (Aanchal *et al.*, 2016). Estos diseños se generan al colocar columnas predefinidas de niveles sobre la base del número de factores a evaluar, las cuales se derivan de la anterior moviendo los elementos de la primera columna y colocando el último elemento en la primera posición de la columna siguiente; completándose con el nivel -1 para la última corrida experimental. Los signos para un número de factores igual a $k = 8$ y $k = 12$ es el siguiente:

$k = 7, N = 8$ + + + - + - -

$k = 11, N = 12$ + + - + + + - - - + -

Si se parte de un número de factores menor al estimado en un diseño saturado, la estimación será más adecuada por el aumento del número de corridas experimentales, lo que quiere decir que puede usarse el diseño de $N = 12$ corridas experimentales si se tienen sólo $k = 7$, siendo el diseño no saturado, lo cual permitiría estimar si el diseño es adecuado o no mediante el uso de otras pruebas estadísticas que estimen el error puro del diseño (Myers *et al.*, 2009).

El diseño experimental de Plackett-Burman está basado en el siguiente modelo de primer orden:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i \dots (1)$$

donde Y es la variable respuesta, β_0 es el intercepto, β_i es el coeficiente linear y X_i es el nivel de la variable independiente (factor).



Este modelo no describe la interacción entre los factores y es utilizado para seleccionar y evaluar los factores de mayor influencia en la variable respuesta. Para la estimación de los efectos principales de cada variable independiente sobre la variable respuesta se ha establecido la siguiente ecuación:

$$E_{xi} = 2[(M_{i+} - M_{i-})] / N \dots (2)$$

Donde E_{xi} es el efecto principal de la variable independiente X_i sobre la variable respuesta Y , $M_{i+} - M_{i-}$ son los valores de la variable independiente en sus niveles altos y bajos (+1, -1) respectivamente, y N el número de corridas experimentales.

2.2.5.2 Metodología de superficies de respuesta

Usualmente, la optimización de procesos, requiere de una fase previa de cribado, para dar pase a las metodologías de superficie de respuesta (MSR), las cuales, son un conjunto de herramientas estadísticas y matemáticas, utilizadas para optimizar una variable de respuesta de interés sujeta a variables independientes (Montgomery, 1991). Estas técnicas son aplicadas cuando las relaciones entre las variables no son completamente entendidas como para representarlas de manera directa a través de un modelo matemático exacto, sino cuando es necesario construir un modelo empírico para aproximar su comportamiento. Por lo general, son empleados diseños factoriales fraccionados de resolución III, en los cuales los efectos principales no se confunden, a excepción de las interacciones entre dos factores, para determinar las regiones predictoras donde se ubiquen los valores óptimos para la variable respuesta a analizar (Piña *et al.*, 2006). Las regiones predictoras pueden ser alcanzadas mediante la aplicación de otras técnicas como el escalamiento ascendente o el ajuste de diferentes modelos polinomiales

de segundo orden (Box y Draper, 1987). Una de las propiedades deseables de los diseños de superficie de respuesta es la comprobación de varianzas constantes, la ortogonalidad y rotabilidad, la detección de falta de ajuste, la estimación de error puro, la formación de bloques, la construcción de diseños de orden superior y análisis gráficos (Aanchal *et al.*, 2016).

De acuerdo a estos diseños, la respuesta implicada en el proceso a ser evaluado, depende de las variables independientes o factores ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_k$), donde el modelo a ser optimizado se representa como:

$$Y = f(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_k) + \varepsilon_{ij} \dots (3)$$

donde la variable respuesta Y es una función basada en ε_j , las cuales son las variables naturales del proceso y el componente ε_{ij} representa el error aleatorio debido a diferentes fuentes de variabilidad no consideradas en la función f (Montgomery, 1991 y Myers *et al.*, 2009).

En el diseño de experimentos basados en la metodología de superficie de respuesta, la transformación de estas variables naturales del proceso a variables codificadas, permiten el mejor manejo de los modelos y los valores reales esperados η , que están en función de la combinación de los niveles de k factores cuantitativos: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ (Montgomery, 1991); así de esta relación, la superficie de respuesta para estas variables está dada por:

$$\eta = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k) \dots (4)$$

donde η , es la superficie de respuesta en función de varias variables independientes a optimizar (x_1, x_2, \dots, x_k).

Por lo que, de acuerdo a esta relación, la variable respuesta puede expresarse como:



$$Y = \eta + \varepsilon = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_k) + \varepsilon \dots (5)$$

Donde Y es la variable respuesta, η indica la relación existente entre la función y los niveles de k factores determinantes de la superficie de respuesta y ε es el ruido o error observado en la respuesta Y (Myers *et al.*, 2009)

Una de las alternativas más empleadas debido a sus menores costos operativos al ser ejecutados frente a otros diseños experimentales como los diseños centrales compuestos (CCD), es el diseño Box-Behnken. A diferencia del diseño Plackett-Burman, este diseño evalúa los efectos cuadráticos y de interacciones bidireccionales entre las variables, determinando así la naturaleza no lineal de la variable respuesta. Este es un diseño rotativo de segundo orden basado, que considera tres niveles para cada factor a evaluar en un diseño factorial junto con un diseño de bloques incompletos que se ajusta al modelo de metodología de superficies de respuesta (Box y Behnken, 1960). La relación entre la variable respuesta y los parámetros influyentes, se analizan a partir de los gráficos de contorno generados por estadísticas y los modelos matemáticos (Montgomery, 1991; Myers *et al.*, 2009).

La predicción del punto óptimo se ajusta a una función polinomial de segundo orden para correlacionar la relación entre las variables independientes y la variable respuesta (Box y Behnken, 1960). Otra característica resaltante del diseño Box-Behnken es que es un diseño esférico, debido a que los puntos del diseño se encuentran en las caras y orillas de un cubo en lugar de los extremos y vértices como en los diseños centrales compuestos (Myers *et al.*, 2009). La ecuación general del modelo de segundo orden se representa cómo:



$$Y = B_0 + \sum_{i=1}^k B_i X_i + \sum_{i=1}^k B_{ij} X_i^2 + \sum_i \sum_j B_{ij} X_i X_j + \varepsilon \dots (6)$$

donde, por ejemplo, para dos factores, la ecuación es:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_1 B_2 X_1 X_2 + B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2 + \varepsilon \dots (7)$$

Donde, Y es la variable respuesta predicha, β_0 la constante modelo; X_1 y X_2 las variables independientes; β_1 y β_2 son coeficientes lineales; β_{12} ; son coeficientes de interacción y β_{11} y β_{22} son los coeficientes cuadráticos. La calidad del ajuste de la ecuación del modelo polinomial se expresa mediante el coeficiente de determinación R^2 (Box y Behnken, 1960).



CAPITULO 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 3,500 y 4,800 msnm (Caballero *et al.*, 2018). La SAIS Tupac Amaru tiene como actividad principal la crianza de tipo extensivo de ganado ovino y vacunos lecheros 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 4130 msnm, el área experimental abarca una extensión de 2500 m² (50m x 50m) que fue debidamente cercada.

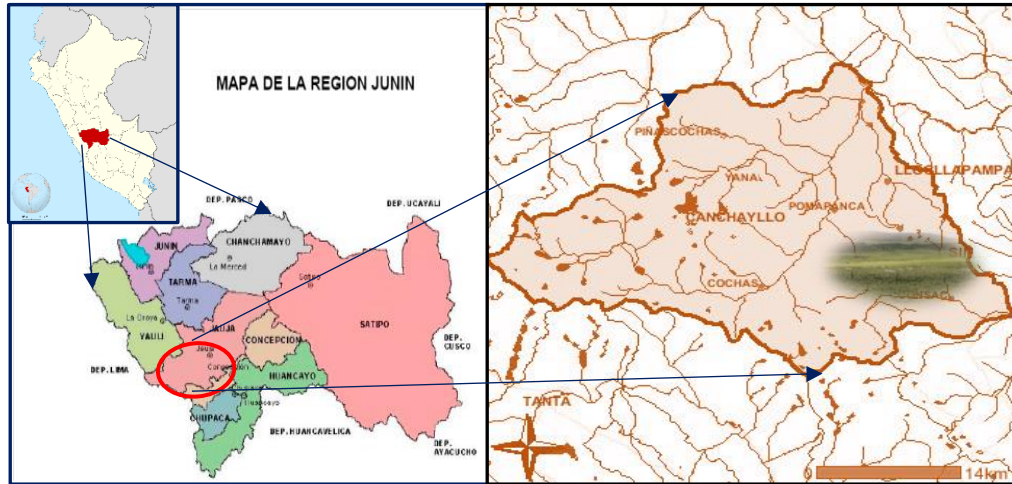


Figura 5. Ubicación de la zona de investigación

3.1.1. Patrones de precipitación pluvial y temperatura

Los patrones de temperatura ambiental corresponden a un clima templado a frío, muestran una temperatura máxima anual que oscilan de 8 a 14°C y temperatura mínima de -1 a 3°C (SENAMHI, 2007). A su vez en la zona de estudio se reportaron temperaturas de suelo 15.6°C promedio 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 oscila entre 21 a 27% 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%.

En el estudio se utilizó un pluviómetro para registrar posteriormente graficar las precipitaciones pluviales y temperaturas mensuales durante el periodo (2016 y 2017) (Figura 6). De los registros obtenidos (Tabla 1), en el cual se observa que los niveles de precipitación pluvial fueron promedio de 803.1 mm anualmente. Así mismo en figura 7 se tiene reporte en climadiagrama de precipitaciones pluviales y temperaturas de periodo (2000 – 2018) de los registros obtenidos de SENAMHI (Tabla 2).

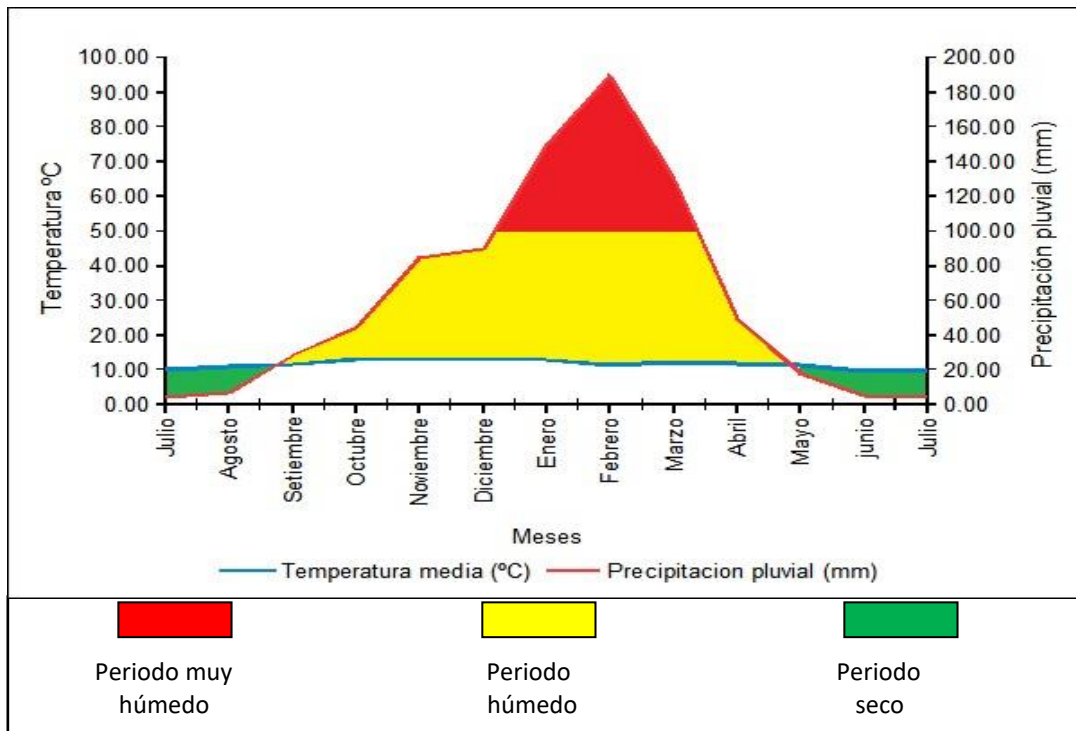


Figura 6. Grafica climadiagrama periodo (2016 a 2017) área de estudio.

Tabla 1. Datos climáticos periodo (2016 - 2017) área de estudio

Meses	Precipitación pluvial (mm)	Temperatura (°C)		
		Máxima	Mínima	Media
Julio	4.6	19.77	0.07	9.92
Agosto	7.0	20.21	1.67	10.94
Setiembre	28.5	19.36	3.81	11.58
Octubre	45.0	20.30	5.69	12.99
Noviembre	85.0	19.71	5.83	12.77
Diciembre	90.0	19.34	6.51	12.92
Enero	150.0	19.01	6.54	12.78
Febrero	190.0	16.54	6.06	11.30
Marzo	130.0	17.76	6.59	12.17
Abril	50.0	18.21	5.05	11.63
Mayo	18.0	20.19	2.70	11.44
Junio	5.0	18.41	0.93	9.67
Promedio	66.9	19.07	4.29	11.68
Total	803.1			

Fuente: SENAMHI

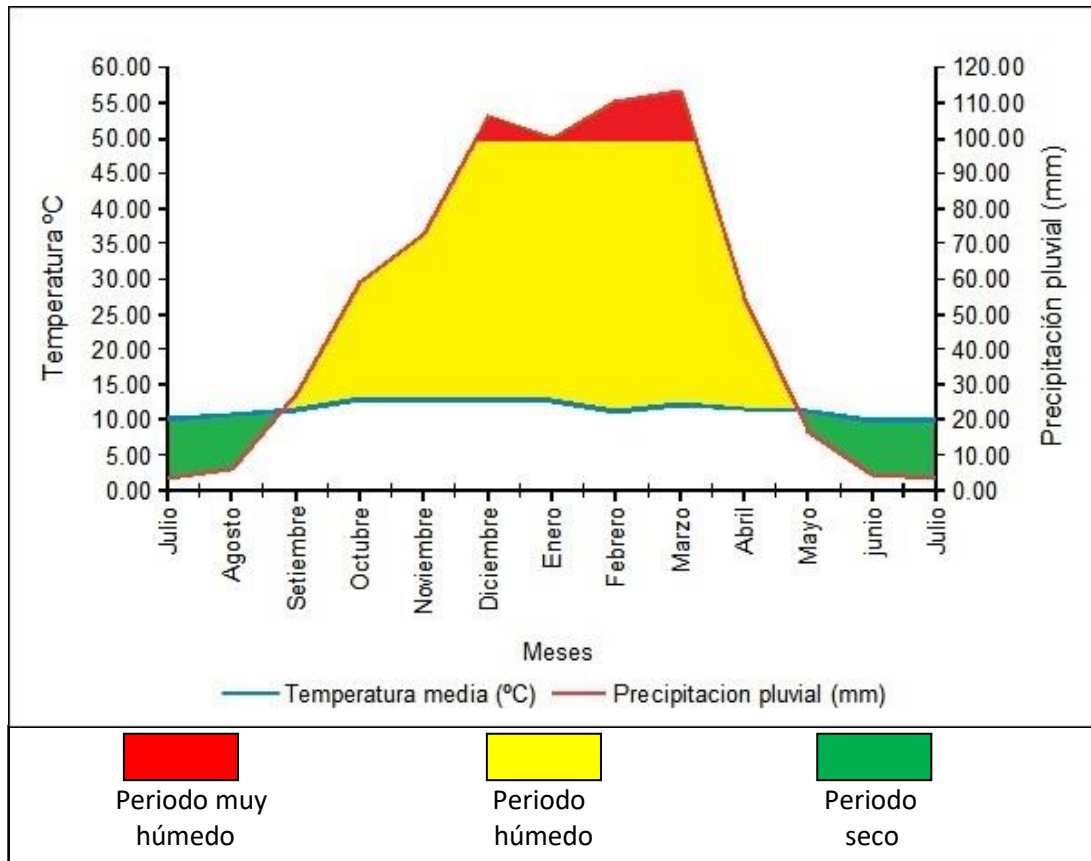


Figura 7. Grafica climadiagrama periodo (2000 -2018) Jauja - Junín

Tabla 2. Datos climáticos periodo (2000 - 2018) Jauja - Junín

Meses	Precipitación pluvial (mm)	Temperatura (°C)		
		Máxima	Mínima	Media
Julio	3.8	19.98	0.27	10.12
Agosto	6.0	20.41	1.46	10.93
Setiembre	27.8	19.46	3.87	11.67
Octubre	59.4	20.47	5.67	13.07
Noviembre	72.9	19.81	5.87	12.84
Diciembre	106.7	19.26	6.54	12.90
Enero	100.3	18.99	6.69	12.84
Febrero	110.4	16.62	6.19	11.41
Marzo	113.4	17.91	6.74	12.32
Abril	55.0	18.37	5.10	11.74
Mayo	17.0	20.32	2.73	11.52
Junio	4.6	18.94	0.75	9.85
Promedio	56.4	19.2	4.3	11.8
Total	677.2			

Fuente: SENAMHI



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 vicunaru*, *Festuca humilior*, *Muhlenbergia fastigiata*, *Poa candamoana*, *Poa marshallii*, *Poa spicigera*, *Agrostis breviculmis*, *Bromus modestus*, *Muhlenbergia peruviana* y *Hordeum muticum*; las pseudogramíneas; *Carex ecuadorica*, *Carex sp*, *Eleocharis albibracteata*, *Luzula racemosa* y *Trichophorum rigidum*; y las Herbáceas; *Plagiocheilus soliviformis*, *Werneria nubigena*, *Werneria pygmaea*, *Alchemilla pinnata*, *Hypochaeris 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 danguyii*

Durante el periodo de estudio, la composición florística estaba constituida de 38 especies, de cuales 14 especies (37%) representan a las gramíneas. Las especies más dominantes de la comunidad vegetal fueron: *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunaru*. Las herbáceas son el segundo grupo en importancia con 19 especies que representan el 50% en la estructura de la comunidad vegetal, y finalmente el grupo de pseudogramíneas con 5 especies representa solo un 13%. (Figura 8).

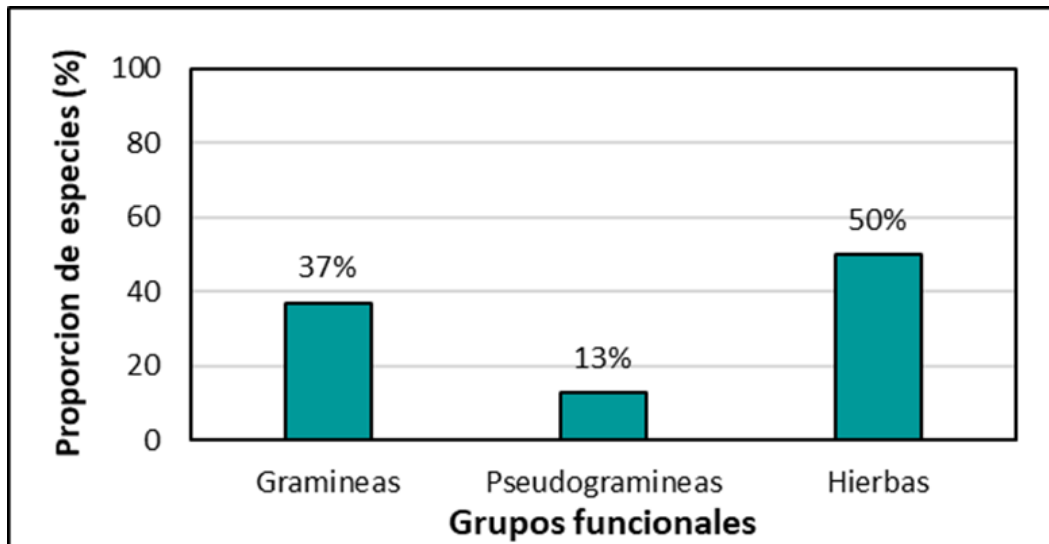


Figura 8. Estructura de las comunidades vegetales en la zona de estudio

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 pluvial

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 m² (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) tenían una altura de 0.45 y 1.1 metros con respecto al suelo, y un área de 3.76m² (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 9 muestran los modelos de interceptores, el interceptor a través del cual se logra interceptar el 30% de lluvia, es decir llega a la parcela el 70% de la precipitación está compuesto de 4 piezas de acrílico. El modelo que intercepta el 60% 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.

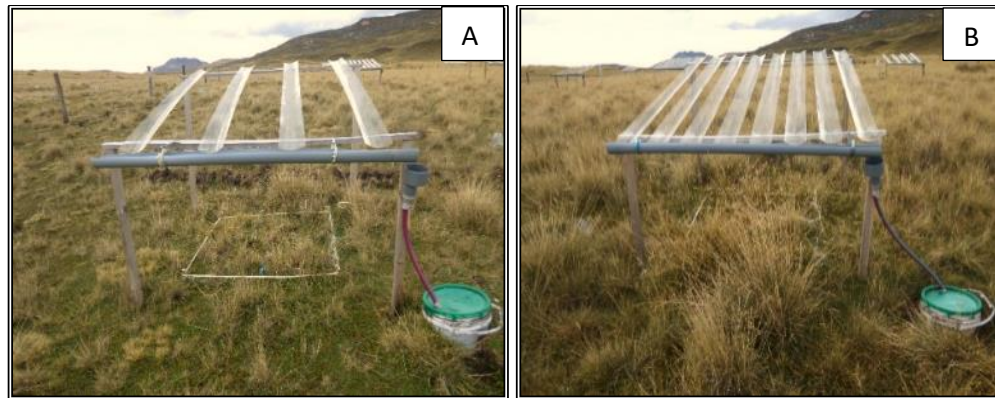


Figura 9. Modelos de interceptores (A) 30% y (B) 60% de precipitación pluvial

La investigación incluyó la época de lluvia, el monitoreo de la respuesta de *Festuca humilior* se realizó en el mes de febrero del 2017, que representa el periodo de máxima precipitación “pico de lluvia”.

3.2.2. Intensidad de uso

Para evaluar la respuesta de *Festuca humilior* especie clave de pastizales, se simularon tres intensidades de uso a través de cortes manuales, en cada parcela. Se identificó una planta de *Festuca humilior* (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% de especie estudiada. Se utilizó como referencia de intensidad de uso la altura de planta para facilitar la implementación de las simulaciones, por cuanto la especie 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 (Figura 10).

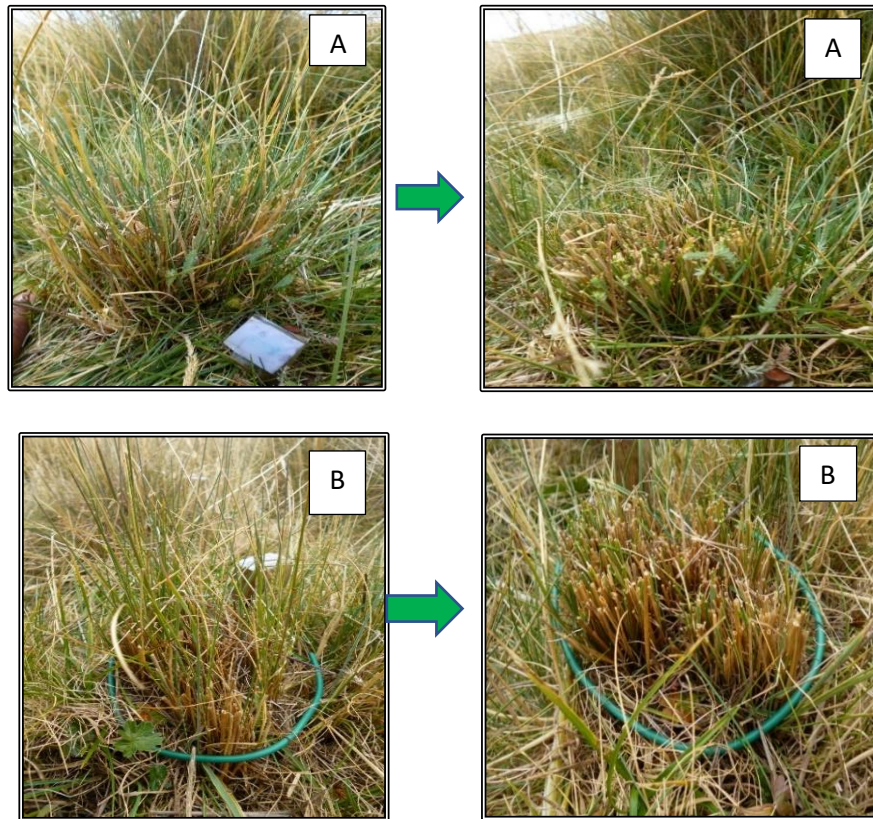


Figura 10. Plantas marcadas de Festuca humilior en las que ilustran la simulación de niveles de utilización (A) 40% y (B) 80%

3.2.3. Tratamientos experimentales

Los tratamientos experimentales involucran dos factores, nivel de precipitación pluvial y nivel de uso. El factor de precipitación pluvial con tres niveles: 100%, 70% y 40% y el factor de intensidad de uso con tres niveles: 0%, 40% y 80%. Los tratamientos que resultan de combinación de factores son 9 (Tabla 3).

Tabla 3. Tratamientos experimentales en el estudio

Tratamientos	Niveles de	niveles de
	Precipitación pluvial (%)	Utilización (%)
T-1	Normal – 100	Sin corte – 0
T-2	Normal – 100	Con corte – 40
T-3	Normal – 100	Con corte – 80
T-4	Media – 70	Sin corte – 0
T-5	Media – 70	Con corte – 40
T-6	Media – 70	Con corte – 80
T-7	Baja – 40	Sin corte – 0
T-8	Baja – 40	Con corte – 40
T-9	Baja – 40	Con corte – 80

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

a. Altura.

La altura es el atributo morfológico de las especies vegetales y es un parámetro sensible a cambios abióticos precipitación pluvial y bióticos (corte). 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

R = Radio mayor de la mata

r = Radio menor de la mata

h = Altura de la mata



El procedimiento se realizó en cada una de las subunidades experimentales, que incluyeron a una especie por cada unidad experimental es decir 27 unidades en toda el área de estudio 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 la especie clave: *Festuca humilior*. 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 en la pradera. El método utilizado se basó en mediciones de altura y peso, para ello 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* 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 *Festuca humilior* en función a su relación peso-volumen Anexo (Tabla 13).

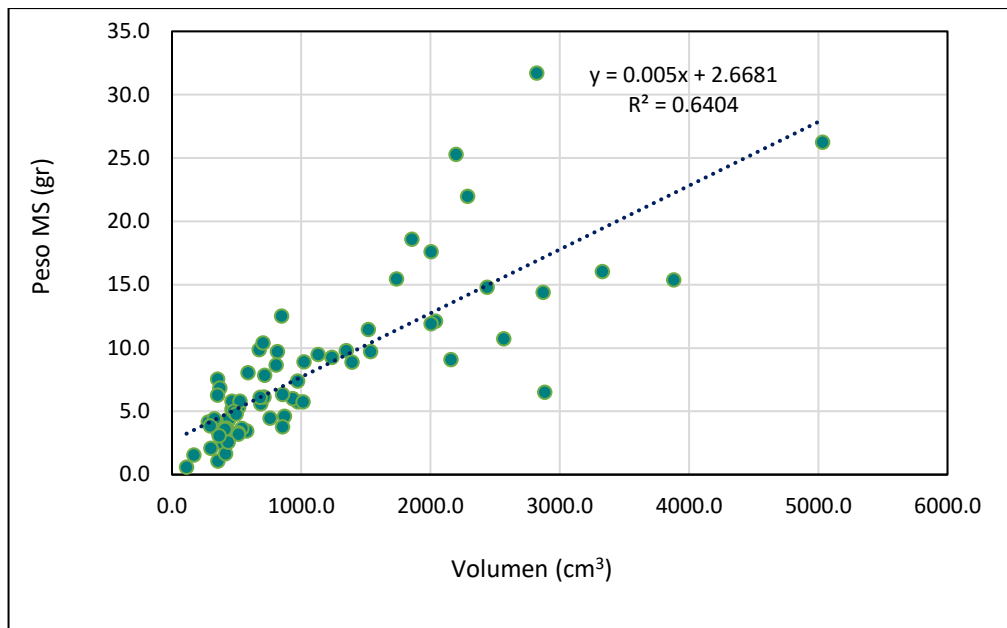


Figura 12. Ecuación de regresión lineal para *Festuca humilior*

3.3. PROCEDIMIENTO ANALITICO

El diseño experimental Plackett-Burman y el diseño de superficie de respuesta fueron generados y analizados en el software Minitab XIX y Statgraphics Centurión XVI.II (Statpoint Technologies Inc., VA, USA). Así mismo a considerar para la optimización del diseño a aplicar en el estudio en esta etapa del análisis factorial nos muestran que las pendientes (curvaturas) para cada variable de respuesta (altura, vigor y productividad) no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) anexo (Tabla 17).

3.3.1 Fase de cribado.

La metodología del diseño Plackett-Burman, es aquella que nos permite evaluar los efectos principales, (Kuhad *et al.*, 2011; Briefs, 2013). en el estudio se consideró dos factores para realizar la fase de cribado. Sobre la base de la variable respuesta o dependiente (Altura, vigor y productividad), fueron evaluados dos factores (Precipitación



pluvial y nivel de uso) a tres niveles en veinte siete corridas experimentales aleatorias, buscando el mayor efecto y significancia de estos, para la fase de optimización. Los factores evaluados fueron Precipitación pluvial y Nivel de utilización (Tabla 4). El diseño incluyó un punto central, los cuales corresponden al medio de producción de *Festuca humilior*. Los niveles mínimos y máximos de cada factor se establecieron de acuerdo a la revisión de literatura (Das *et al.*, 2013b; Mahmood *et al.*, 2013; Cupul *et al.*, 2014), tomándose el criterio del cincuenta por ciento arriba y abajo para cada factor en base a los niveles basales (Tabla 5). Fueron empleadas cinco réplicas en el punto central, la importancia y significancia de cada factor en la etapa factorial se determinó mediante el diagrama de Pareto estandarizado y el análisis de varianza ($\alpha = 0.05$).

Tabla 4. Valores de niveles evaluados en diseño Plackett-Burman

Factor	Nivel bajo (-1)	Nivel central (0)	Nivel alto (+1)
Precipitación pluvial (%)	40	70	100
Nivel de utilización (%)	0	40	80

Tabla 5. Arreglo aleatorio factorial del diseño Plackett-Burman para el cribado en función de los niveles para cada factor

Corrida	Nivel de Precipitación	Nivel de Utilización
1	1	1
2	-1	-1
3	0	0
4	-1	1
5	0	0
6	0	0
7	1	-1
8	0	0
9	0	0
10	1	1
11	-1	-1
12	0	0
13	-1	1
14	0	0
15	0	0
16	1	-1
17	0	0
18	0	0
19	1	1
20	-1	-1
21	0	0
22	-1	1
23	0	0
24	0	0
25	1	-1
26	0	0
27	0	0

El objetivo de esta fase fue validar el modelo con mayor efecto y significancia sobre la variable respuesta (Altura, Vigor y Productividad), para la posterior optimización de los factores en estudio. El diseño empleó tres réplicas por experimento en el punto central, para permitir la estimación de la suma de cuadrados del error (Montgomery, 2002;



Myers et al., 2009). El diseño de la matriz Plackett-Burman para validar el modelo de los factores se muestra en anexo (Tabla 16) con los valores observados y esperados de las variables respuestas. El diseño fue creado de manera aleatoria, ejecutándose veinte siete corridas experimentales, incluyendo cinco puntos centrales por bloque.

3.3.2 Fase de optimización.

Se utilizó la metodología de superficie de respuesta para optimizar los factores principales a partir del diseño factorial. Se establecieron veinte siete corridas experimentales y bajo aleatoriedad, de las cuales cinco representan los puntos centrales de cada factor respecto a sus niveles altos y bajos, según se detalla en (Tabla 4). Los factores evaluados fueron: Niveles de precipitaciones pluviales (40, 70 y 100%) con niveles de utilización (0, 40 y 80%).

La variable respuesta evaluada fue los parámetros: altura, vigor y productividad de *Festuca humilior*. Los gráficos de superficie de respuesta fueron realizados sobre la base de dos factores en sus respectivos niveles. Los factores y sus niveles inferiores y superiores se establecieron de acuerdo a la revisión de literatura (Moreno-Galván *et al.*, 2012; Das *et al.*, 2013b) y a lo obtenido en la fase factorial. La significancia, efecto y valores óptimos de cada uno de los dos factores establecidos en la etapa de factorial, se determinó mediante el análisis de varianza ($\alpha = 0.05$) y las superficies de respuesta generadas.

Para la fase de optimización de los parámetros (altura, vigor y productividad) se empleó el diseño de superficie de respuesta considerando los factores precipitación y nivel de uso en la fase de regresión factorial. Los factores fueron evaluados en tres niveles



(-1, 0, +1) para los ensayos cuantitativos de altura, vigor y productividad, dando los valores observados de los parámetros para cada corrida experimental del diseño, tal como se observa en Anexo (Tabla 16). Las veinte siete corridas experimentales fueron realizadas en orden aleatorio, con cinco puntos centrales para la estimación de la suma de cuadrados del error (Myers *et al.*, 2009).

3.3.3 Validación del modelo

Las condiciones óptimas de los niveles de las variables independientes, se obtuvieron mediante la metodología de superficie de respuesta. Para la validación, se realizaron tres repeticiones experimentales. Los valores obtenidos experimentalmente (con los niveles óptimos de las variables independientes) se compararon con los valores estimados por el modelo, y se realizó una prueba de significancia no paramétrica en el software Minitab XIX).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DISEÑO DE CRIBADO – DISEÑO EXPERIMENTAL PLACKETT

BURMAN

Para el análisis estadístico, las variables altura, vigor y productividad, valores estimados y observados obtenidos en orden de 8 a 23 cm, 420.31 a 5605.92 cc y 4.77 a 30.70 gMS/planta. En base al análisis de varianza y el diagrama de Pareto estandarizado, el factor Nivel de utilización mostró significancia ($p > 0.05$) mas no precipitación pluvial sobre Altura, vigor y productividad como se observa en Figura 13, la longitud de las barras es proporcional al efecto sobre la variable respuesta, aquellas que cruzan la línea vertical roja presentan significancia a un nivel de confianza del 95 por ciento (Jayasree *et al.*, 2016).

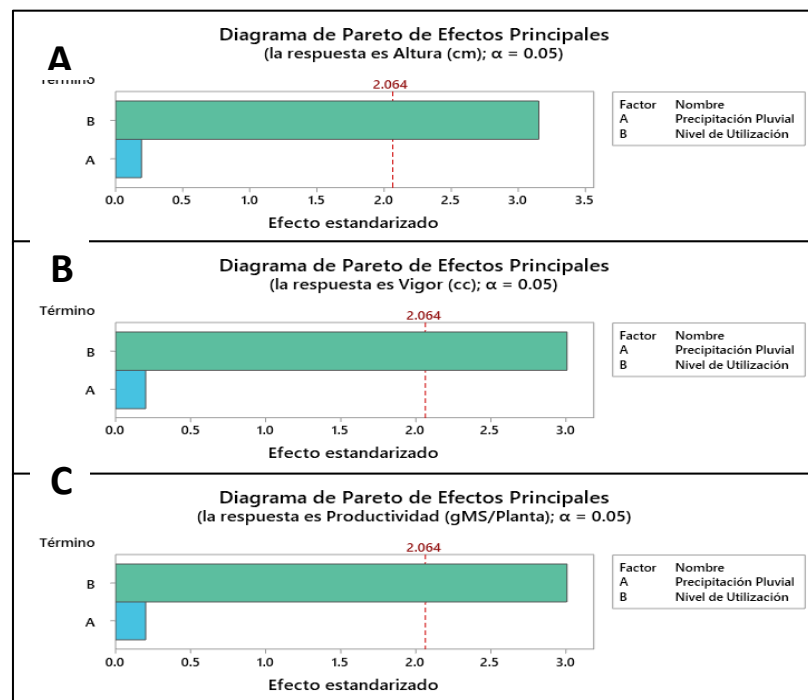


Figura 13. Diagramas de Pareto estandarizado, muestra significancia en (A) Altura, (B) Vigor y (C) Productividad



En figura 14 se observa que los efectos principales, muestra sobre la variable respuesta predicha como una función de cada factor experimental. Se observa en altura, vigor y productividad en los cuales la precipitación pluvial presenta una pendiente positiva desde nivel (-1 a +1) sin embargo, en nivel de utilización muestran una pendiente muy negativa en todas las variables de respuestas. Por esta razón y sobre la base de los resultados obtenidos, no sería lógico considerar para la búsqueda de una región de máximo valor en la fase de optimización (Palvannan y Sathishkumar, 2010; Pirzadah *et al.*, 2014). El modelo lineal para este diseño, establece una relación entre la actividad de Altura, vigor y productividad y los factores precipitación pluvial y nivel de utilización; los cuales se representan en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Altura (cm)} = 19.67 - 0.0083 \text{ PP} - 0.1021 \text{ NU}$$

$$\text{Vigor (cc)} = 3284 + 2.2 \text{ PP} - 24.36 \text{ NU}$$

$$\text{Productividad (gMS/Planta)} = 19.09 + 0.0108 \text{ PP} - 0.1218 \text{ UN} \dots \dots \dots (9)$$

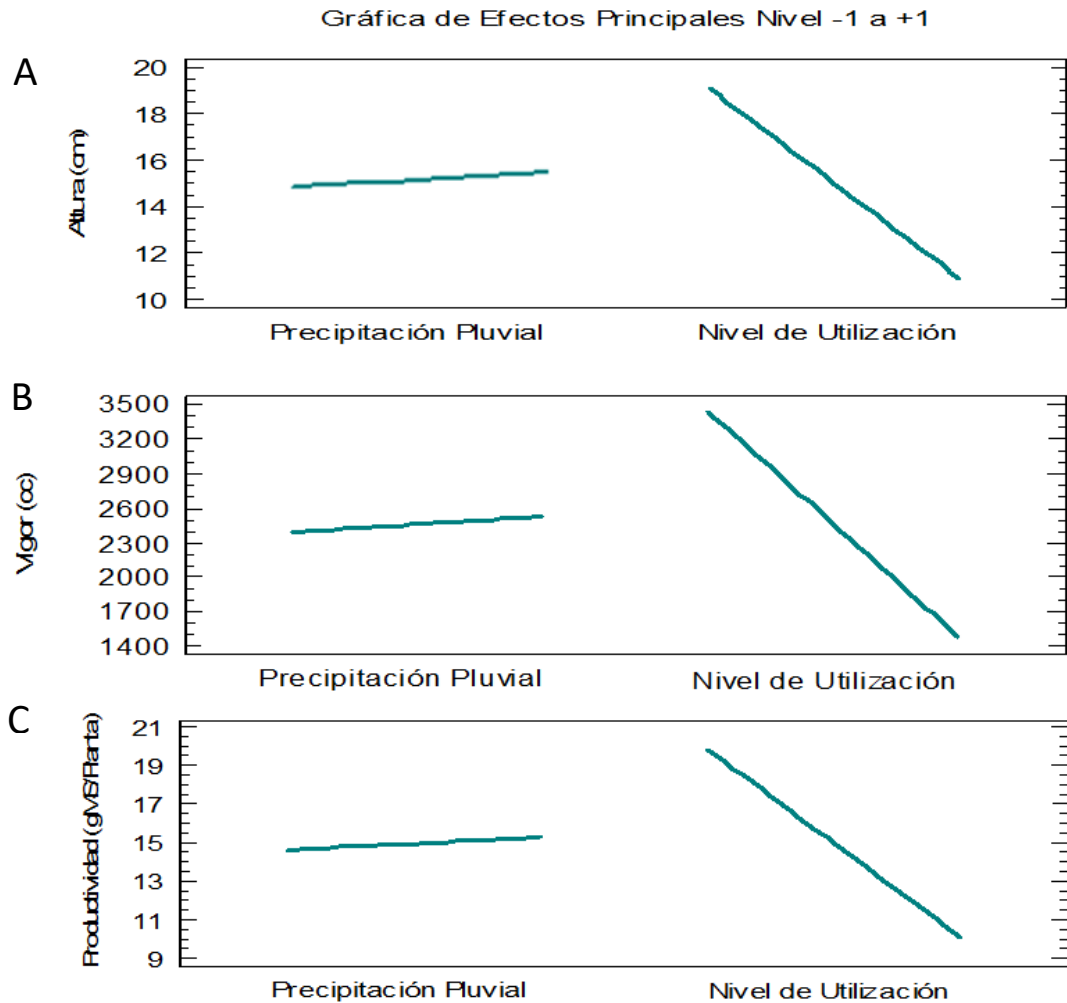


Figura 14. Efectos principales sobre (A) altura, (B) vigor y (C) productividad mediante el diseño experimental Plackett-Burman.

La tabla 6 muestra que altura, volumen y productividad disminuyeron significativamente cuando la intensidad de uso incrementa. *Festuca humilior* reduce en altura y vigor significativamente a partir de intensidades altas (80%) lo que muestra que este parámetro es el más sensible para monitorear la respuesta al pastoreo en esta especie, así mismo, se observa en tabla 6 que aun a nivel de utilización moderada (40%) *Festuca humilior* muestra una reducción de 21% en vigor y 18% en productividad con respecto a plantas no pastoreadas.

Las recomendaciones del nivel de utilización en pastizales sugieren un 50% 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 vigor 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%) y luego decaer (Brysk, 1991)

Tabla 6. Efecto de los niveles de utilización en *Festuca humilior*

Variables de respuestas	Niveles de Utilización		
	0 (%)	40 (%)	80 (%)
altura (cm)	17 ^(a)	16.67 ^(a)	8.83 ^(b)
vigor (cc)	3279 ^(a)	2586 ^(a)	1331 ^(b)
Productividad (gMS/Planta)	19.07 ^(a)	15.6 ^(a)	9.32 ^(b)

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

4.2. OPTIMIZACIÓN DE LAS VARIABLES RESPUESTAS

Los resultados presentados en anexo (Tabla 16), indican que los parámetros altura, vigor y productividad varió sus valores estimados y observados en orden de 8 a 23 cm, 420.31 a 5605.92 cc y 4.77 a 30.70 gMS/planta respecto a las corridas experimentales empleadas. El modelo de la interacción obtenido para este diseño, establece una relación entre las actividades de altura, vigor y productividad (variables dependientes) y los factores Precipitaciones pluviales y Nivel de utilización (variables independientes); los cuales se representan en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Altura (cm)} = 17.53 + 0.0222 \text{ PP} - 0.0486 \text{ NU} - 0.00076 \text{ PP*NU}$$

$$\text{Vigor (cc)} = 3267 + 2.4 \text{ PP} - 23.9 \text{ NU} - 0.006 \text{ PP*NU}$$

$$\text{Productividad (gMS/Planta)} = 19.00 + 0.0121 \text{ PP} - 0.120 \text{ NU} - 0.00003 \text{ PP*NU} \dots (8)$$

El análisis de varianza del modelo de las interacciones que se muestra en anexo (Tablas 19), para variable altura, vigor y productividad las precipitaciones pluviales no presentó significancia ($p < 0.05$). De igual forma puede observarse que la suma de cuadrados del error presenta un valor menor en relación a la suma de cuadrados del total, lo cual indica la correcta reproducibilidad del punto central evaluado (Myers et al., 2009). Además, con respecto al coeficiente de determinación (R^2) de altura, vigor y productividad se pudo establecer en orden 65.37, 77.78 y 77.79 por ciento de la variabilidad de los resultados es explicado por el modelo de la interacción, mostrando la adecuación del modelo en predecir el efecto de altura, vigor y productividad en la producción de *Festuca humilior*. El valor del R^2 ajustado en orden (57.12, 72.49 y 72.50 por ciento) fue cercano al del R^2 , indicando que existe correlación entre los valores estimados y observados de las variables de respuestas en la etapa de optimización (Soni et al., 2010).



4.3. ANÁLISIS DE LA SUPERFICIE DE RESPUESTA

Se puede observar en Figura 15, para variable altura, se estima en función del factor nivel de utilización que presenta un efecto de tendencia negativa, sobre la base de sus niveles desde 0% hasta 80% genera un decrecimiento de los valores de altura, por lo que los valores óptimos para este factor corresponderían a los más cercanos a su nivel (-1) del nivel de utilización, con relación al factor precipitación pluvial, su efecto de la interacción genera un ligero aumento de los valores de altura cuando varía desde 40% hasta 100%. Así mismo, en la Figura 16 se describe el efecto de los niveles de utilización sobre la variable vigor disminuyendo sus niveles en función de nivel de utilización de 0% a 80%, mientras los niveles de precipitaciones pluviales aumentaron ligeramente de 40% a 100% por lo que los valores óptimos de los factores (NU y PP) se encontrarían en orden (-1 con +1). Similarmente en figura 17 se observa el efecto sobre la variable productividad en nivel de utilización 0% es decir la superficie de respuesta alcanza un punto máximo del nivel de utilización a (-1) y el efecto de los niveles de precipitación pluvial muestra la superficie de respuesta a 100% alcanza un punto máximo (+1).

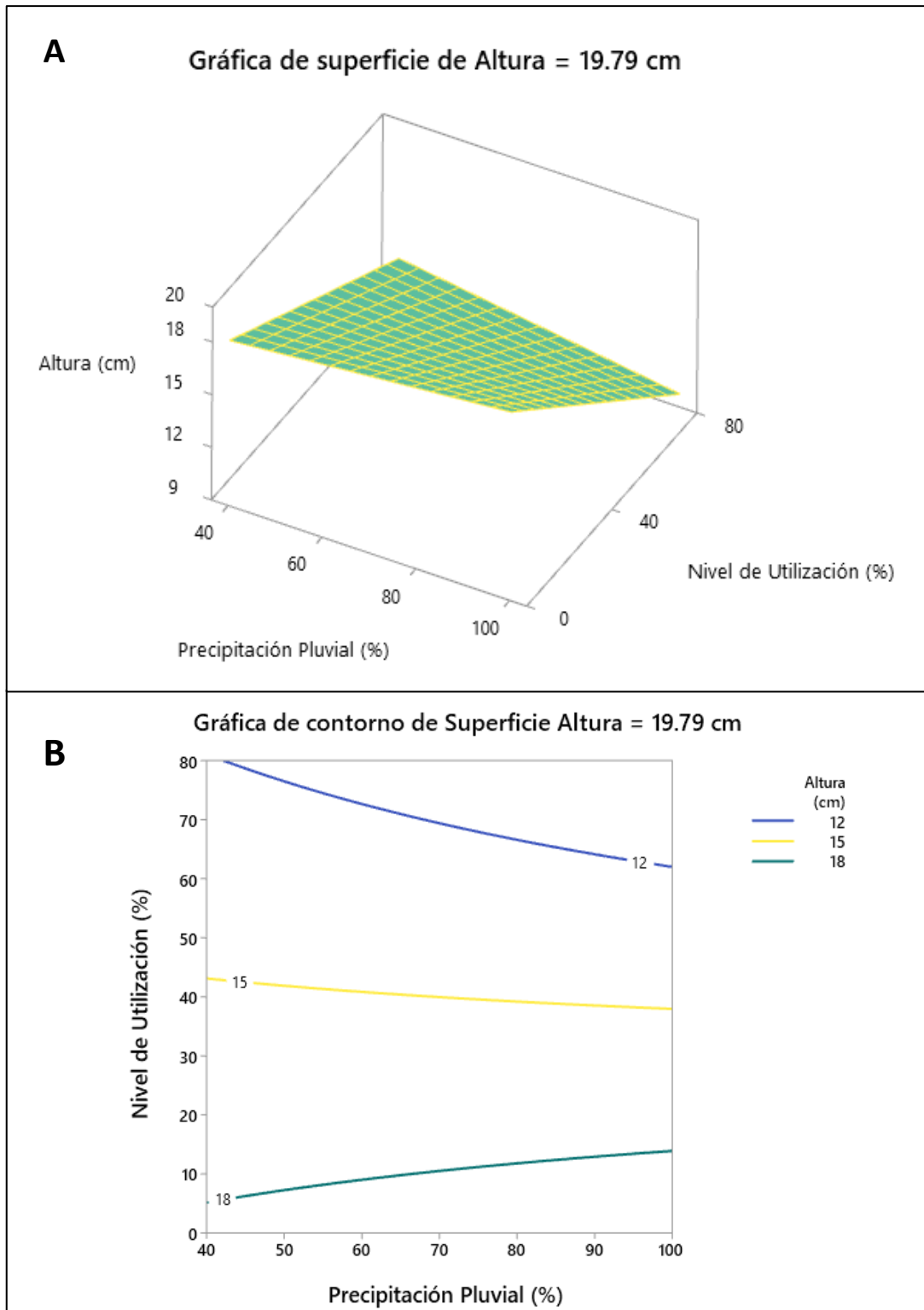


Figura 15. Gráficos (A) superficie de respuesta y (B) contorno para efectos combinados en altura de Festuca humilior.

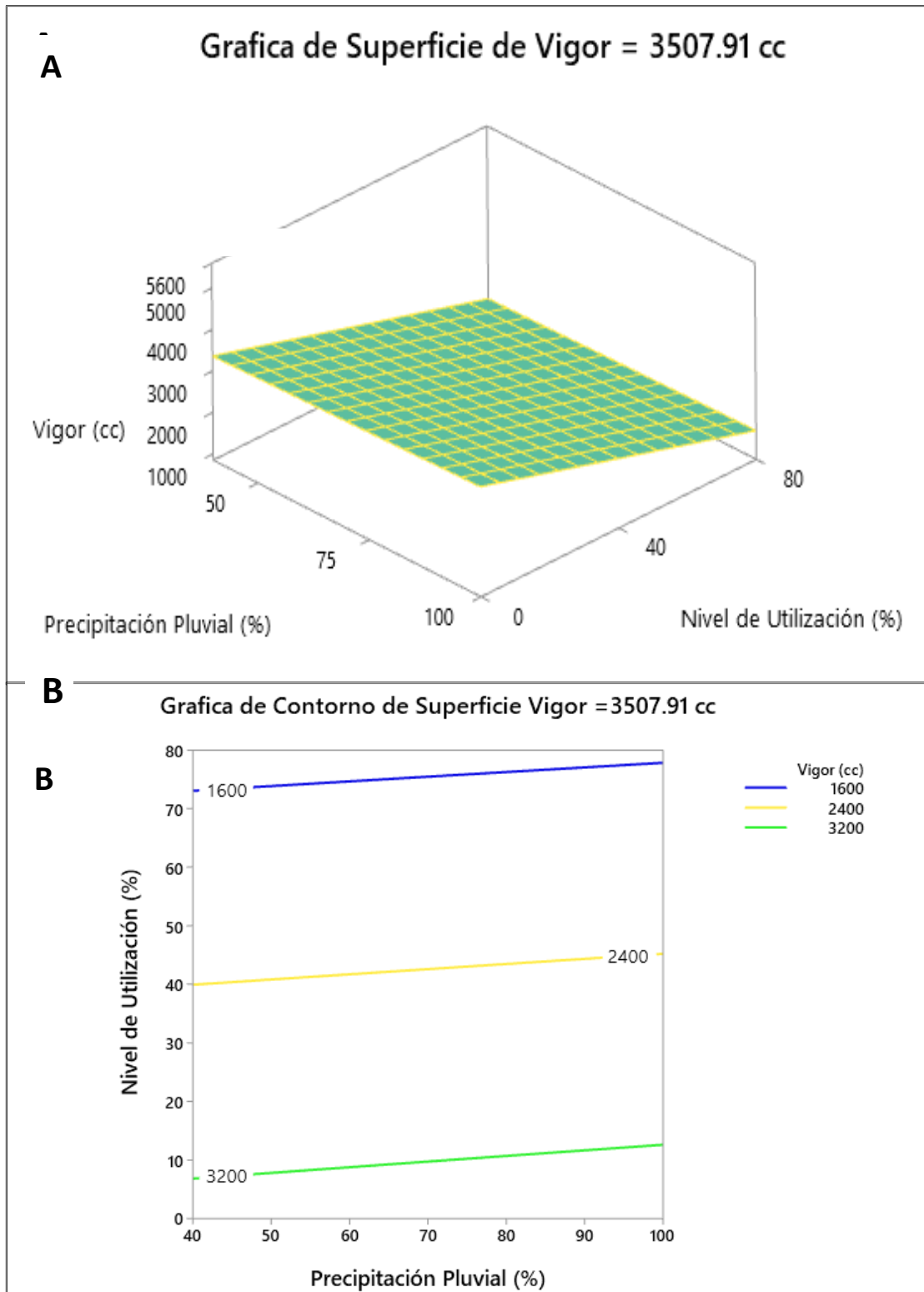


Figura 16. Gráficos (A) superficie de respuesta y (B) contornos para efectos combinados en vigor de Festuca humilior

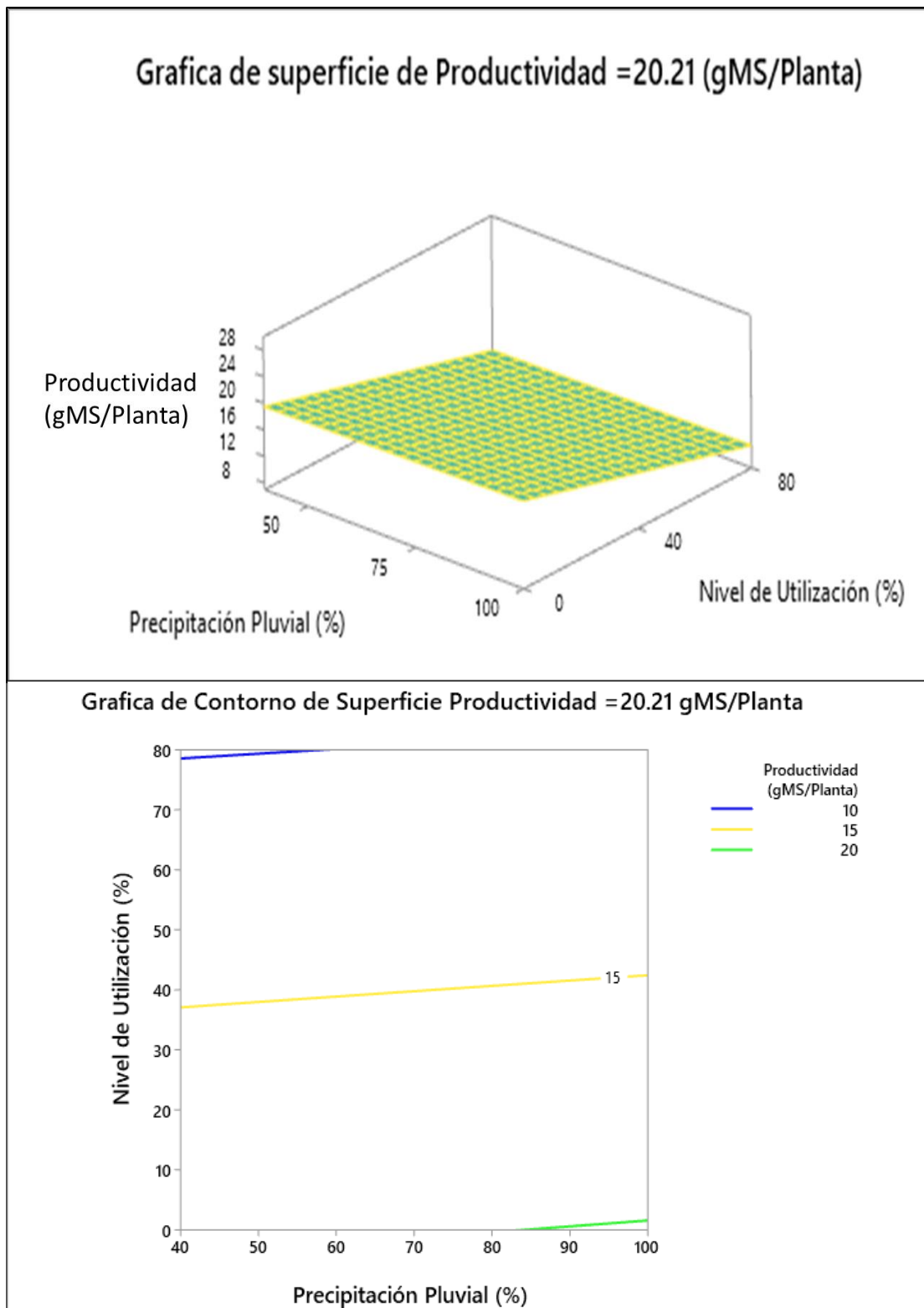


Figura 17. Gráficos (A) superficie de respuesta y (B) contornos para efectos combinados en productividad de *Festuca humilior*



Los gráficos de superficies de respuestas observados en conjunto con sus respectivos gráficos de contorno, presentaron formas lineales, lo cual indica los efectos simultáneos de los factores precipitaciones pluviales y nivel de utilización sobre las variables respuestas (Pirzadah *et al.*, 2014). Los valores óptimos siendo máximos de los parámetros altura, vigor y productividad, se dan en condiciones deseables con respecto a los factores como precipitaciones pluviales y niveles de utilización. Para lo cual estudios realizados mostraron en la productividad de pastizal de género *Festuca*, que está controlada por la disponibilidad de agua, así como la frecuencia y severidad de la defoliación. Estos afectan principalmente la estructura y la producción del pastizal (Scheneiter, 2018). Por ende, la humedad media del suelo se relacionó con un aumento de PPNA, pero una mayor variabilidad en la humedad del suelo llevó a la disminución de PPNA (Knapp *et al.*, 2002). Así como en las gramíneas, el crecimiento vegetativo, está asociado a la humedad y solución del suelo, (Bertiller *et al.*, 1991). Una mejor respuesta en altura y vigor son rasgos ventajosos para los matojos de género *Festuca*, debido a que pueden aumentar su capacidad competitiva frente a otras especies nativas que coexisten en simultáneo (Fehr, 1987).

Estos resultados fortalecen el planteamiento de la hipótesis que *Festuca humilior* es sensible a altas intensidades de pastoreo, y tolerantes a niveles moderados de humedad en el suelo. La combinación de estos dos factores de estrés (pastoreo y sequía) puede eventualmente modificar la estructura de la comunidad vegetativa en la que se encuentran las especies perennes. Este comportamiento de *Festuca humilior* explicaría una tendencia en el decrecimiento de la composición florística en áreas sobre pastoreadas, lo cual tiene implicancias relacionadas con la calidad del forraje producido (McNaughton y Wolf, 1979). La riqueza de especies claves es un parámetro que se refiere al número de especies



que existe en el área y está asociada positivamente con el grado de estabilidad y resiliencia del sistema ecológico, debido a que las especies allí presentes, son el resultado de un proceso de adaptación a las condiciones bióticas y abióticas prevalentes en el ecosistema (Ministerio del Ambiente, 2020)

La influencia de las condiciones climáticas en la producción de *Festuca humilior* donde se llevó a cabo el estudio. En el cual las características del clima como las precipitaciones pluviales promedio fueron de 803 mm en la campaña (2016 – 2017). Las temperaturas son altas en la primera etapa de lluvias (Setiembre-Noviembre), acompañado con periodo húmedo, a diferencia en la segunda etapa (Diciembre-Marzo) con periodo muy húmedo acompañado con temperaturas disminuidas (Figura 6). Bajo esta condición climática es de vital importancia tener en cuenta el efecto en *Festuca humilior* que ejerce en los procesos fisiológicos dando lugar al crecimiento y desarrollo, por ende, la producción de biomasa (Febles *et al.* 2009).

En Tabla 7. Los datos muestran valores óptimos ya sea máximo, mínimo y estimado para cada variable respuesta, en el cual se muestran que son superiores en el uso de la humedad del suelo principalmente para su crecimiento (altura), ya que requiere el 100% de precipitaciones pluviales ello relación con bajo o alto nivel de intensidad de uso, a diferencia en vigor y productividad requiere una humedad variable, en referencia a niveles de uso, En vista que los reportes de Condori (2017) indica que *Festuca dolichophylla* presentaron potenciales hídricos muy alto (muy negativos) de -0,903 MPa a -3,88 MPa y con promedio -2,21 MPa, se desarrolla en temperaturas que están por debajo o por encima de cero (-4,31 a 7,83 °C), pero cabe mencionar que a mayor temperatura la planta presenta un potencial hídrico muy negativo. Lo cual guarda relación

con los resultados, que *Festuca humilior* su crecimiento son menores debido a que en la primera etapa las precipitaciones pluviales son menores con temperaturas altas, a diferencia en la segunda etapa con periodo muy húmedo y con temperatura bajas favoreciendo en el macollamiento y propicia que *Festuca humilior* acumule mayor cantidad de biomasa y que expresen su potencial de crecimiento a mayor porcentaje de humedad en el suelo.

Tabla 7. Valores óptimos en base a combinación de factores.

Parametros	Estimaciones óptimas	Factores		Valores óptimos
		Precipitaciones pluviales (%)	Nivel de Utilización (%)	
Altura (cm)	Máximo	100	0	19.79
	Mínimo	100	80	9.75
	Objetivo	70	40	15.00
Vigor (cc)	Máximo	100	0	3507.91
	Mínimo	40	80	1459.57
	Objetivo	97	5	3373.30
Productividad (gMS/Planta)	Máximo	100	0	20.21
	Mínimo	40	80	9.81
	Objetivo	70	15	18.00



4.4. VALIDACIÓN DEL MODELO PREDICTIVO.

4.4.1. Optimización del efecto nivel de utilización sobre altura, vigor y productividad en *Festuca humilior*.

El análisis de varianza del modelo de las interacciones y los coeficientes de determinaciones obtenido a partir del diseño experimental de superficie de respuesta mencionadas anteriormente. Los resultados en esta etapa, fueron posibles para optimizar los niveles porcentuales del factor nivel de utilización para validar la predicción del modelo, que fueron requeridos realizar experimentos adicionales que se realizaron en el medio optimizado, cuya composición fue detallada en la sección de materiales y métodos. Los resultados predichos y experimentales verificaron la validez del modelo y la existencia de los valores óptimos de altura, vigor y productividad, que fueron en orden de 19.79 cm, 3507.91 cc y 20.21 gMS/planta. Los valores observados siendo máximos demostraron ser cercanos al estimado por el modelo, lo cual indica que la optimización alcanzada en el presente estudio es confiable para su recuperación de los pastizales de condición pobre y regular (Gómez-Gómez *et al.*, 2003).

Tabla 8. Condiciones óptimas de nivel de utilización para altura, vigor y productividad de *Festuca humilior*.

Factor	Valor óptimo (%)	Respuesta óptima		
		Altura (cm)	Vigor (cc)	Productividad (gMS/Planta)
Nivel de Utilización	0	19.75	3507.91	20.21



En Tabla 8. Los valores óptimos generados por el software, fueron de 0% de nivel de utilización que generó una respuesta máxima de 19.75 cm de altura. Este resultado suele guardar una relación con el caso del descanso del pajonal, en el cual se mejoró el estatus ecológico pasando de una condición regular a buena (65% vs. 85% tratamiento descanso) y en el caso del diferimiento con llamas y vacunos (Yalli y Flores, 2016), dicho condición mejoró de pobre a regular (39.4% control vs. 50.7% diferimiento).

Por otro lado, la especie *Festuca dolichophylla*, para pastoreo de vacunos expresado en unidades (UV) considerando como base la condición puede soportar una carga animal óptima de 0,38 UV/ha/año. Mientras que la carga animal óptima en base a disponibilidad de materia seca es de 0,27 UV/ha/año. Se deduce que la carga animal óptima estimada en base a la disponibilidad de materia seca es menor a la carga animal óptima estimada en base a condición en 0,11 UV/ha/año. Sin embargo, en el pastoreo de alpacas expresado (UA) considerando como base la condición tiene una carga animal óptima de 1,0 UA/ha/año. Mientras que la carga animal óptima en base a disponibilidad de materia seca es 2,93 UA/ha/año. Se deduce que la carga animal óptima estimada en base a la disponibilidad de materia seca es mayor a la carga animal óptima estimada en base a condición en 1,93 UA/ha/año (Zapana. 2019). Walker *et al.* (2014) recomienda que dentro de las características a evaluar con respecto al vigor de una planta tenemos la altura, rasgos que incluyen un crecimiento rápido durante la época lluviosa. Por tanto, en Tabla 8 los valores óptimos generados para vigor (cc) fueron de 0% de nivel de utilización que generó una respuesta óptima siendo máximo de 3507.91 cc, lo cual nos indica un potencial para el desarrollo y producción, ya que mostró una característica muy favorable para su aplicación en procesos que requieran recuperación de sus condiciones.



Así mismo, los valores óptimos generados para productividad fueron de 0% de nivel de utilización que generó una respuesta máxima de 20.21 gMS/planta. Estudios que muestran la magnitud de los efectos de la defoliación en plantas individuales en un pajonal, en el cual se reduce el 52% de la PPNA (Oesterheld *et al.* 1999). Así como en el estudio de Ferraro y Oesterheld, 2002 de los 85% de los datos de producción total correspondía a los efectos negativos de la defoliación, y en una comunidad de pastizales, el 72% de los sitios presentaban una PPNA reducida por pastoreo con respecto no pastoreo. Entre las similitudes, tanto de especies individuales como los efectos del ecosistema son con mayor frecuencia negativas.

Para la optimización de la productividad, las recomendaciones del nivel de uso en pastizales sugieren un 50% 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 vigor y productividad a partir de niveles moderados estaría proponiendo que esta especie no tolera pastoreos intensos, por lo que *Festuca humilior* debería utilizar en sistemas de baja intensidad y baja frecuencia, para no alterar sus ritmos de crecimiento y productividad. En función de los modelos de respuesta a la intensidad de pastoreo (Bryske, 1991), que plantean tres respuestas diferentes, *Festuca humilior* parece corresponder al de las especies que reducen su productividad rápidamente al incrementar la intensidad de uso, comparativamente a especies que mantienen su productividad hasta niveles de uso moderados (50%) y luego decaer (Bryske, 1991).

Según Zarria (2015), más del 40% de las áreas de pastoreo en el Perú están en condición pobre y/o en proceso de deterioro, debido al sobre pastoreo de los pastizales de

puna. El sobre pastoreo ocurre cuando la cantidad de unidades de ganado por hectárea supera la capacidad de producción del pastizal, generando la pérdida de cobertura vegetal y a lo posterior la erosión del suelo (Adler y Morales, 1999; Ance, 2003).

4.4.2. Optimización del efecto de la precipitación pluvial sobre altura, vigor y productividad en *Festuca humilior*.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta etapa, fue posible optimizar los niveles porcentuales del factor precipitación pluvial. Lo observado entre los resultados predichos y experimentales verificó la validez del modelo y la existencia de los puntos óptimos.

Tabla 9. Condiciones óptimas de nivel de precipitación pluvial para altura, vigor y productividad de *Festuca humilior*.

Factor	Valor óptimo (%)	Respuesta óptima		
		Altura (cm)	Vigor (cc)	Productividad (gMS/Planta)
Precipitación Pluvial	100	19.75	3507.91	20.21

En Tabla 9 la optimización de altura de *Festuca humilior* obtuvo el valor óptimo siendo máximo de 100% de precipitaciones pluviales que generó una respuesta máxima de 19.75 cm de altura. Los resultados son acordes a los trabajos realizados por (Tacuna *et al.*, 2015) siendo en condiciones de transplante de *Festuca humilior* obtuvieron una altura de 20 a 44 cm considerando sin y con M.O. considerando periodos enero - agosto similarmente García (2018) reportó valores de altura a la hoja bandera de 23.48 y 29.42



cm en áreas revegetadas sin y con fertilización, lo cual guarda una relación con los resultados del presente estudio tratándose sin abonamiento que estuvo asociado al contenido de la humedad del suelo que sostuvo durante la época lluviosa y seca. Sin embargo, Medina (2013) reportó para *Festuca. dolichophylla* una altura a la hoja bandera de 48.25 cm, en tanto que Tovar (1993) encontró una altura a la hoja bandera de 50-70 cm, y Flores (2017) menciona una altura variable de 40 a 80 cm respectivamente. Por otro lado, Lima *et al.* (2020) reporta 41.0 y 46.8 cm de altura. La diferencia con el presente estudio se deba probablemente a la edad, ecotipo y/o adición de fertilizantes. En base al comportamiento óptimo siendo máximo la Precipitación ofrece potencial para producir *Festuca humilior*, ya que mostró una altura de 19.75 cm estas características son muy interesantes para su aplicación en procesos que requieran una recuperación de los pajonales.

De igual forma los valores óptimos de precipitaciones pluviales que fue de 100% lo cual generó una respuesta máxima de 3507.91cc, de vigor. Estos resultados muestran consistencias debido a la probable influencia significativa de flujo subterráneo. Por tanto, los resultados son acordes a los estudios realizados por (Tacuna *et al.*, 2015) en condiciones de transplante de *Festuca humilior* que obtuvieron volúmenes de 3000 cc a 15145 cc considerando sin y con abonamiento ello en periodo de enero a agosto. Así mismo los estudios hechos por (Unsihuay, 2017) simulando escenarios de sequía al 70% de intercepción, obtuvieron al segundo año una reducción de 45% de volumen en *Festuca dolichophylla*. Estos resultados nos permiten entender que el vigor en esta especie propone una capacidad que permiten una mayor captación de agua y tener una ventaja competitiva frente a otras especies con crecimiento tardío (Gustafson *et al.*, 2004).



Finalmente, los valores óptimos generados para productividad fueron de 100% de precipitaciones pluviales que generó una respuesta máxima de 20.21 gMS/planta. Estudios realizados simulando escenarios de sequía del 70% de intercepción (Unsihuay, 2017) en *Festuca dolichophylla* al segundo año visualizó una reducción en producción de 20%. Estos resultados sugieren que *Festuca dolichophylla* serían sensibles a escenarios de sequía que cuando no interviene el factor de intensidad de uso. Así mismo, estudios en estepa Patagónica, experimentos manipulativos demostrando que una sequía de gran intensidad (80% de reducción de la lluvia) causó un 40% de disminución de la productividad primaria respecto de sitios que no sufrieron sequía (Yahdjian y Sala, 2006). Similarmente, según Hoover *et al.*, 2014 al reducir la humedad media del suelo en un 43% y un 56% durante el crecimiento, se redujo la productividad primaria neta aérea en un 60% durante el segundo año en un pajonal. En efecto la perspectiva climatológica, la sequía impactó significativamente en PPNA de los pastizales a pesar de las evidencias de otros estudios (De Boeck *et al.*, 2011).

Sin embargo, en un estudio de investigación de 3 años, mostraron en una disminución de 80% de precipitaciones pluviales dando lugar una reducción de 38% en PPNA con respecto a las parcelas que no habían experimentado una sequía (Lauenroth y Sala 1992). Cuando las condiciones desfavorables se mantienen en el tiempo, el sistema no parece poder sostenerse, la productividad se reduce. En función de las precipitaciones pluviales del segundo año, la productividad responde de manera lineal, pero evidenciando una reducción de aproximadamente la mitad de la productividad primaria neta aérea en relación del primer año (Massara, 2003).



V. CONCLUSIONES

- Los niveles de intensidades de uso presentaron reducciones de mayor magnitud en altura, vigor y productividad de *Festuca humilior*, a su vez para su comportamiento óptimo necesitan que las plantas estén sin ningún uso.
- *Festuca humilior* se comporta como una especie tolerante a niveles moderados de precipitaciones pluviales, además para su comportamiento óptimo de altura, vigor y productividad requiere 100% de humedad.



VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios sobre los mecanismos que reducen la probabilidad de ser consumidas en base a la resistencia desarrollada y que incrementan crecimiento en respuesta a la intensidad de pastoreo de *Festuca humilior*.
- Estudiar la respuesta adaptativa de *Festuca humilior* referente a la disminución y/o variabilidad de las precipitaciones pluviales, en función de las estrategias morfo-fisiológicas como, producción de macollos, profundidad de raíces, dinámica de la relación parte aérea vs radicular y monitoreo de las tasas de transpiración.



VII. REFERENCIAS

- Aanchal, N., Akhtar, K., Dinesh, G. & Arun, G. (2016). Response surface methodology for optimization of microbial cellulase production. *Romanian Biotechnological Letters* 21(5):11832–11841.
- 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.
- Altesor, A., Ayala, W. & Paruelo, J.M. (2010). Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales. Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA- Uruguay.
- Austin A.T., Yahdjian, L., Stark, J., Belnap, M.J., Porporato, Norton, A.U., Ravetta, D. A. & Schaeffer, S.M. (2004). “Water pulses and biogeochemical cycles in arid and semiarid ecosystems”. *Oecología* 141:221-235.
- Ance Villca, V. (2003). Soportabilidad de praderas en serranía y planicie durante dos épocas en pastoreo de llamas (*Lama glama*) en el CEAC. Tesis doctoral. Oruro, Bolivia, Universidad Técnica de Oruro.
- Adler, P. B. & Morales, J. M. (1999). Influence of environmental factors and sheep grazing on an Andean grassland. *Journal of Range Management*, 52(5), 471-481.



- Aguirre, T.L. (1985). Soil-plant water relation in the altiplano of Peru. M.S. Thesis, Texas Tech University. Lubbock, TX.
- Avalos, O.P. (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.
- Abdel-Fattah, Y.R., Soliman, N.A., Yousef, S.M. & El-Helow, E.R. (2012). Application of experimental designs to optimize medium composition for production of thermostable lipase/esterase by *Geobacillus thermodenitrificans* AZ1. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 10(2):193–200.
- Bandyopadhyay, J. (1992). Sobre las percepciones de las características de Montaña. En: *World Mountain network Newsletter*. N°7.
- Bertiller M. B., Beeskow A. M. & Coronato, F. (1991). “Seasonal environmental variation and plant phenology in arid Patagonia (Argentina)”. *Journal of Arid Environments* 21:1-11.
- hology and physiology of grasses. En: *Grazing Management: An Ecological Perspective*. Ed. R.K Heitschmidt & J.W. Stuth. Timber Press. Portland, Oregon. p.85
- Briefs, A.M. (2013). Experimental design and optimization: Plackett-Burman designs. *Analytical Methods* 5(8):1901–1903.



- Bisigato, A.J. & López, R.M. (2009). “Ecohydrological effects of grazininduced degradation in Patagonian Monte, Argentina”. *Austral Ecology* 34: 545-557.
- Box, G.E.P. & Behnken, D.W. (1960). Some new three level designs for the study of quantitative variables. *Technometrics* 2: 455– 475.
- Box, G.E.P. & Draper, N.R. (1987). *Empirical Model-Building and Response-surfaces*. New York: John Wiley & Sons.
- Buxton, D.R. (1996). Quality-related characteristics of forages as influenced by plantenvironment and agronomic factors. *Anim. Feed Sci. Technol.* 59, 37–49.
- 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.
- 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*.



- Condori, R. (2017). Caracterización del uso de praderas de pastoreo y potenciales hídricos como adaptación al cambio climático en tres comunidades de patacamaya- la paz. Tesis – UMSA.
- Coughenour, M.B. (1985). Graminoid Responses to Grazing by Large Herbivores. Adaptations, Exaptations, and Interacting Processes. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 72:852-863
- Das, A., Paul, T., Halder, S.K., Maity, C., Mohapatra, P.K.D., Pati, B.R. & Mondal, K.C. (2013). Study on regulation of growth and biosynthesis of cellulolytic enzymes from newly isolated aspergillus fumigatus ABK9. *Polish Journal of Microbiology* 62(1): 31–43.
- De Boeck, H.D., 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.
- Detling, J.K. (1988). Defoliation responses of western wheatgrass populations with diverse histories of prairie dog grazing. *Oecologia* 57: 65–71.
- Donald, A. (2013). *Meteorology today: An Introduction to weather, climate, and environment*. Brooks/cole. Tenth edition. Canada.



- De Boeck, H. J., Dreesen, F.E., Janssens, I. A. & Nijs, I. (2011). Whole-system responses of experimental plant communities to climate extremes imposed in different seasons. *New Phytologist* 189:806–817.
- Febles, G., & Ruiz, T. E. (2009). El cambio climático global y sus repercusiones en Cuba. Acciones para el futuro. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 43(4), 337-344.
- Flores, M. (2017). Captura de dióxido de carbono (CO₂) en la «Chillihua» (*Festuca dolichophylla* Presl) de los pastizales del CIP Illpa-Puno. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Puno, Perú: Univ. Nacional del Altiplano. 119 p.
- 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. & Tacuna, 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.
- Flores, A. (2005). Manual de Pastos y Forrajes Altoandinas. OIKOS. Lima-Perú. 53 p.
- Flores, E. (2004). Gestión ambiental y uso racional de la tierra. Lima: Centro de Investigación y Capacitación Campesina, pp. 1-13.
- Ferraro, D.O. & Oosterheld, M. (2002). Effect of defoliation on grass growth. A quantitative review. – *Oikos* 98: 125–133.



- Flores, A. & Malpartida, E. (1987). Manejo de praderas nativas y pasturas en la región altoandina del Perú. Lima: Fondo del Libro del Banco Agrario.
- Fehr, W.R. (1987). Principles of Cultivar Development. Macmillan Publishing Company, New York, NY.
- Flores, A. & Bryant, J. (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.
- Gustafson, D.J., Gibson, D.J. & Nickrent, D.L. (2004). Competitive relationships of *Andropogon gerardii* (Big Bluestem) from remnant and restored native populations and select cultivated varieties. *Functional Ecology*. 18, 451–457.
- Ghazanfar, S.A. (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.
- Hoover, D. L., Knapp, A. K., & Smith, M. D. (2014). Resistance and resilience of a grassland ecosystem to climate extremes. *Ecology*, 95(9), 2014, pp. 2646–2656.
- Hall, S.A. (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, J.J. (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.
- Huyghe, C., Baumont, R. & Isselstein, J. (2008). Plant diversity in grasslands and feedquality. *Grassl. Sci. Eur.* 13, 375–386.
- Herrick, J.E., Melgoza, M.A., Pyke, D.A., Shaver, P. & Pellant, M. (2003). I Simposio Internacional de Manejo de Pastizales. UAA. Aguascalientes México.
- Herbel, C.H. (1983). Principles of intensive range improvements. *Journal of range management*. 36(2):140-144.
- Huss, D.L., Bernardón, E.A., Anderson, L.D. & Brun, J.M. (1986). Principios de Manejo de Praderas Naturales. INTA, Buenos Aires y Of. Regional FAO. Santiago de Chile 356 p.
- Informe Nacional del Estado del Ambiente. (2014). Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental - Lima: Ministerio del Ambiente.
- IPCC, (2013). Bases físicas Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.



- Jayasree, D., Narasu, M.L. & Merugu, R. (2016). Plackett-Burman design for screening media components for alkaline protease production from *Streptomyces pulveraceus* through solid state fermentation. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* 8(1):763–769.
- 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. *Plant Soil* 308, 175–188.
- Kuhad, R.C.; Gupta, R.; Singh, A. (2011). Microbial cellulases and their industrial applications. *Enzyme Research* 2011:1-10.
- Knapp, A.K., Fay, J.M., Blair, S. L., Collins, M. D., Smith, J. D., Carlisle, C. W. Harper, B. T., Danner, M.S., Lett, J. K. & Carron, M.C. (2002). Rainfall variability, carbon cycling and plant species diversity in a mesic grassland. *Science* 298, 2202-2205.
- Lambers, H.F., Chapin, I.S. & Pons, T.L. (2008). *Plant physiological ecology*. Second edition. Editorial Springer. 623 pp.
- Larcher, W. (2000). Temperature stress and survival ability of Mediterranean sclerophyllous plants. *Plant Biosystems*. 134: 279-95.
- Lauenroth, W.K. & Sala, O.E. (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.
- Lima, N, Aguirre L, Flores E. (2020). Estrategias para mejorar los pastizales altoandinos: el rol del trébol y la fertilización con fósforo. *Rev Inv Vet Perú* 31: e17840. doi: 10.15381/rivep.v31i2.17840
- López, L., Oyarzabal, M., Altesor, A. & Paruelo, J.M. (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, J.M. (2015). Grazing increases below-ground biomass and net primary production in a temperate grassland. *Plant Soil* 392(1):155-162
- Marengo, J. (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.



- Massara, V. (2003). Efecto de la variabilidad interanual de las precipitaciones sobre la productividad primaria neta aérea en una estepa gramínea pastoreada por ovinos. Tesis Universidad de Buenos Aires – Argentina
- Maschinski, J. & Whitham, T.G. (1989). The Continuum of Plant Responses to Herbivory: The Influence of Plant Association, Nutrient Availability, and Timing. *American Naturalist*, Volume 134, Issue 1-19.
- Medina, E.J. (2013). Rehabilitación de áreas disturbadas por la minería, con vías a lograr su sostenibilidad, al cierre de las operaciones. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Arequipa, Perú: Univ. Católica Santa María. 147 p.
- McCarty, J.P. (2001). Ecological consequences of climate change. *Conservation Biology*. 15: 320-331.
- 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.
- McNaughton, S.J. (1985). “Ecology of a grazing ecosystem: The Serengeti”. *Ecological Monographs* 55, 259-294.
- McNaughton, S.J., & Wolf, L.L. (1979). *General Ecology*. “2da. Edition. Page. 702.
- Ministerio del Ambiente, (2020). Evaluación del estado de conservación y estrategias de manejo de los ecosistemas de la microcuenca Cojup – Huaraz Lima – Perú.



- Miller, G.T. (1990). Resource conservation and management. Wadsworth Publishing Company, USA.
- 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.
- Malleux, J. (1982). *Inventarios forestales en bosques tropicales*. Lima, Perú, s.e. 414 p.
- Montgomery, D. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. 2 ed. 12:458-462.
- Myers, R., Montgomery, D., Anderson-Cook, C. (2009). *Response Surface Methodology: Process and Product Optimization using design experiments*. Third Edition. New Jersey. Editorial Wiley 1:165-267.
- Montgomery, D. (1991). *Diseño y análisis de experimentos*. 2 ed. 12:458-462.
- Moreno-Galván, A., Rojas-Tapias, D.F. & Bonilla, R. (2012). Development and evaluation of an alternative culture medium for mass cultivation of *Azospirillum brasilense* C16 using sequential statistical designs. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 13(2):201–206.
- Mandels, M. & Reese, E.T. (1957). Induction of cellulase in *Trichoderma viride* as influenced by carbon sources and metals. *Journal of Bacteriology* 73(2):269–278.



- 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
- 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.
- 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.
- Oosterheld, M. & McNaughton, S.J. (1991). “Effect of stress and time for recovery on the amount of compensatory growth after grazing”. *Oecologia*, 85:305313.
- Oosterheld, M., Loreti, J., Semmartin, M. & Paruelo, J. M. (1999). Grazing, fire, and climate as disturbances of grasslands and savannas. – In: Walker, L. (ed.), *Ecosystems of disturbed ground*. Elsevier, pp. 303–322.
- Olivier, S. (1988). *Ecología y subdesarrollo en América Latina*. México: Siglo XXI editores.
- Ortiz, R. (2014). Estudio agrostodafológico y capacidad de carga animal en contadere-Tomas – Yauyos. Tesis – Universidad Nacional Agraria la Molina – Lima.



- Pascual, M.A. (1994). Manejo y rehabilitación de agostaderos de las zonas áridas y semiáridas de México (Región Norte), Instituto Nacional de Ecología.
- Pendall, E., Bridgham, S., Hanson, P.J., Hungate, B., Kicklighter, D.W., Johnson, D.W., Law, B.E., Luo Megonigal, J.P. & Olsrud, M. (2004). Below-ground process responses to elevated CO₂ and temperature: A discussion of observations, measurement methods, and models. *New Phytol.*, 162, 311–322.
- Pellant, M., Shaver, P., Pyke, D.A., Herrick, J.E., 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
- 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.
- Pellant, M., Shaver, P., Pyke, DA., Herrick, J.E., 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



- Piña, M.R., Rodríguez, M.A., Benavides, E.M. (2006). Metodología robusta para superficies de respuestas. *Cultura Científica y Tecnológica* 12:32–45.
- Piñeiro, G., Paruelo, JM., Oesterheld, M. & Jobba, E.G. (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.
- Pirzadah, T., Garg, S., Singh, J., Vyas, A., Kumar, M., Gaur, N. & Varma, A. (2014). Characterization of Actinomycetes and Trichoderma spp. for cellulase production utilizing crude substrates by response surface methodology. *Springer Plus Open Journal* 3:622-634.
- Palvannan, T. & Sathishkumar, P. (2010). Production of laccase from *Pleurotus florida* NCIM 1243 using Plackett-Burman design and response surface methodology. *Journal of Basic Microbiology* 50(4):325–335.
- Quiroga, A., Ribera, J. D. & Morláns, M. C. (2005). Efecto del sobrepastoreo en un pastizal de altura. *Cumbres de Humaya. Catamarca. Argentina. Ecosistemas* 15 (3): 142-147. Septiembre 2006.
- 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.



- 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.
- 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.
- Reddy, BVS., Reddy, P.S., Bidinger, S., & BlümmeL, M. (2003). Crop management factors influencing yield and quality of crop residues. *Field Crops Res.* 84,57–77.
- Rzedowski, J. (1986). *Vegetación de México*. 2da Ed., Limusa. México.
- 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.
- 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, P.A. & Echavarría, Ch.F.G. (2002). Caracterización hidrológica de un agostadero comunal excluido al pastoreo en Zacatecas, México. I. Pérdidas de suelo. *TEC. PECU.MEX*, 40 (1):37-53.



- Scheneiter J. O. (2018). XVIII Reunión Anual de Festuca Forrajeras: El manejo del pastoreo para optimizar la productividad de pasturas de festuca alta. Ediciones INTA – Pergamino, Buenos Aires.
- Soni, R.; Asiya, N. & Chadha, B.S. (2010). Optimization of cellulase production by a versatile *Aspergillus fumigatus* Fresenius strain (AMA) capable of efficient deinking and enzymatic hydrolysis of solka floc and bagasse. *Industrial Crops and Products* 31:277–283.
- Tacuna, R. E., Aguirre, L. & Flores, E. R. (2015). Influencia de la revegetación con especies nativas y la incorporación de materia orgánica en la recuperación de pastizales degradados. *Ecología Aplicada*, 14(2), 191-200.
- Tovar, C. (1993). “Las Gramíneas (Poaceae) del Perú” Volumen 13 de Monografías del Real Jardín Botánico Ruizia: Real Jardin Series. CSIC Press. 480 p.
- Unsihuay, P.F. (2017). Respuesta de pastizales de la sierra central (Junín) a cambios en patrones de precipitación. Tesis. Universidad Nacional Agraria la Molina – Lima
- Walker, L.R., Hölzel, N., Marrs, R., Del Moral, R. & Prach, K. (2014). Optimization of intervention levels in ecological restoration. *Applied Vegetation Science* 17: 187-192.



- Weaver, J.E. & Darlan, R.W. (1947). A method of measuring vigor of range grasses. University of Nebraska – Lincoln. Agronomy and Horticulture Department Ecology. 28(2), 146-162.
- Woolfolk, E.J. (1956). Plant vigor as a criterion of range condition. *Journal of range management*, 9(2), 66-69.
- Witek-Krowiak, A., Chojnacka, K., Podstawczyk, D., Dawiec, A. & Pokomeda, K. (2014). Application of response surface methodology and artificial neural network methods in modelling and optimization of biosorption process. *Bioresource Technology* 160(1):150–160.
- Yahdjian, L. & Sala, O. (2011). El futuro de los pastizales sudamericanos, feb. *Interciencia*, Vol. 36 N°2.
- Yaranga, L. (2009). Alimentación de camélidos sudamericanos y manejo de pastizales, Módulo de Camélidos Sudamericanos I, Huancayo.
- Yahdjian, L. & Sala, O.E. (2008). Climate change impacts on South American rangelands.
- Yahdjian, L. & Sala, O.E. (2006). “Vegetation structure constrains primary production response to water availability in the Patagonian steppe”. *Ecology* 87:952-962.



Yahdjian, L. & Sala O.E. (2002). A rainout shelter design for intercepting different amounts of rainfall, august

Zapana. J. C. (2019). Evaluación de pastizales naturales y determinación de la carga animal actual en la comunidad chila. Tesis – UNA-P

ANEXOS

Tabla 10. Registro de base de datos de precipitaciones pluviales en unidades experimentales del estudio.

FECHA	REPLICA 1							REPLICA 2							REPLICA 3							OBSERVACIONES							PROMEDIOS							PRECIPITACIONES (CC/M2)																																													
	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T4	T5	T6	T7	T8	T9																																							
20/02/2016	4.6	4.6	7.1	10.85	4.6	7.1	9.6	9.6	12.1	12.1	12.1	13	2.6	4.6	4.6	12.1	12.1	13	Dia No llovio - Noche llovio	4.6	4.8	7.1	12.1	10.9	12.6	26.3	27.3	40.7	69.3	62.1	71.9	26.3	27.3	40.7	69.3	62.1	71.9	26.3	27.3	40.7	69.3	62.1	71.9																																						
21/02/2016	18.2	15.8	22.1	29.6	18	23.6	0	31.2	31.6	15.9	18.2	31.6	29.6	31.6	18.1	18.4	20.2	31.6	30.1	103.7	105.6	115.4	181.0	172.6	181.0	103.7	105.6	115.4	181.0	172.6	181.0	103.7	105.6	115.4	181.0	172.6	181.0	103.7	105.6	115.4	181.0	172.6	181.0																																						
22/02/2016	9.1	13.6	14.1	20.6	8.1	14.6	9.6	24.6	21.6	12.6	10.6	21.1	20.6	19.6	8.6	13.6	11.4	21.1	21.9	20.6	49.3	77.9	65.5	120.8	125.6	118.0	49.3	77.9	65.5	120.8	125.6	118.0	49.3	77.9	65.5	120.8	125.6	118.0	49.3	77.9	65.5	120.8	125.6	118.0																																					
23/02/2016	7.1	7.6	8.6	18.6	7.1	9.6	8.6	16.6	20.1	11.1	9.6	18.6	17.6	18.1	7.1	9.4	8.9	18.6	17.6	19.1	40.7	54.0	51.2	106.5	100.8	109.4	40.7	54.0	51.2	106.5	100.8	109.4	40.7	54.0	51.2	106.5	100.8	109.4	40.7	54.0	51.2	106.5	100.8	109.4																																					
25/02/2016	7.6	13.1	13.1	18.6	7.1	14.6	9.6	21.1	22.6	11.6	10.1	22.1	20.6	19.6	7.4	13.1	10.9	22.1	20.1	21.1	42.1	75.0	62.6	126.6	115.1	120.8	42.1	75.0	62.6	126.6	115.1	120.8	42.1	75.0	62.6	126.6	115.1	120.8	42.1	75.0	62.6	126.6	115.1	120.8																																					
26/02/2016	16.6	17.6	23.1	33.1	18.6	16.6	27.1	34.6	33.6	19.1	19.6	38.6	33.6	33.1	17.6	17.8	23.3	38.6	33.8	33.4	100.8	101.7	133.2	221.1	193.4	191.0	100.8	101.7	133.2	221.1	193.4	191.0	100.8	101.7	133.2	221.1	193.4	191.0	100.8	101.7	133.2	221.1	193.4	191.0																																					
27/02/2016	5.1	6.1	12.6	10.1	6.1	7.6	5.1	9.6	11.6	5.1	3.6	9.6	10.1	11.1	5.6	6.3	7.1	9.6	9.9	11.4	32.1	35.9	40.7	55.0	56.9	65.0	32.1	35.9	40.7	55.0	56.9	65.0	32.1	35.9	40.7	55.0	56.9	65.0	32.1	35.9	40.7	55.0	56.9	65.0																																					
28/02/2016	2.1	4.6	0.6	5.6	2.6	2.6	2.1	6.6	6.1	2.6	1.6	5.6	6.6	6.1	2.4	3.3	1.4	5.6	6.3	6.1	13.5	18.7	8.2	32.1	35.9	34.9	13.5	18.7	8.2	32.1	35.9	34.9	13.5	18.7	8.2	32.1	35.9	34.9	13.5	18.7	8.2	32.1	35.9	34.9																																					
29/02/2016	17.1	26.6	16.6	34.6	18.6	30.6	18.6	34.6	35.6	20.6	21.1	35.6	36.6	36.1	17.9	25.9	18.8	35.6	35.3	35.9	102.2	148.5	107.5	203.9	202.0	205.3	102.2	148.5	107.5	203.9	202.0	205.3	102.2	148.5	107.5	203.9	202.0	205.3	102.2	148.5	107.5	203.9	202.0	205.3																																					
1/03/2016	2.1	2.1	2.6	4.1	2.6	2.1	1.6	5.1	5.6	3.1	2.6	5.6	5.1	6.1	2.4	2.4	2.3	5.6	4.8	5.9	13.5	13.9	13.0	32.1	27.3	33.5	13.5	13.9	13.0	32.1	27.3	33.5	13.5	13.9	13.0	32.1	27.3	33.5	13.5	13.9	13.0	32.1	27.3	33.5																																					
2/03/2016	1.6	1.6	1.6	3.6	1.6	1.6	0.6	3.6	3.6	1.6	0.6	3.6	3.6	3.6	1.6	1.6	0.9	3.6	3.6	3.6	9.2	9.2	5.3	20.6	20.6	20.6	9.2	9.2	5.3	20.6	20.6	20.6	9.2	9.2	5.3	20.6	20.6	20.6	9.2	9.2	5.3	20.6	20.6	20.6																																					
3/03/2016	No llovio																																																																																
4/03/2016	No llovio																																																																																
5/03/2016	No llovio																																																																																
6/03/2016	No llovio																																																																																
7/03/2016	1.6	1.6	1.1	2.6	1.6	1.6	1.1	2.6	3.9	1.6	1.6	4.8	3.6	4.6	1.6	1.6	1.3	2.6	2.9	4.3	9.2	9.2	7.3	14.9	16.8	24.3	9.2	9.2	7.3	14.9	16.8	24.3	9.2	9.2	7.3	14.9	16.8	24.3	9.2	9.2	7.3	14.9	16.8	24.3																																					
8/03/2016	8.6	7.6	7.6	19.6	7.6	7.1	8.6	20.6	26.6	8.6	7.6	21.6	20.6	28.1	8.1	7.8	7.9	21.6	20.3	27.4	46.4	44.5	45.4	123.7	116.1	156.6	46.4	44.5	45.4	123.7	116.1	156.6	46.4	44.5	45.4	123.7	116.1	156.6	46.4	44.5	45.4	123.7	116.1	156.6																																					
9/03/2016	21.6	21.6	20.1	41.6	21.6	20.6	20.6	39.6	31.6	20.6	41.6	43.6	39.6	29.6	21.6	20.9	27.4	43.6	40.3	30.6	123.7	119.9	157.1	249.7	230.6	175.2	123.7	119.9	157.1	249.7	230.6	175.2	123.7	119.9	157.1	249.7	230.6	175.2	123.7	119.9	157.1	249.7	230.6	175.2																																					
10/03/2016	19.6	7.6	7.1	21.6	17.6	8.1	7.6	21.6	20.6	7.6	19.6	21.6	19.6	18.1	18.6	7.8	11.4	21.6	20.9	19.4	106.5	44.5	65.5	123.7	119.9	110.8	106.5	44.5	65.5	123.7	119.9	110.8	106.5	44.5	65.5	123.7	119.9	110.8	106.5	44.5	65.5	123.7	119.9	110.8																																					
11/03/2016	29.6	25.6	21.6	42.6	22.6	27.6	29.6	43.6	41.6	26.6	43.6	42.6	41.6	39.6	26.1	26.6	31.6	42.6	42.6	40.6	149.5	152.3	181.0	244.0	232.5	181.0	149.5	152.3	181.0	244.0	232.5	181.0	149.5	152.3	181.0	244.0	232.5	181.0	149.5	152.3	181.0	244.0	232.5	181.0																																					
12/03/2016	19.6	7.6	6.6	21.6	17.6	8.1	8.6	19.6	29.6	8.1	19.6	21.6	21.6	27.6	18.6	7.9	11.6	21.6	20.9	28.6	106.5	45.4	66.4	123.7	119.9	163.8	106.5	45.4	66.4	123.7	119.9	163.8	106.5	45.4	66.4	123.7	119.9	163.8	106.5	45.4	66.4	123.7	119.9	163.8																																					
14/03/2016	No llovio																																																																																
15/03/2016	No llovio																																																																																
16/03/2016	No llovio																																																																																
17/03/2016	No llovio																																																																																
18/03/2016	No llovio																																																																																
19/03/2016	No llovio																																																																																
																																					PROMEDIO			63.2							63.7							68.6							120.5							115.3							118.5						

Tabla 11. Registro de precipitaciones pluviales periodo 2000 – 2018 Jauja – Junín.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
2000	152.50	148.20	147.40	32.40	10.50	3.90	4.40	12.50	16.80	52.60	40.80	99.90	721.90
2001	125.20	77.30	169.40	34.00	18.90	7.80	6.60	1.70	18.40	70.30	93.70	76.80	700.10
2002	53.40	136.30	131.50	79.10	8.10	2.00	18.20	3.60	66.00	51.60	88.80	101.80	740.40
2003	122.50	82.70	130.70	54.10	4.90	1.50	0.70	6.00	14.50	39.10	63.30	117.20	637.20
2004	50.30	136.10	108.50	38.30	14.70	6.10	4.70	5.10	36.10	50.40	89.50	78.50	618.30
2005	68.40	122.20	89.80	27.50	17.30	0.00	0.70	14.90	15.40	93.20	42.90	103.10	595.40
2006	105.30	98.10	114.60	43.20	8.00	19.90	4.00	3.90	17.00	48.10	50.20	89.90	602.20
2007	81.10	76.20	169.40	50.10	17.40	0.10	4.60	1.40	12.50	66.30	63.30	76.20	618.60
2008	112.70	100.50	63.30	11.30	13.30	6.40	0.60	4.20	28.00	64.20	31.40	72.80	508.70
2009	95.70	76.00	115.10	89.40	47.20	3.80	2.60	15.40	8.60	55.40	122.80	149.90	781.90
2010	130.50	96.10	59.00	52.70	6.20	2.20	0.50	0.60	27.90	72.60	51.80	106.90	607.00
2011	113.80	162.40	170.80	51.80	14.20	1.00	2.90	2.30	16.00	65.70	77.80	140.70	819.40
2012	98.40	110.20	62.40	89.00	24.60	3.20	0.40	4.40	45.20	52.30	91.40	131.80	713.30
2013	97.29	112.36	56.46	100.53	29.70	2.36	0.27	4.50	53.27	53.11	101.13	140.66	751.64
2014	103.75	117.12	94.61	60.53	18.38	7.30	2.29	6.99	34.22	57.55	78.02	117.74	698.49
2015	99.27	112.61	121.48	71.28	17.74	4.41	4.57	6.27	27.78	58.64	83.98	115.17	723.20
2016	101.27	117.22	114.65	51.90	14.28	4.42	4.02	4.96	32.67	60.29	67.74	101.74	675.16
2017	96.49	113.47	126.92	53.76	19.32	4.84	5.18	8.19	27.59	57.90	75.46	105.44	694.55
2018	97.93	103.42	108.14	54.23	17.70	5.61	4.03	7.12	29.43	58.48	71.80	101.32	659.21

Tabla 12. Registro de temperaturas máximas periodo 2000 – 2018 Jauja - Junín

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2000	17.18	15.84	16.49	18.11	20.56	20.44	20.63	20.31	20.10	20.09	18.80	21.46
2001	17.24	15.89	16.67	17.37	19.56	17.32	18.75	18.72	18.71	19.30	18.34	19.34
2002	19.21	16.01	18.26	17.24	18.47	18.31	17.52	18.86	17.33	18.82	17.37	18.86
2003	19.32	16.43	17.67	18.24	19.59	19.31	19.58	19.83	19.47	21.27	20.87	18.65
2004	20.42	17.16	18.33	18.98	20.90	18.66	18.91	17.91	17.41	19.27	19.29	17.86
2005	19.14	16.75	18.32	19.07	21.19	20.26	20.50	20.98	19.99	19.04	20.47	18.16
2006	18.82	16.49	17.63	17.78	19.79	18.62	19.35	19.60	19.76	20.64	18.41	19.90
2007	19.65	17.03	17.46	16.80	19.26	19.05	19.40	20.43	18.06	20.37	20.37	19.47
2008	17.01	15.46	17.13	19.11	20.09	19.66	19.56	20.85	20.29	20.06	20.29	20.11
2009	18.28	16.39	17.91	17.71	19.93	19.82	20.17	20.94	20.99	20.79	19.37	18.34
2010	19.42	18.33	20.20	21.19	22.15	20.83	22.64	22.45	21.19	21.97	20.76	19.55
2011	18.86	16.50	18.01	18.35	20.77	17.96	20.60	21.75	19.64	22.07	21.07	19.00
2012	20.33	16.71	18.13	18.46	20.79	19.51	20.81	21.38	19.73	21.33	20.67	19.33
2013	20.24	17.40	18.23	18.60	20.99	19.69	21.10	21.72	19.76	21.47	21.10	19.26
2014	19.11	16.73	18.10	18.75	20.67	18.14	20.33	20.71	19.84	20.73	20.00	19.29
2015	19.39	16.89	18.13	18.38	20.47	17.80	20.18	20.47	19.47	20.67	19.84	19.18
2016	19.21	16.75	18.00	18.55	20.46	17.72	20.05	20.42	19.30	20.53	19.96	19.46
2017	18.99	16.43	17.63	18.04	20.11	17.56	19.65	20.18	19.24	20.32	19.75	19.30
2018	19.04	16.65	17.90	18.38	20.27	19.26	19.89	20.24	19.47	20.27	19.67	19.37

Tabla 13. Registro de temperaturas mínimas periodo 2000 – 2018 Jauja - Junín

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2000	5.410	5.030	4.523	4.283	2.973	2.073	0.670	1.783	2.563	5.223	4.067	5.883
2001	7.270	6.403	7.013	3.917	3.147	0.273	2.300	0.720	4.580	5.697	6.583	6.343
2002	5.983	6.893	7.330	5.517	2.783	1.003	2.237	1.803	4.730	5.953	6.050	6.483
2003	7.437	6.497	7.050	5.530	3.897	1.233	-0.267	2.083	3.837	5.067	5.323	7.397
2004	6.360	6.707	6.777	4.423	2.367	0.903	1.613	1.327	4.237	6.410	5.810	6.980
2005	5.313	6.247	6.903	5.413	2.157	0.063	-0.297	1.440	4.047	5.450	4.913	6.167
2006	6.677	6.207	6.783	5.453	0.547	2.167	-0.710	2.573	3.797	6.310	6.530	7.243
2007	7.383	6.423	7.173	5.643	2.837	-0.717	0.810	1.303	3.280	5.307	5.703	6.130
2008	7.343	6.263	5.663	4.320	1.767	0.543	-0.207	2.380	3.767	6.120	6.003	6.683
2009	7.480	7.153	6.887	5.613	2.933	0.253	0.380	1.987	3.280	4.843	6.633	7.227
2010	8.293	7.340	7.960	5.427	2.653	0.987	-0.880	0.453	4.053	5.087	5.627	6.973
2011	7.333	6.853	7.627	5.440	2.967	0.756	-0.300	0.980	4.513	6.207	6.773	6.580
2012	5.453	3.440	6.160	5.367	3.227	1.040	-1.013	0.433	3.527	5.887	6.393	5.420
2013	6.495	5.621	6.708	5.117	3.675	0.669	0.305	1.062	3.860	5.631	5.924	6.251
2014	6.593	6.087	6.683	5.025	2.830	-0.896	0.282	1.404	3.971	5.716	5.922	6.580
2015	6.615	6.194	6.948	5.238	2.932	0.985	-0.380	1.331	3.899	5.596	5.871	6.542
2016	6.599	6.076	6.768	5.049	2.711	1.137	0.361	1.359	3.978	5.798	5.766	6.451
2017	6.483	6.031	6.578	5.047	2.721	0.928	-0.420	1.745	3.852	5.785	5.909	6.474
2018	6.598	6.093	6.594	5.044	2.672	0.938	0.561	1.600	3.764	5.594	5.752	6.541

Tabla 14. Base de datos para determinar volumen y ecuación de regresión lineal.

Planta N°	d (cm)	D(cm)	h(cm)	R	r	R ²	r ²	Rr	Vol (cc)	Peso MS (g)
1	3.5	13.5	24	6.75	1.75	45.56	3.06	11.81	1518.96	11.46
2	7	17	24	8.5	3.5	72.25	12.25	29.75	2871.42	14.38
3	6.5	19.5	27	9.75	3.25	95.06	10.56	31.69	3882.43	15.37
4	5.5	9.5	12.8	4.75	2.75	22.56	7.56	13.06	578.89	3.45
5	4.2	13.8	14	6.9	2.1	47.61	4.41	14.49	975.09	5.74
6	1.9	9.5	12.1	4.75	0.95	22.56	0.90	4.51	354.51	1.07
7	2.5	8.4	15.5	4.2	1.25	17.64	1.56	5.25	396.90	2.44
8	3.6	10.5	16.3	5.25	1.8	27.56	3.24	9.45	687.08	5.58
9	3.1	8.2	16.2	4.1	1.55	16.81	2.40	6.36	433.74	4.24
10	3.9	8.1	15.8	4.05	1.95	16.40	3.80	7.90	464.98	5.16
11	4.5	19	21	9.5	2.25	90.25	5.06	21.38	2566.10	10.73
12	3.2	15	27.5	7.5	1.6	56.25	2.56	12.00	2039.19	12.11
13	3	10.1	19.2	5.05	1.5	25.50	2.25	7.58	710.30	6.13
14	2.6	20	24	10	1.3	100.00	1.69	13.00	2882.48	6.51
15	2.3	8.8	20.1	4.4	1.15	19.36	1.32	5.06	541.85	3.64
16	4.4	14	25.6	7	2.2	49.00	4.84	15.40	1856.21	18.58
17	3.9	12.3	18.2	6.15	1.95	37.82	3.80	11.99	1021.90	8.91
18	3.4	11.2	19	5.6	1.7	31.36	2.89	9.52	870.88	4.61
19	1.8	10	16.2	5	0.9	25.00	0.81	4.50	514.20	3.29
20	1.05	8.5	5.2	4.25	0.525	18.06	0.28	2.23	112.01	0.59
21	1.3	9.5	15.2	4.75	0.65	22.56	0.42	3.09	415.01	1.65
22	1.8	10	16.2	5	0.9	25.00	0.81	4.50	514.20	3.2
23	1.7	7	10.2	3.5	0.85	12.25	0.72	2.98	170.34	1.54
24	2.6	7.7	12.5	3.85	1.3	14.82	1.69	5.01	281.66	4.14
25	4.2	21.5	22.3	10.75	2.1	115.56	4.41	22.58	3328.85	16.02
26	3.8	14.6	18.2	7.3	1.9	53.29	3.61	13.87	1348.81	9.78
27	3.9	11	17.4	5.5	1.95	30.25	3.80	10.73	815.90	9.71
28	2.5	12	19.8	6	1.25	36.00	1.56	7.50	934.35	5.99
29	3.2	14.5	22	7.25	1.6	52.56	2.56	11.60	1537.18	9.71
30	3.4	13.7	19.2	6.85	1.7	46.92	2.89	11.65	1235.68	9.25
31	2.5	9.7	13.5	4.85	1.25	23.52	1.56	6.06	440.34	4.39
32	3.2	10.9	12	5.45	1.6	29.70	2.56	8.72	515.00	5.3
33	3.4	8.4	11.3	4.2	1.7	17.64	2.89	7.14	327.43	4.39
34	4.4	12.3	13.7	6.15	2.2	37.82	4.84	13.53	806.17	8.65
35	4.5	11	17	5.5	2.25	30.25	5.06	12.38	848.95	12.52
36	2.8	9.2	15	4.6	1.4	21.16	1.96	6.44	464.33	5.79
37	2.3	12	16.4	6	1.15	36.00	1.32	6.90	759.48	4.46
38	3.1	11.6	15.2	5.8	1.55	33.64	2.40	8.99	716.80	7.84
39	2.5	12	18.1	6	1.25	36.00	1.56	7.50	854.13	6.33
40	1.9	8.5	14.6	4.25	0.95	18.06	0.90	4.04	351.69	3.46
41	2.5	12	18.1	6	1.25	36.00	1.56	7.50	854.13	3.77
42	1.9	8.5	14.6	4.25	0.95	18.06	0.90	4.04	351.69	7.54



43	2.5	10.3	11.7	5.15	1.25	26.52	1.56	6.44	422.98	3.68
44	3.1	12	13.5	6	1.55	36.00	2.40	9.30	674.38	9.86
45	2.5	10.3	10.2	5.15	1.25	26.52	1.56	6.44	368.75	6.83
46	3.3	14	21	7	1.65	49.00	2.72	11.55	1391.44	8.87
47	1.9	8.5	14.6	4.25	0.95	18.06	0.90	4.04	351.69	6.27
48	2.4	7.7	13.5	3.85	1.2	14.82	1.44	4.62	295.22	3.85
49	3.6	10.7	13.5	5.35	1.8	28.62	3.24	9.63	586.59	8.04
50	2.2	9.7	13	4.85	1.1	23.52	1.21	5.34	409.33	3.57
51	4.2	10.3	12	5.15	2.1	26.52	4.41	10.82	524.62	5.8
52	2	9.3	15.2	4.65	1	21.62	1.00	4.65	434.11	2.56
53	4.7	11	13.8	5.5	2.35	30.25	5.52	12.93	703.75	10.39
54	3.7	13.3	18	6.65	1.85	44.22	3.42	12.30	1129.99	9.48
55	3.5	11.3	14.5	5.65	1.75	31.92	3.06	9.89	681.36	6.09
56	3.2	15.8	30	7.9	1.6	62.41	2.56	12.64	2438.20	14.8
57	3.7	18.3	19.8	9.15	1.85	83.72	3.42	16.93	2157.90	9.08
58	3.7	16.7	21.6	8.35	1.85	69.72	3.42	15.45	2003.92	11.9
59	2.9	9.6	14.2	4.8	1.45	23.04	2.10	6.96	477.37	4.98
60	1.5	8	17.8	4	0.75	16.00	0.56	3.00	364.65	3.05
61	2.35	14	16.5	7	1.175	49.00	1.38	8.23	1012.63	5.75
62	4.6	16.3	23.2	8.15	2.3	66.42	5.29	18.75	2197.67	25.28
63	2.6	9.6	15.3	4.8	1.3	23.04	1.69	6.24	496.21	4.78
64	4.4	14.3	26.7	7.15	2.2	51.12	4.84	15.73	2004.54	17.59
65	3.4	14	26	7	1.7	49.00	2.89	11.90	1736.82	15.46
66	2.3	12	21	6	1.15	36.00	1.32	6.90	972.51	7.39
67	1.7	9.1	11.3	4.55	0.85	20.70	0.72	3.87	299.30	2.07
68	4.6	22.7	30	11.35	2.3	128.82	5.29	26.11	5033.39	26.24
69	4.5	16.3	30	8.15	2.25	66.42	5.06	18.34	2821.86	31.71
70	4.3	15.8	26	7.9	2.15	62.41	4.62	16.99	2287.56	21.97

Tabla 15. Base de datos para determinar el análisis estadístico

Tratamiento	Replica	Precipitación pluvial (%)	Nivel de uso (%)	<i>Festuca humilior</i>		
				Altura (cm)	Volumen (cc)	Productividad (gMS/planta)
1	1	100	0	15	1700.39	11.17
2	1	100	40	10	2293.37	14.13
3	1	100	80	5	895.36	7.14
4	1	70	0	17	3115.42	18.25
5	1	70	40	18	1489.12	10.11
6	1	70	80	9	4863.20	26.98
7	1	40	0	14	1828.93	11.81
8	1	40	40	12	1960.36	12.47
9	1	40	80	8	1265.02	8.99
1	2	100	0	15	2748.90	16.41
2	2	100	40	13	2310.91	14.22
3	2	100	80	11	2015.86	12.75
4	2	70	0	19	5511.41	30.23
5	2	70	40	12	2604.39	15.69
6	2	70	80	5	888.81	7.11
7	2	40	0	10	2170.32	13.52
8	2	40	40	10	1337.80	9.36
9	2	40	80	8	913.16	7.23
1	3	100	0	23	5605.92	30.70
2	3	100	40	14	2946.82	17.40
3	3	100	80	7	1253.50	8.94
4	3	70	0	15	2195.19	13.64
5	3	70	40	20	3665.20	20.99
6	3	70	80	11	2110.89	13.22
7	3	40	0	25	5622.16	30.78
8	3	40	40	14	5772.69	31.53
9	3	40	80	14	1642.01	10.88

Tabla 16. Arreglo aleatorio en función de factores, sobre las variables de respuestas se muestran valores observados y esperados.

Corrida	Precipitación Pluvial	Nivel de Utilización	Altura (cm)		Vigor (cc)		Productividad (gMS/Planta)	
			Observado	Estimado	Observado	Estimado	Observado	Estimado
1	1	1	5	14	895.36	1252.40	7.14	8.93
2	-1	-1	14	16	1828.93	1666.56	11.81	11.00
3	0	0	18	15	1489.12	1459.48	10.11	9.96
4	-1	1	8	11	1265.02	420.31	8.99	4.77
5	0	0	18	15	1489.12	1459.48	10.11	9.96
6	0	0	18	15	1489.12	1459.48	10.11	9.96
7	1	-1	15	19	1700.39	2498.65	11.17	15.16
8	0	0	18	15	1489.12	1459.48	10.11	9.96
9	0	0	18	15	1489.12	1459.48	10.11	9.96
10	1	1	11	10	2015.86	2111.83	12.75	13.23
11	-1	-1	10	13	2170.32	2525.99	13.52	15.30
12	0	0	12	12	2604.39	2318.91	15.69	14.26
13	-1	1	8	8	913.16	1279.74	7.23	9.07
14	0	0	12	12	2604.39	2318.91	15.69	14.26
15	0	0	12	12	2604.39	2318.91	15.69	14.26
16	1	-1	15	15	2748.9	3358.08	16.41	19.46
17	0	0	12	12	2604.39	2318.91	15.69	14.26
18	0	0	12	12	2604.39	2318.91	15.69	14.26
19	1	1	11	16	2015.86	3099.60	12.75	18.17
20	-1	-1	10	19	2170.32	3513.76	13.52	20.24
21	0	0	20	18	3665.2	3306.68	20.99	19.20
22	-1	1	14	14	1642.01	2267.51	10.88	14.00
23	0	0	20	18	3665.2	3306.68	20.99	19.20
24	0	0	20	18	3665.2	3306.68	20.99	19.20
25	1	-1	23	21	5605.92	4345.85	30.7	24.40
26	0	0	20	18	3665.2	3306.68	20.99	19.20
27	0	0	20	18	3665.2	3306.68	20.99	19.20

Tabla 17. ANVA en regresión factorial para validar el modelo

Altura.

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Valor p	Sig.
Modelo	6	306.889	51.148	2.96	0.031	
Bloques	2	105.556	52.778	3.05	0.070	ns
Lineal	2	33.333	16.667	0.96	0.398	--
Precipitación pluvial	1	12.000	12.000	0.69	0.415	ns
Nivel de uso	1	21.333	21.333	1.23	0.280	ns
Interacciones de 2 términos	1	161.333	161.333	9.33	0.006	--
PP*NU	1	161.333	161.333	9.33	0.006	**
Curvatura	1	6.667	6.667	0.39	0.542	ns
Error	20	345.778	17.289			
Falta de ajuste	8	126.178	15.772	0.86	0.571	ns
Error puro	12	219.600	18.300			
Total	26	652.667				

a. **Vigor.**

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Valor p	Sig.
Modelo	6	18004140	3000690	1.35	0.280	
Bloques	2	8799142	4399571	1.99	0.163	ns
Lineal	2	2009265	1004633	0.45	0.642	--
Precipitación pluvial	1	1437419	1437419	0.65	0.430	ns
Nivel de uso	1	571846	571846	0.26	0.617	ns
Interacciones de 2 términos	1	6994315	6994315	3.16	0.091	--
PP*NU	1	6994315	6994315	3.16	0.091	ns
Curvatura	1	201417	201417	0.09	0.766	ns
Error	20	44300830	2215041			
Falta de ajuste	8	18554800	2319350	1.08	0.436	ns
Error puro	12	25746030	2145502			
Total	26	62304969				

b. **Productividad.**

Fuente	GL	SC	CM	Valor F	Valor p	Sig.
Modelo	6	450.10	75.017	1.35	0.280	
Bloques	2	219.98	109.989	1.99	0.163	--
Lineal	2	50.23	25.116	0.45	0.642	--
Precipitación pluvial	1	35.94	35.935	0.65	0.430	ns
Nivel de uso	1	14.30	14.296	0.26	0.617	ns
Interacciones de 2 términos	1	174.86	174.859	3.16	0.091	---
PP*NU	1	174.86	174.859	3.16	0.091	ns
Curvatura	1	5.04	5.035	0.09	0.766	ns
Error	20	1107.52	55.376			
Falta de ajuste	8	463.87	57.984	1.08	0.436	ns
Error puro	12	643.65	53.638			
Total	26	1557.63				

Tabla 18. ANVA efectos principales en altura, vigor y productividad.

a. Altura

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Significancia
PP	1	0.75	0.75	0.07	0.7984	ns
NU	1	200.083	200.083	17.83	0.0004	**
bloques	2	236.222	118.111	10.52	0.0006	
Error total	22	246.944	11.2247			
Total (corr.)	26	684.0				

$$R^2 = 63.897\%$$

$$R^2 \text{ (ajustada por g.l.)} = 57.3328\%$$

b. Vigor

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Significancia
PP	1	50483.1	50483.1	0.12	0.7325	ns
NU	1	1139137	1139137	27.04	0.0000	**
bloques	2	2099837	1049917	24.92	0.0000	
Error total	22	926926	421327.			
Total (corr.)	26	4170937				

$$R^2 = 77.7766\%$$

$$R^2 \text{ (ajustada por g.l.)} = 73.736\%$$

c. Productividad

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Significancia
PP	1	1.2675	1.2675	0.12	0.7319	ns
NU	1	284.798	284.798	27.04	0.0000	**
Bloques	2	525.132	262.566	24.93	0.0000	
Error total	22	231.679	10.5309			
Total (corr.)	26	1042.88				

$$R^2 = 77.7846\%$$

$$R^2 \text{ (ajustada por g.l.)} = 73.7454\%$$

Tabla 19. ANVA optimización mediante superficie de respuesta

a. Altura.

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Significancia
A: PP	1	0.75	0.75	0.07	0.7990	ns
B: NU	1	200.083	200.083	17.74	0.0004	**
AB	1	10.0833	10.0833	0.89	0.3552	ns
bloques	2	236.222	118.111	10.47	0.0007	
Error total	21	236.861	11.2791			
Total (corr.)	26	684.0				

$$R^2 = 65.3712\%$$

$$R^2 = (\text{ajustada por g.l.}) = 57.1262\%$$

b. Vigor.

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Significancia
A: PP	1	50483.1	50483.1	0.11	0.7386	ns
B: NU	1	1139137	1139137	25.81	0.0000	**
AB	1	664.094	664.094	0.00	0.9694	ns
bloques	2	2099837	1049917	23.79	0.0000	
Error total	21	9268536	441359.			
Total (corr.)	26	4170937				

$$R^2 = 77.7782\%$$

$$R^2 = (\text{ajustada por g.l.}) = 72.4873\%$$

c. Productividad.

Fuente	Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P	Significancia
A: PP	1	1.2675	1.2675	0.11	0.7380	ns
B: NU	1	284.798	284.798	25.82	0.0000	**
AB	1	0.0161333	0.0161333	0.00	0.9699	ns
bloques	2	525.132	262.566	23.80	0.0000	
Error total	21	231.663	11.0316			
Total (corr.)	26	1042.88				

$$R^2 = 77.7861\%$$

$$R^2 = (\text{ajustada por g.l.}) = 72.4971\%$$