

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
DOCTORADO EN CIENCIA ANIMAL**



**“AUTOECOLOGÍA DE *Festuca dolichophylla* - *Festuca humilior*, Y  
RESPUESTA A LA ADICIÓN DE NPK EN LA PUNA PERUANA”**

**Presentada por**

**FRITZ CARLOS TRILLO ZÁRATE**

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

**Lima-Perú**

**2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO**

**DOCTORADO EN CIENCIA ANIMAL**

**“AUTOECOLOGÍA DE *Festuca dolichophylla* - *Festuca humilior*, Y  
RESPUESTA A LA ADICIÓN DE NPK EN LA PUNA PERUANA”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
DOCTOR *Doctoris Philosophae (Ph.D.)***

**Presentada por:**

**FRITZ CARLOS TRILLO ZÁRATE**

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

Ph. D Julio Alegre Orihuela

**PRESIDENTE**

Ph. D. Enrique Flores Mariazza

**ASESOR**

Ph. D. Gregorio Argote Quispe

**MIEMBRO-EXTERNO**

Ph. D. Javier Ñaupari Vásquez

**MIEMBRO**

Ph. D. Lucrecia Aguirre Terrazas

**MIEMBRO**

A mis padres Gamaniel y Socorro,  
hermanos Augusto, Meyk,  
Miguel, Jesús y queridas  
hermanas Katty y Karen  
que siempre creyeron en mí,  
y son el pilar fundamental  
en mi formación académica.

## **AGRADECIMIENTOS**

- Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (Concytec) por los fondos económicos para realizar la investigación.
- Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales (LEUP) por brindar sus instalaciones y equipos para la recolección y análisis de datos y muestras.
- SAIS “Tupac Amaru” LTDA. N° 1 por la cesión de un área para establecer el experimento.
- Al Ph. D. Enrique Flores Mariazza por su patrocinio y consejos.
- A la Ph. D. Lucrecia Aguirre Terrazas por sus consejos y guía académica.
- Al Ingeniero Zootecnista Bill Yalli Huamaní por su colaboración en establecimiento del experimento.
- Al Personal, Tesistas y Amistades de LEUP que de una manera a otra contribuyeron e incentivaron el desarrollo de la investigación.

## ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	3
2.1.	SUCESIONES EN PASTIZALES.....	3
2.1.1.	Modelos de sucesión.....	4
2.1.2.	Umbral de cambios sucesionales.....	6
2.1.3.	Perturbaciones de ecosistemas.....	7
a.	Pastoreo.....	9
b.	Cambio climático.....	10
c.	Minería.....	11
2.2.	REVEGETACIÓN DE PASTIZALES.....	12
2.2.1.	Fenología de gramíneas para la cosecha de esquejes.....	13
2.2.2.	Proceso de revegetación de pastizales.....	17
a)	Preparación de sitio.....	17
b)	Material vegetal.....	18
c)	Introducción y establecimiento de plantas.....	18
d)	Manejo.....	21
2.2.3.	Comportamiento de pastizales revegetados.....	21
2.3.	DEMANDA, BALANCE Y ADICIÓN DE NUTRIENTES EN PASTIZALES.....	23
2.3.1.	Nitrógeno.....	25
2.3.2.	Fósforo.....	27
2.3.3.	Potasio.....	29
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1.	ÁREA DE ESTUDIO.....	31
3.2.	PROCESO DE REVEGETACIÓN.....	33
3.2.1.	Muestreo y análisis del suelo.....	33
3.2.2.	Preparación del sitio.....	35
3.2.3.	Material vegetal.....	35
3.2.4.	Introducción y establecimiento.....	36
3.2.5.	Manejo.....	37
3.3.	DEMANDA Y BALANCE DE NPK.....	38
3.4.	ESTADOS FENOLÓGICOS.....	38

3.5.	AUTOECOLOGÍA Y RESPUESTA A LA ADICIÓN DE NPK.....	38
3.5.1.	Alometría.....	38
3.5.2.	Número macollos, florales y muertos.....	39
3.5.3.	Medición de la tasa de transpiración.....	39
3.6.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	40
3.6.1.	Modelo estadístico.....	40
a)	modelo I: autoecología.....	40
b)	Modelo II: adición de NPK.....	40
3.6.2.	Comparaciones de demanda y balance de NPK.....	41
3.6.3.	Comparaciones de contrastes ortogonales en la adición NPK.....	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1.	DEMANDA N, P, K.....	42
4.2.	VARIABLES EVALUADAS.....	45
4.1.1.	Altura a la hoja bandera.....	45
4.1.2.	Volumen de la mata.....	46
4.1.3.	Número de macollos basales.....	47
4.1.4.	Porcentaje de macollos florales.....	47
4.1.5.	Porcentaje de macollos muertos.....	48
4.1.6.	Tasa de transpiración.....	49
4.3.	EFEECTO DE LA ADICIÓN NPK.....	52
4.3.1.	Nitrógeno.....	52
a)	Volumen de la mata.....	52
b)	Altura a la hoja bandera.....	52
c)	Número de macollos basales.....	54
d)	Porcentaje de macollos florales.....	54
e)	Porcentaje de macollos muertos.....	55
f)	Tasa de transpiración.....	56
4.3.2.	Fósforo.....	58
a)	Volumen de la mata.....	58
b)	Altura a la hoja bandera.....	59
c)	Número de macollos basales.....	59
d)	Porcentaje de macollos florales.....	60
e)	Porcentaje de macollos muertos.....	60
f)	Tasa de transpiración.....	61

4.3.3. Potasio.....	64
a) Volumen de la mata.....	64
b) Altura a la hoja bandera.....	64
c) Número de macollos basales.....	65
d) Porcentaje de macollos florales.....	65
e) Porcentaje de macollos muertos.....	66
f) Tasa de transpiración.....	66
4.3.4. Nitrógeno, fósforo y potasio.....	69
a) Volumen de la mata.....	69
b) Altura a la hoja bandera.....	69
c) Número de macollos basales.....	70
d) Porcentaje de macollos florales.....	70
e) Porcentaje de macollos muertos.....	71
f) Tasa de transpiración.....	71
V. CONCLUSIONES.....	73
VI. RECOMENDACIONES.....	74
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
VIII. ANEXO.....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Etapas de crecimiento primario y secundario, índices numéricos y descripciones del crecimiento y desarrollo gramíneas perennes.....	15
Tabla 2. Material vegetal para revegetar hábitats de tierras altas, ribereñas y humedales ..	17
Tabla 3. Temperaturas máximas, mínimas y precipitación en el distrito Pachacayo.....	32
Tabla 4. Propiedades físicas y químicas del suelo del área de estudio.....	34
Tabla 5. NPK en el área de experimentación.....	34
Tabla 6. Características botánicas de las especies utilizadas en revegetación.....	36
Tabla 7. Contenido de N, P, y K para cada tratamiento.....	36
Tabla 8. Variables medidas en la planta y el suelo.....	41
Tabla 9. Demanda de NPK y materia seca ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).....	42
Tabla 10. Balance de NPK ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) en el área revegetada.....	43
Tabla 11. Comparación de altura a la hoja bandera (cm).....	46
Tabla 12. Comparación de volumen ( $\text{cm}^3$ ).....	46
Tabla 13. Comparación de macollos basales (nro).....	47
Tabla 14. Comparación de macollos florales (%).....	48
Tabla 15. Comparación de macollos muertos (%).....	49
Tabla 16. Comparación de tasa de transpiración ( $\text{mmol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ).....	50
Tabla 17. Efecto del nitrógeno en indicadores de crecimiento el mes de dic-16.....	56
Tabla 18. Efecto del fósforo en indicadores de crecimiento el mes de dic-16.....	62
Tabla 19. Efecto del potasio en indicadores de crecimiento el mes de dic-16.....	67
Tabla 20. Efecto del NPK en indicadores de crecimiento el mes de dic-16.....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dinámica de la vegetación a lo largo de un solo eje definido por la sucesión y la intensidad de pastoreo.....	4
Figura 2. Modelos de estados y transiciones, umbrales (bióticos y abióticos), y acción de las perturbaciones en una comunidad de gramíneas.....	6
Figura 3. Circulo vicioso de la vegetación de pastizales degradados.....	9
Figura 4. Dinámica de la precipitación y temperatura a través de los meses del año .....	32
Figura 5. Mapa de ubicación del experimento.....	33
Figura 6. Plano de la distribución de tratamientos en el área experimental de Mesapata. ...	37
Figura 7. Comparación de los requerimientos nutricionales de <i>Festuca dolichophylla</i> (Fedo) y <i>Festuca humilior</i> (Fehu).....	44
Figura 8. Indicadores autoecológicos de acuerdo el comportamiento de las precipitaciones en <i>Festuca dolichophylla</i> (Fedo) y <i>Festuca humilior</i> (Fehu).....	51
Figura 9. Comparación de parcelas control con nitrógeno en el crecimiento de dic-16 para <i>Festuca dolichopylla</i> (Fedo) y <i>Festuca humilior</i> (Fehu). *jul-17.....	57
Figura 10. Comparación de parcelas control con fósforo en el crecimiento de dic-16 para <i>Festuca dolichopylla</i> (Fedo) y <i>Festuca humilior</i> (Fehu). *jul-17.....	63
Figura 11. Comparación de parcelas control con potasio en el crecimiento de dic-16 para <i>Festuca dolichophylla</i> (Fedo) y <i>Festuca humilior</i> (Fehu). *jul-17.....	68
Figura 12. Comparación de parcelas control con NPK en el crecimiento de dic-16 para <i>Festuca dolichophylla</i> (Fedo) y <i>Festuca humilior</i> (Fehu). *jul-17.....	72

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Base de datos del estudio.....	90
Anexo 2. ANVA de altura inicio precipitación.....	97
Anexo 3. ANVA de altura máxima precipitación.....	97
Anexo 4. ANVA de altura mínima precipitación.....	97
Anexo 5. ANVA de volumen inicio precipitación.....	98
Anexo 6. ANVA de volumen máxima precipitación.....	98
Anexo 7. ANVA de volumen mínima precipitación.....	98
Anexo 8. ANVA de número de macollos basales inicio precipitación.....	99
Anexo 9. ANVA de número de macollos basales máxima precipitación.....	99
Anexo 10. ANVA de número de macollos basales mínima precipitación.....	99
Anexo 11. ANVA de porcentaje de macollos florales inicio precipitación.....	100
Anexo 12. ANVA de porcentaje de macollos florales máxima precipitación.....	100
Anexo 13. ANVA de porcentaje de macollos florales mínima precipitación.....	100
Anexo 14. ANVA de porcentaje de macollos muertos mínima precipitación.....	101
Anexo 15. ANVA de porcentaje de macollos muertos máxima precipitación.....	101
Anexo 16. ANVA de porcentaje de macollos muertos mínima precipitación.....	101
Anexo 17. ANVA de tasa de transpiración inicio precipitación.....	102
Anexo 18. ANVA de tasa de transpiración máxima precipitación.....	102
Anexo 19. ANVA de tasa de transpiración mínima precipitación.....	102
Anexo 20. ANVA de volumen fertilizado.....	103
Anexo 21. ANVA de altura fertilizado.....	104
Anexo 22. ANVA de número de macollos basales fertilizado.....	105
Anexo 23. ANVA de porcentaje de macollos florales fertilizado.....	106
Anexo 24. ANVA de porcentaje de macollos muertos fertilizado.....	107
Anexo 25. ANVA de tasa de transpiración fertilizado.....	108

## RESUMEN

El objetivo del estudio fue estimar la demanda y balance de nutrientes, comparar la autoecología y evaluar el efecto de la adición de NPK en la dinámica de crecimiento de esquejes de *Festuca dolichophylla* (*Fedo*) y *Festuca humilior* (*Fehu*). El experimento se realizó en pajonales de buena condición de la SAIS Túpac Amaru, ubicado a 11°57' 16.47" S, 75°42'24.89" O. Los tratamientos fueron la fertilización con N, P, K, NPK y un control. Las dosis de nitrógeno, fósforo y potasio fueron de 200, 160 y 100 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Se utilizó el diseño de bloques completamente al azar con arreglo de contrastes. Las variables evaluadas por matas fueron: volumen (cm<sup>3</sup>), altura (cm), número de macollos, porcentaje de macollos florales y muertos, tasa de transpiración (mmol m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>). El requerimiento de nitrógeno se estimó en 36.93±4.30 y 35.55±3.7 kg ha<sup>-1</sup>, de fósforo en 2.23±0.30 y 1.50±0.20 kg ha<sup>-1</sup> y de potasio en 31.68±4.70 y 18.19±4.00 kg ha<sup>-1</sup> en *Fedo* y *Fehu* respectivamente. *Fedo* evidenció un mayor volumen (1326.51±182.49 cm<sup>3</sup>) y altura (33.90±1.18 cm) en julio-2017. Mientras, *Fehu* un mayor porcentaje de macollos florales (60.69±15.95 %) y menor tasa de transpiración (40.64±9.79 mmol m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) en diciembre-2016. Las conclusiones fueron: la adición de nitrógeno y fósforo no estimularon el crecimiento en *Fedo* y *Fehu*, mientras, la adición de potasio si propició el crecimiento en *Fedo*. La menor concentración de fósforo en *Fehu*, indicaría una movilización de este nutriente o su menor absorción. *Fedo* evidenció como estrategia adaptativa la ocupación de espacio, debido a su mayor volumen, mientras, *Fehu* tuvo un inicio temprano de la floración, siendo su estrategia adaptativa la floración temprana. *Fedo* puede obtener mayor crecimiento con adición extra de K, también tuvo una mayor tasa de transpiración durante todo el año. Con esta información podríamos indicar que el potasio posiblemente propicia una mayor floración de *Fedo* y *Fehu*.

**Palabras claves:** autoecología, crecimiento de esquejes, estrategia adaptativa, macollamiento, fertilización, pajonales, tasa de transpiración.

## ABSTRACT

The objective of the study was to estimate the demand and balance of nutrients, compare the autoecology and evaluate the effect of the addition of NPK on the growth dynamics of cuttings of *Festuca dolichophylla* (*Fedo*) and *Festuca humilior* (*Fehu*). The experiment was carried out in grasslands of good condition of the SAIS Túpac Amaru, located at 11 ° 57 '16 .47 " S, 75 ° 42' 24.89 " W. The treatments were fertilization with N, P, K, NPK and a control. The application of nitrogen, phosphorus and potassium were 200, 160 and 100 kg ha<sup>-1</sup>, respectively. The design used was completely randomized block with contrast. The variables evaluated by tussock grass were: volume (cm<sup>3</sup>), height (cm), number of tillers, percentage of floral and dead tillers, transpiration rate (mmol m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>). The nitrogen requirement was estimated at 36.93 ± 4.30 and 35.55 ± 3.7 kg ha<sup>-1</sup>, of phosphorus in 2.23 ± 0.30 and 1.50 ± 0.20 kg ha<sup>-1</sup> and of potassium in 31.68 ± 4.70 and 18.19 ± 4.00 kg ha<sup>-1</sup> in *Fedo* and *Fehu* respectively. *Fedo* showed a higher volume ( 1326.51 ± 182.49 cm<sup>3</sup>) and height (33.90 ± 1.18 cm) in July-2017. Meanwhile, *Fehu* had a higher percentage of floral tillers (60.69 ± 15.95%) and a lower transpiration rate (40.64 ± 9.79 mmol m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>) in December -2016. The conclusions were: the addition of nitrogen and phosphorus did not stimulate growth in *Fedo* and *Fehu*, while the addition of potassium did promote growth in *Fedo*. The lower concentration of phosphorus in *Fehu* would indicate a mobilization of this nutrient or its less absorption. *Fedo* showed space occupation as an adaptive strategy, due to its greater volume, meanwhile, *Fehu* had an early onset of flowering, his adaptive strategy being early flowering. *Fedo* can get higher growth with extra K addition, he also had a higher sweat rate throughout the year. With this information we could indicate that potassium possibly favors a greater flowering of *Fedo* and *Fehu*.

Key words: autoecology, growth of cuttings, adaptive strategy, tillering, fertilization, tussock, transpiration rate.

## I. INTRODUCCIÓN

El 50 por ciento de la superficie de la sierra del Perú son pastizales, de estos el 62 por ciento se encuentran en francos procesos de degradación debido al sobrepastoreo y el cambio climático; en los próximos 100 años generará una pérdida del 50 por ciento de este ecosistema (Flores 1996, Flores 2013, Huerta 2002, Tapia 2013 & Ventura 2003). Los pastizales en procesos de degradación son de escasa cobertura y diversidad de plantas, sus suelos son de baja materia orgánica y fertilidad debido al cambio de sus propiedades físicoquímicas (Rattan *et al.* 2003).

Las perturbaciones antrópicas y de cambio climático están deteriorando los pastizales, disminuyendo los servicios ecosistémicos que nos brindan, por lo tanto, el gobierno y las empresas privadas, deben proponer políticas y estrategias para mitigar la degradación, y así mejorar la salud de los pastizales (Flores 2015). El estado no saludable de un pastizal se define cuando la comunidad nativa de especies pasó el umbral abiótico, donde la disponibilidad de nutrientes y banco de semillas es nula y/o escasa (Pyke *et al.* 2002). Estos pastizales necesitan estrategias de recuperación como la revegetación, teniendo en cuenta la disponibilidad de nutrientes en el suelo, que asegure el establecimiento de los esquejes y/o semillas (Schuster & Zuck 1986).

La *Festuca humilior* y *Festuca dolichophylla* tienen potencial de revegetación por esquejes y son palatables para el ganado (Tácuna 2015 & García 2016), sin embargo, se debe tener en cuenta sus mayores requerimientos nutricionales en la revegetación de pastizales no saludables. La enmienda con guano de corral puede ser efectiva en la etapa inicial (Tácuna 2015), pero los bajos porcentajes de macro nutrientes disponibles son lixiviados rápidamente en comparación a fertilizantes inorgánicos de lenta liberación. Actualmente se desconoce los requerimientos de nitrógeno, fósforo y potasio en establecimiento y propagación de esquejes de *Festuca humilior* y *Festuca dolichophylla*.

Los objetivos específicos del estudio fueron: estimar la demanda y balance de nutrientes, comparar la auto ecología y evaluar el efecto de la adición de N-P-K en la dinámica de crecimiento de esquejes de *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior*.

## II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

### 2.1. SUCESIONES EN PASTIZALES

El manejo de pastizales tiene como ciencia base a la ecología aplicada, basada en modelos conceptuales del funcionamiento del ecosistema. El modelo es un conjunto de conceptos que se utiliza como una guía para recopilar información relevante en la toma de decisiones de manejo. Los conceptos tradicionales de condición de pastizal se basan en los modelos “Sucesionales” o “Climax” propuesto por Clements en 1936. El enfoque sucesional plantea que un pastizal dado tiene un final en equilibrio (clímax) en ausencia de perturbaciones como el pastoreo (Briske *et al.* 2005). Se asume que las perturbaciones antrópicas dan como resultado estados inferiores al clímax, que comúnmente se pueden revertir de manera sistemática con estrategias de recuperación.

La evidencia de otros estudios propone que no son válidos los supuestos del modelo Sucesional, siendo los cambios de la vegetación en respuesta a pastoreos discontinuos, irreversibles e inconsistentes. Un ejemplo son los pastizales áridos y semi áridos, que entran en descanso luego del pastoreo, mostrando cambios temporales diferentes en la vegetación a lo que predice la dirección del modelo sucesional. Los modelos alternativos como el estado estable múltiple, y de estados y transiciones se han desarrollado a partir del conocimiento existente de ecosistemas de pastizales que describen cambios temporales distintos en la vegetación (Friedel 1991, Laycock 1991, Westoby *et al.* 1989). Estos modelos traen el concepto de condición de rango clímax, entendiendo que la vegetación puede seguir varios rumbos y sobrevenir en una diversidad infinita de proporciones y cantidades durante la sucesión secundaria, incluso en el mismo sitio del pastizal.

La experiencia de manejadores de pastizales demostraron que estos rumbos de sucesión pueden caracterizarse por patrones predecibles de asociación de especies y estructura de la comunidad. El fracaso con el concepto clímax para determinar el rango-clímax, se manifiesta cuando se ha intentado usarlo en sitios de pastizales donde no se aplica este modelo.

También, la condición de un pastizal en rango-clímax no fue diseñado para ser utilizado en pastizales anuales tipo mediterráneo donde el registro histórico de comunidades de plantas clímax han sido reemplazadas constantemente por otras. Los eventos estacionales a corto plazo pueden causar cambios dramáticos en la composición y producción de especies de plantas, muchas veces en una sola temporada de crecimiento en el mismo sitio de pastizal (Briske *et al.* 2005).

### 2.1.1. Modelos de sucesión

#### a. Modelo clímax

El modelo se basa en que el pastoreo es un proceso dependiente de la intensidad y/o frecuencia, desencadenando cambios sucesionales en la vegetación. Clements en 1936, describió un modelo de cambios unidireccionales de la vegetación hacia un estado estable y en equilibrio con el clima, conocido como “Clímax”. Las perturbaciones como el pastoreo y fuego producen cambios en el ecosistema a nivel de la biodiversidad, cobertura y productividad haciendo que se aleje del estado saludable estable, pero conservando su reversibilidad (Briske *et al.* 2005). Por lo general se dice que la salud del pastizal varía directamente con el tipo de **condición** de comunidad o etapa de sucesión según la definición del modelo de Dyksterhuis (1949).

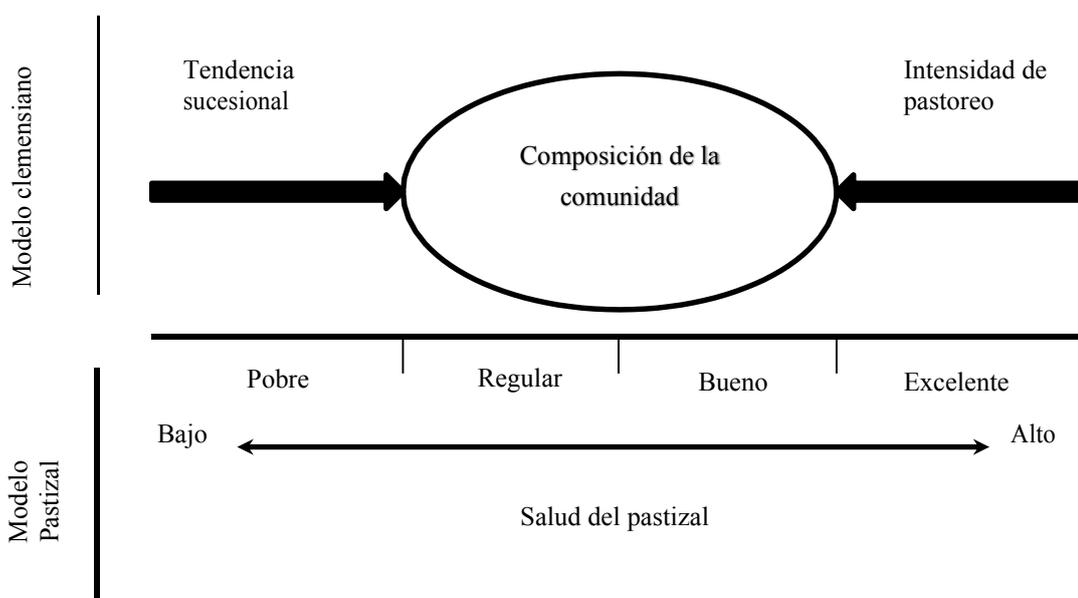


Figura 1. Dinámica de la vegetación a lo largo de un solo eje definido por la sucesión y la intensidad de pastoreo.

FUENTE: Westoby *et al.* (1989).

Las principales premisas de este enfoque de modelo son:

- El pastoreo es un proceso que dependiendo de su intensidad y/o frecuencia, desencadena cambios de sucesión vegetal, generando una gradiente.
- Es un modelo unidireccional cuyo “climax” alcanza cuando las comunidades de vegetación entran en equilibrio con el clima.
- Si la perturbación del pastoreo desaparece las comunidades de vegetación siempre retornan a su estado inicial.

#### **b. Modelos de estados y transiciones**

El modelo de Westoby *et al.* (1989) conocido como el de estados y transiciones; muestra que el pastoreo puede retardar, detener o revertir la sucesión secundaria para producir comunidades con varias combinaciones de especies que se asignan a clases específicas de condición, estas clases o condiciones a menudo se comparan con la salud de los pastizales.

Las principales premisas de este enfoque de modelo son:

- No siempre son lineales los cambios ocurridos en la vegetación.
- Los pasajes de un estado seral a otro no siempre son reversibles.
- Más de un estado ocurrido puede ser estable.
- Las transiciones positivas son menos frecuentes que las negativas.
- La carga animal (pastoreo) no es el único factor que afecta la vegetación, otros factores también tienen que tenerse en cuenta, dentro de los cuales están los cambios climáticos (lluvias, sequías) u otras perturbaciones como fuego, entre otros.

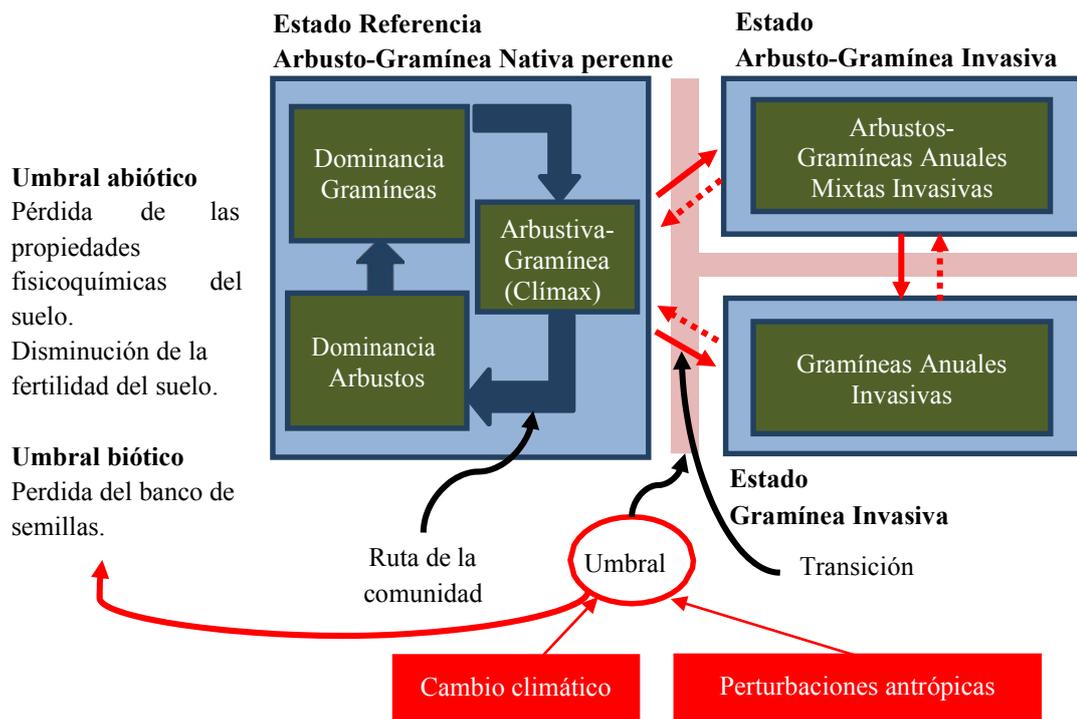


Figura 2. Modelos de estados y transiciones, umbrales (bióticos y abióticos), y acción de las perturbaciones en una comunidad de gramíneas.

FUENTE: Adaptado de NRC (1994).

### 2.1.2. Umbral de cambios sucesionales

Las perturbaciones tienen como función importante cambios en la competitividad de especies dentro de una comunidad de pastizal, bajo un conjunto estático de condiciones (sin fuego, pastoreo o sequía), algunas especies se adecuan a esas condiciones y prosperan. Las especies no tan adaptadas pierden su vigor, reduciendo su capacidad reproductiva y finalmente desapareciendo del pastizal por completo. Una especie que permanece en un pastizal, necesita con frecuencia condiciones suficientes para que sobreviva y no sea reemplazado. El fuego, pastoreo y sequía pueden inhibir a ciertos tipos de especies dominantes permitiendo que otras prosperen en un pastizal (Helzer 2010).

Las perturbaciones se categorizan y cuantifican con respecto al tipo (por ejemplo, pastoreo, fuego, inundación y viento), frecuencia (común vs. episódico), extensión (parche/escala local vs. paisaje/escala regional) e intensidad (por ejemplo, incendios puede quemarse en seco o relativamente fresco). Las perturbaciones pueden causar: (a) la destrucción de biomasa; (b) la eliminación, reducción, adición o expansión selectiva de poblaciones; (c) interrupción de la materia, energía o intercambio; y/o (d) la supresión de otra perturbación (Archer & Stokes 2000).

Las condiciones de sequía (cambio climático), el sobrepastoreo (ganadería), la sobreexplotación de los recursos (minería) y la falta de prácticas de conservación (políticas) son perturbaciones que afectan drásticamente la composición de los pastizales y puede hacer que los mismos sean más susceptibles a enfermedades, plagas de insectos e invasión de malezas (Figura 3), disminuyendo así su salud. Los pastizales perturbados constantemente pueden al final llegar a ser no saludables mostrando una disminución de la calidad del suelo, disponibilidad de agua limpia, secuestro de dióxido de carbono, diversidad vegetal y animal, y el aprovechamiento en otros usos no agrícolas; dentro de los que se encuentra la belleza escénica de un paisaje natural (Follett *et al.* 2001, Friedel 1991).

El paso de los umbrales debido a la perturbación involucra cambios en la composición de especies en los pastizales, esto puede deberse a cambios en las propiedades fisicoquímicas o biológicas del suelo, o también cambios en procesos ecológicos como el ciclo de nutrientes. Los umbrales delimitan los distintos estados del pastizal, el paso de un estado a otro puede ser unidireccional o bidireccional dependiendo de muchos factores dentro de los que se encuentra el banco de semillas de un estado transicional precedente (NRC 1994).

Las dinámicas de comunidades de plantas son continuas y reversibles, cuando persisten dentro de estados estables, siempre en cuando solo se sobrepasen umbrales bidireccionales y los estados de las comunidades puedan recuperarse; mientras, las dinámicas discontinuas y no reversibles ocurren cuando los umbrales que se sobrepasaron son unidireccionales y una comunidad estable es reemplazada por otra. La pérdida de características bióticas y abióticas es la causal, por lo que el nuevo estado cuenta con otras características distintas al estado prístino (Briske *et al.* 2005).

### **2.1.3. Perturbaciones de ecosistemas**

Los pastizales saludables son un recurso natural que sostiene la calidad del suelo, mejora la disponibilidad de agua limpia, secuestra el exceso de dióxido de carbono, sostiene la diversidad vegetal y animal (Follett *et al.* 2001). Los ecosistemas de pastizales se caracterizan por presentar la vegetación abierta, dominada por especies herbáceas cuya producción primaria es aprovechada directamente por los herbívoros domésticos y silvestres (Miller 1990). Cualquier actividad antrópica no regulada causa perturbaciones en su función ecológica, por lo que es necesario identificar el impacto de estas en su normal funcionamiento.

El término degradación incluye diversos procesos de cambios en la composición de especies de plantas hasta la erosión del suelo, pero esencialmente describe circunstancias de reducción de la productividad biológica de la tierra (Geist y Lambin 2004, Reynolds & Stafford, 2002, UNCCD 1994). La degradación de los pastizales es un problema ambiental y económico importante en el mundo, Mongolia por ejemplo es uno de los países más afectados con este problema, más aún por ser una de las regiones de pastizales más grandes en el mundo (Li *et al.* 2012).

La degradación del ecosistema de pastizal andino es un problema complejo que está relacionado con el modelo de organización dentro de las comunidades, 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.* 2002). La degradación de los pastizales es un problema mundial que está en constante aumento y que puede conducir a la desertificación. En la actualidad existe una urgente necesidad de desarrollar técnicas de cuantificación temprana de estos procesos degradativos, especialmente en aquellas zonas sobre explotadas con la finalidad de buscar la recuperación de ecosistemas (Sandra 2010).

El costo mundial de pastizales degradados se estima en 6, 800 millones de dólares anuales (Dregne 1978). Estas estimaciones no incluyen las pérdidas económicas indirectas debidas a una mayor erosión del suelo y una reducción del suministro de agua. El impacto en las generaciones futuras de estas pérdidas indirectas es muy difícil de evaluar. La pérdida de la condición buena en muchos pastizales, son producto del uso histórico indebido de este recurso por el hombre y la combinación de los efectos climáticos extremos.

Las condiciones de pastizales se deterioran cuando se inicia un círculo vicioso, donde la cubierta vegetal se reduce o elimina mediante la combinación de pastoreo excesivo y sequías a corto plazo. Esta condición de deterioro se perpetúa porque no hay suficiente cubierta vegetal para evitar el sellado de la superficie del suelo; la escorrentía y la erosión de la superficie del suelo aumentan, lo que a su vez disminuye la infiltración y la capacidad de retención de agua del suelo, una condición muy desfavorable para el crecimiento o establecimiento de plantas (Figura 3) (Simanton 1991).

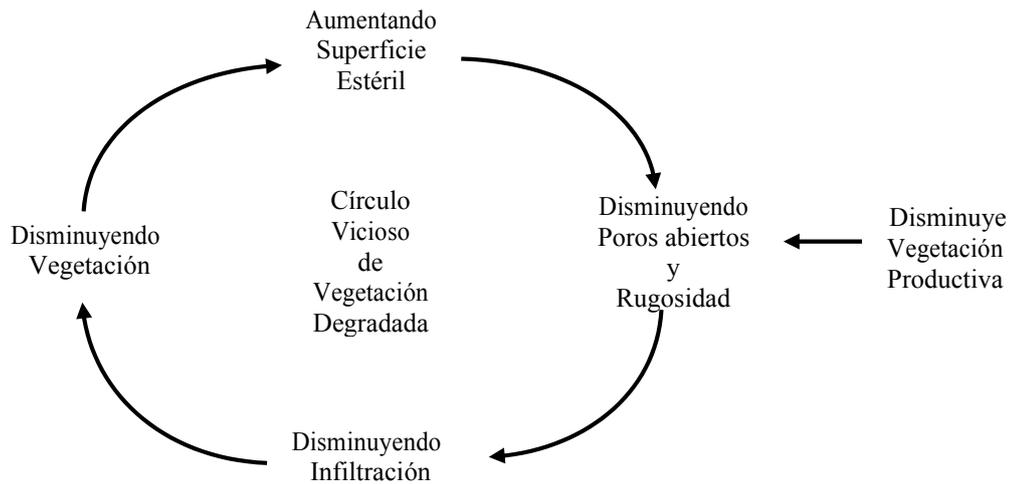


Figura 3 Círculo vicioso de la vegetación de pastizales degradados.

FUENTE: Simanton (1991).

#### a. Pastoreo

Si bien muchos manejadores de pastizales consideran la perturbación del pastoreo como un simple cambio de la sucesión, sin embargo, muchos investigadores de la vegetación ahora rechazan la noción de un único estado de equilibrio, por lo tanto, un retorno automático a la condición prístina una vez que se eliminan inmediatamente las influencias perturbadoras. Westoby *et al.* (1989) menciona que cuando las presiones de pastoreo se eliminan o disminuyen en ambientes semiáridos, los sistemas a menudo permanecen estacionarios donde están; si esta persiste, el suelo se erosiona, las especies originales se pierden del banco de semillas, las especies invasoras se naturalizan y cambian los genotipos, climas y regímenes de otras perturbaciones; no esperando que la vegetación vuelva a ser lo que era anteriormente. Si bien es posible aceptar nuevos elementos y construir un marco ecológico para el manejo del pastizal a través de la ordenación y el modelado de gradiente (Kessell 1979, Dormaar *et al.* 1997), generalmente es muy complejo y difícil de explicar, además de ser más costoso.

La degradación de los pastizales está acompañada normalmente de la pérdida de la fertilidad natural de los suelos, causando la disminución de la productividad del ganado y provocando grandes pérdidas económicas (Padilla *et al.* 2009). Senra (2009) coincide con Recharte *et al.* (2002) en una baja eficiencia en los sistemas de explotación de bovinos basados en pastoreo, incluyendo una insostenibilidad del hato. Los problemas de degradación de pastizales afectan áreas extensas de pastizales naturales reduciendo

su calidad y productividad, esto determina que la composición de especies de plantas varíe desde especies de mayor valor forrajero, a malezas de inferior valor. (Simanton 1991).

El secuestro de carbono se ve favorecido cuando las estrategias de sistemas de pastoreo como el descanso rotativo y el pastoreo diferido, favorecen a la producción de biomasa. También se pueden implementar prácticas de manejo que mejoran la disponibilidad de agua y balance de nutrientes en el suelo. Si se mejoran las prácticas de manejo en 30% y establecen sistemas de pastoreo en 50% del ecosistema puna, se podría incrementar la captura de gases de efecto invernadero en 8.4 m<sup>3</sup>/año, eso es el 37% de los gases de efecto invernadero generado por el sector agropecuario (Flores 2013).

El pastoreo ocasiona menor cobertura vegetal, por lo que sitios protegidos presentan mayor humedad del suelo, esto indica una menor eficiencia en el uso de nutrientes de sitios pastoreados que los no pastoreados. La exclusión por once años mejora el ciclaje de nutrientes y favorecen el crecimiento de especies anuales ausentes en sitios pastoreados (Gul *et al.* 2016).

#### **b. Cambio climático**

El cambio climático afecta negativamente a los pastizales de dos maneras: reduciendo la disponibilidad promedio de agua y aumentando su variabilidad. En general, sería más fácil de manejar una disponibilidad baja de agua constante que una sequía extrema debido a la dificultad de predecir y desarrollar respuestas a estos eventos. Las sequías extremas tienen consecuencias y como resultado una producción reducida a corto plazo, y el sobrepastoreo su efecto es más a largo plazo. En algunos casos, la combinación de sequía y sobrepastoreo han provocado daños irreversibles cuando los ecosistemas han pasado a otro estado (Yahdjian & Sala 2008).

Los cambios en regímenes de perturbación pueden interactuar con el cambio climático para afectar la biodiversidad, por ejemplo, una vía vertiginosa en ecosistemas discontinuos causa su “*variación*”. Los cambios en regímenes de perturbación (pastoreo y el fuego) y el clima sobre el venir de las décadas probablemente producen efectos circunscritos en sitios como los pastizales (Gitay *et al.* 2002). En los últimos años frecuentemente ocurren condiciones de sequía debido al cambio

climático, sumado al pastoreo excesivo, y pueden afectar drásticamente la composición de la comunidad vegetal haciendo que los pastizales sean más susceptibles a enfermedades, plagas de insectos e invasión de malezas (Hunt *et al.* 2003).

El cambio climático en la puna altoandina está generando retroceso glacial que reduce la disponibilidad de agua y produce cambios en la composición florística, menor producción de forraje y disminución de la retención hídrica. Debido a lo mencionado, los pajonales se reducirán en una extensión de 15.4 a 4.6 millones de hectáreas, mientras, los bofedales se reducirán de 0.5 a 0.2 millones de hectáreas, en tanto, los arbustales se incrementan de 2.8 a 7.1 millones de hectáreas, esto causará una disminución de la carga animal, disminuyendo el aporte de la ganadería a la economía nacional (Flores 2013).

### **c. Minería**

Los daños al suelo y vegetación causados por la minería, suelen ser extremos, porque los ecosistemas originales han tenido que ser gravemente perturbados o enterrados por el proceso de minería (Bradshaw 2000). Por qué algunos pastizales el daño es muy obvio, considerando, por ejemplo, los impactos causados por las perturbaciones debidas a las operaciones mineras.

Muchos problemas entre los que se encuentra la minería, tienen una variedad de causas que comenzaron hace muchas décadas o siglos y se han acumulado lentamente a lo largo de los años, así como las causadas por el sobrepastoreo a largo plazo en pastizales (Tongway & Ludwig 2011). Sin embargo, hay que tener en cuenta que los daños de la actividad minera son totalmente irreversibles, en comparación al sobrepastoreo.

Las perturbaciones drásticas de la tierra, como la minería de superficie, pueden alterar permanentemente las condiciones del sitio, por lo tanto, el tipo de comunidad vegetal, que se pudo lograr en última instancia mediante una sucesión natural prístina. (Schuster & Zuck 1986). En todos los casos es difícil recuperar el estado prístino de la sucesión, los cierres de mina en muchos casos solo esperan una nueva sucesión natural. La minería ocasiona un daño en el horizonte A del suelo por erosión inducida, también la mezcla con polvo en el horizonte superficial ocasiona contaminación del suelo por metales pesados, acidificación y/o acumulación de sales, disminuyendo su capacidad productiva en los pastizales (Rattan *et al.* 2003).

## 2.2. REVEGETACIÓN DE PASTIZALES

La revegetación de pastizales se basa en la restitución de capacidad productiva en función de la capacidad de carga, alcanzando cargas aceptables desde el contexto ecológico y económico. La recuperación de pastizales se basa restituir especies deseables susceptibles a conservar, estimular o complementar para asegurar un buen pastoreo. Los factores que favorecen la degradación: falta de adaptación y manejo de las especies, incompatibilidad entre las especies asociadas, plagas y enfermedades, pérdida de la fertilidad del suelo y manejo inadecuado (Spain y Gualdrón 1991). Las especies deseables deben estar en una proporción aceptable en la composición botánica en el pastizal, para recuperar su función.

Hoy en día, las estrategias de manejo en que se basan las políticas públicas para la conservación de áreas naturales, promueven el pastoreo para mejorar la eficiencia de cosecha de la biomasa aérea como estrategia de bajo coste económico. El objetivo principal de una estrategia de revegetación es evitar cambios en la estructura y funcionamiento de pastizales que ocurren por perturbaciones antrópicas y/o climáticas, así se asegura un manejo sostenible del ecosistema (Spain y Gualdrón 1991). La revegetación con la reincorporación de especies desaparecidas por perturbaciones recurrentes, mediante el uso de un manejo agronómico (uso de enmiendas, fertilizantes y desmalezamiento), y el uso de surcos y zanjas de infiltración, recuperan el flujo adecuado de nutrientes y la regulación hídrica respectivamente; ambos son estrategias de alto coste económico y solo se justifica su implementación cuando se haya pasado el umbral abiótico.

Las plantas son el nivel trófico básico de los ecosistemas y en consecuencia tienen influencia directa e indirecta en casi todas las funciones del ecosistema. La naturaleza de la vegetación tiene una influencia directa con el valor utilitario y la calidad ambiental de los ecosistemas. Después una perturbación drástica la reconstrucción de ecosistemas depende en gran medida de la revegetación. Es necesario saber que la revegetación solo es una parte importante del proceso de recuperación global, el cual está enfocado desde una perspectiva total del ecosistema. ( Billings 1978, Brisbin 1982, Vitousek *et al.* 1996, Wali 1975).

La revegetación como una práctica agrícola en áreas perturbadas, para muchas personas es conceptualizada como un fenómeno “*breve*”, es decir las plantas revegetadas se introducen y establecen en una comunidad permanente estática. Esta percepción es inválida debido a que en algunas zonas perturbadas la revegetación se esfuerza por recuperar pastizales o

bosques forestales y mantenerlo bajo un manejo de baja intensidad en sus condiciones ambientales. La revegetación en tales situaciones es esencialmente un proceso de sucesión de comunidades de plantas secundarias o, algunas veces primarias, siendo un proceso dinámico en el tiempo (Moore *et al.* 1991).

La sucesión en naturaleza, velocidad y dirección se rige por una compleja e interrelacionada formación de factores alógenos (condiciones ambientales, naturaleza de la perturbación, intervención humana, etc.) y los procesos autogénicos regulados por la planta influyen en dichos factores, por lo que la revegetación (en lo posible) debe manipularse sobre una base ecológica. Aspectos direccionales y temporales de la sucesión en pastizales perturbados tienen importantes implicaciones para los objetivos y la tecnología de revegetación. La mayoría de los fines actuales implican un rápido retorno a condiciones de vegetación estables o de pre-perturbación como objetivo general de la revegetación, por diversas razones, tal objetivo puede ser en el mejor de los casos, tecnológicamente difícil y en el peor, ecológicamente imposible de lograr. (Schuster & Zuck 1986). Los objetivos más realistas de revegetación a corto plazo pueden ser incluidos en:

Logro de protección ambiental adecuada por ejemplo la estabilización del suelo y la comunidad vegetativa.

Restablecimiento de los aspectos de la función del ecosistema influenciadas por la vegetación.

Establecimiento de valores utilitarios deseados influenciados por la vegetación.

Establecimiento de tendencias positivas en la sucesión hacia las condiciones de vegetación finalmente deseadas.

### **2.2.1. Fenología de gramíneas para la cosecha de esquejes**

Yzarra y Lopez (2011) mencionan que la fenología es una rama de la agrometeorología que estudia la influencia del ambiente físico sobre los seres vivos. Estos estudios se realizan a través de observaciones de fenómenos y manifestaciones de las fases resultantes entre los requerimientos climáticos de la planta y las condiciones de tiempo y clima en el hábitat. Las observaciones fenológicas consisten en contar el número de plantas que han alcanzado una fase en una fecha exacta, ósea el observador debe decidirse por un día y no por un período en el que a su criterio ocurrió la fase fenológica. Es recomendable no recargar de la toma de muchos datos agronómicos ni de prácticas culturales.

Para los fines de evaluación se necesita tres tipos de categorías en las observaciones, la primera categoría se considera la fecha de siembra y la duración de la siembra a razón del área de cobertura, la segunda categoría se determina el número de días necesarios para la manifestación de una fase (emergencia, floración, fructificación, maduración), y la tercera categoría es una observación del sistema radicular de la planta.

Dalmaso (1994) menciona que se debe distinguir dos fases en la fenología la vegetativa donde más del 50% de la mata se encuentre verde, y la reproductiva cuando se presenta la espigazón-maduración y diseminación de frutos. El *Pappophorum caespitosum* presenta su fase vegetativa temprana con el período de lluvia de escasa intensidad debajo de 10 mm, todas las especies presentan crecimiento episódico con el período de lluvia, generalizando su crecimiento cuando las lluvias se intensifican sobre los 10 mm. El porcentaje de follaje verde tiene que ver con la emisión de macollos de floración con respecto a los senescentes, es por lo que nunca llegan a ser 100 por ciento, y si las condiciones de humedad son limitantes las hojas se enrollan, para luego volver a su forma normal si las condiciones de humedad se recuperan. También al hacer una relación entre follaje verde, temperatura y precipitación a un  $R^2$  del 60 por ciento no encontró respuesta vegetativa al inicio de lluvias, sin embargo, se dedujo que la toma de datos de precipitación no fue en el mismo lugar, por lo que en zonas áridas las precipitaciones zonales son fluctuantes, si se identificó que las precipitaciones desencadenan una expresión vegetativa.

**Tabla 1. Etapas de crecimiento primario y secundario, índices numéricos y descripciones del crecimiento y desarrollo gramíneas perennes.**

etapa	Índice	Descripción
<u>Germinación</u>		
G0	0.0	Semilla seca
G1	0.1	Embebida
G2	0.3	Emergencia de radicular
G3	0.5	Emergencia de coleoptilo
G4	0.7	Mesocótilo y / o alargamiento de coleóptilo
G5	0.9	Surgimiento del suelo del Coleoptilo
<u>Vegetativo-desarrollo de hoja</u>		
VE o V0	1.0	Aparición de la primera hoja
V 1	$(1/N) + 0.9$	Primera hoja del cuello
V2	t	Segunda hoja del cuello
Vn	$(2/N) + 0.9$	Hoja enésima del cuello
	$(N/N) + 0.9$	
<u>Elongación-desarrollo de tallo</u>		
E0	2.0	El inicio de la elongación del tallo
E1	$(1/N) + 1.9$	Primer nodo palpable visible
E2	$(2/N) + 1.9$	Segundo nodo palpable visible
En	$(N/N) + 1.9$	Enésimo nodo palpable visible
<u>Reproductiva- desarrollo floral</u>		
		Etapa de arranque
R0	3.0	Emergencia de la inflorescencia / primera espiguilla visible
R1	3.1	Espiguillas emergieron totalmente no surgió pedúnculo
R2	3.3	
R3	3.5	Inflorescencia emergió / pedúnculo totalmente alargada
R4	3.7	
R5	3.9	Antera surgimiento antesis Fertilización Post-antesis
<u>Desarrollo de semilla y maduración</u>		
SO	4.0	Cariópside visible
S1	4.1	Leche
S2	4.3	Masa suave
S3	4.5	Masa dura
S4	4.7	Endospermo madurez dura / fisiológica
S5	4.9	Endospermo consecutivo semilla seca

‡ Donde n es igual al número de evento (número de hojas o nodos) y N es igual al número de eventos dentro de la etapa primaria (número total de hojas o nodos desarrollado). La fórmula general es  $P + (n/N) - 0.1$ ; donde P es igual al número de etapa primaria (1 o 2 para vegetativo y la elongación, respectivamente) y n es igual al número de evento. Cuando  $N > 9$ , se debe utilizar la fórmula  $P + 0.9 (n/N)$ .

FUENTE: Adaptado de Moore *et al.* (1991).

Moore *et al.* (1991) propusieron una metodología de evaluación fenológica de pasto forrajero y pastizales, en el que se consideró 5 etapas: germinación, vegetativa, elongación, reproductivo y semilleo, con 6 sub etapas, para germinación, reproductiva y semilleo; en tanto que para la etapa vegetativa y de elongación depende de la genética y medio ambiente de la planta, cada una de estas tiene una métrica con un índice y un descriptor mostrado en la Tabla 1.

En la puna peruana el crecimiento de la mayoría de las gramíneas es en noviembre, terminando su ciclo al diseminar el 100% de la semilla durante mayo. Las gramíneas necesitan cuando menos 200 días para llegar a este último estadio. La proteína cruda se mantiene en aproximadamente 8% hasta alcanzar la floración en enero, cuando baja a niveles de 5-6%. (Florez & Bryant 1985). Por lo que se recomienda la cosecha de esquejes en el mes de mayo cuando ya cumplió su ciclo fenológico.

La reproducción sexual y asexual en plantas alpinas sigue diversos patrones. Un interés particular para la revegetación es la reproducción asexual múltiple que resulta por un lado de la formación de semilla (agamospermia), y por el otro, comprende el viviparismo, formación de bulbos, así como la fragmentación de clones con posterior aparición de nódulos fisiológicamente independientes. El crecimiento vegetativo intravaginal y extravaginal de los hijuelos de las hojas basales es común en gramíneas. Como resultado de la alteración del suelo las partes clonales más grandes se separan para formar nuevos individuos, este proceso se da en sitios con alta perturbación. (Schuster & Zuck 1986). Todas estas formas de reproducción asexual generan macollos, una vez desarrollados, estos son utilizados como esquejes en la revegetación.

Se puede usar una variedad de materiales vegetales para revegetar un sitio. Los materiales utilizados dependerán en gran medida del presupuesto, así como del cronograma y los objetivos del proyecto. En general, estos materiales incluyen semillas, almacigo, material de plantas en contenedores, plántones de raíz en bola y cascotes en árboles y arbustos, esquejes y trasplantes (particularmente en el caso de los humedales). La Tabla 2 identifica los materiales vegetales que se usan típicamente en cada tipo de hábitat, seguidos de guías relacionadas con la selección de plantas, la siembra y los árboles y arbustos (UDFCD 2016).

**Tabla 2. Material vegetal para revegetar hábitats de tierras altas, ribereñas y humedales**

Material de la planta	tierras altas	riberas	humedales
Semillas (permanentes y temporales)	x	x	x (limitado)
Almacigo	x	x	x
Contenedores			
Raíces desnudas	x	x	x
Plantones de raíz en bola y cascotes	x	x	x
Esquejes		x	x
Champas, rizomas y tuberosas			x

FUENTE: UDFCD (2016)

### 2.2.2. Proceso de revegetación de pastizales

Investigaciones en revegetación permitirán el desarrollo de tecnologías para un mayor entendimiento de los procesos de revegetación en pastizales altoandinos. En Norteamérica se hizo investigaciones acerca de la revegetación en pastizales alpinos perturbados bajo diferentes regímenes y condiciones climáticas, así que se revisó brevemente a Schuster & Zuck (1986) con respecto a la preparación del sitio, los materiales de la planta, la introducción y el establecimiento de la planta, y el manejo.

#### a) Preparación de sitio

Los programas de revegetación deben comenzar con prácticas que proporcionen condiciones topográficas y edáficas que conduzcan tanto a la estabilización del sitio como al tipo de revegetación que finalmente se desee. Si construimos la macro topografía las pendientes deben ser suaves y cortas para retrasar la erosión y la escorrentía. La manipulación de la microtopografía proporciona un control efectivo en la erosión y agua reduciendo la escorrentía superficial.

Es necesario enmiendas en el suelo para mejorar las características fisicoquímicas que favorezcan al crecimiento de la planta (yeso y cloruro de calcio, materiales orgánicos, agua suplementaria para lixiviación se puede aplicar para tratar suelos afectados por sal

y cal para controlar la acidez del suelo), cabe señalar que estas enmiendas solo proporcionan un alivio temporal a los problemas del suelo, ya que el crecimiento vegetal es el que favorece a la biota del suelo, este puede ser estimulado con la enmienda de materia orgánica, o también se utiliza el mantillo (mulch de paja/heno).

En lugares donde la perturbación ocasionó pérdidas importantes de suelo es importante y necesario la aplicación de topsoil antes de revegetar, así las propiedades fisicoquímicas y nutricionales de este favorecerán al crecimiento de las plantas, se puede utilizar diferentes tipos de topsoils a diferentes profundidades, así este puede favorecer en la diversidad en restablecimiento de la comunidad vegetal.

#### **b) Material vegetal**

La revegetación depende fuertemente de la elección del material vegetal para mejorar la perturbación de un sitio. La selección de la planta puede ser considerando factores ecológicos, el tipo de uso de la tierra que se desee implementar, y algún requerimiento de regulación pertinente. La elección adecuada del material vegetal puede estar basada sobre una consideración integrada de varios factores. Primero las características autoecológicas, segundo las relaciones sinecológicas, tercero la utilidad de la especie de planta elegida, y cuarto la disponibilidad y costo de obtención de propágulos de plantas. Una especie, ecotipo o cultivo seleccionado para revegetación puede ser aceptable en términos de cada uno de estos criterios.

Las regulaciones actuales de revegetación enfatizan el uso de especies nativas sobre las introducidas en la recuperación de sitios, debido a que las especies nativa son superiores a las introducidas en determinadas perturbaciones locales; sin embargo, las especies nativas no siempre son estables o adaptables a perturbaciones drásticas o a cambios de uso de la tierra como la minería.

#### **c) Introducción y establecimiento de plantas**

De acuerdo con el tipo de perturbación en pastizales, debe lograrse tanto en técnicas de introducción de plantas, como en prácticas culturales mejorar el establecimiento inicial de la planta revegetada. La introducción de plantas a tierras perturbadas puede ser logrado por una o ambas de estas dos amplias direcciones: introducción de semillas y trasplante de plantas vivas o parte de plantas (otro que no sea semilla ej. esquejes). La

introducción de semillas en programas de revegetación puede ser de varias maneras. El topsoil es un medio para introducir semillas y otros propágulos en sitios perturbados, su crecimiento depende de la composición de especies y el banco de semillas en el topsoil; este método es adecuado para una rápida y completa recolonización, su elevado coste hace que no sea una práctica muy común.

El éxito de la siembra directa requiere de la selección adecuada de los métodos de siembra, la preparación de la cama de siembra de acuerdo al método seleccionado, las tasas de siembra y programación de la operación de siembra. Los métodos de siembra se pueden clasificar ampliamente como siembra al voleo o mecánico. las características de las semillas influyen en la profundidad de siembra. El uso de mantillo (mulch o paja) de pastizales nativos como fuente de semillas, se usa en la actualidad no hay semillas nativas disponibles. El establecimiento natural de diversas especies de plantas puede ser controlado por la selección de sitios de cosecha de mantillo (mulch), que debe estar compuesto por las especies deseadas, y conocer la estación apropiada para el tiempo de cosecha basado en la fenología.

El trasplante de plantas vivas o parte de plantas comprende un medio de introducción de plantas alternativo o conjuntivo con la siembra. Es más costoso que la siembra, pero es un método más confiable, por lo tanto, este se usa generalmente como un método primario de introducción de plantas en sitios que no tienen condiciones para el éxito de la siembra, o en especies que se establecen difícilmente por semillas. Los métodos consisten de tres clases amplias: trasplante de individuos, grupos de plantas y partes de plantas (que no sean semillas).

El trasplante de individuos es aplicable a árboles, y ocasionalmente usado en herbáceas. El éxito del trasplante depende de métodos para mejorar la sobrevivencia inicial sobre el campo, así como el endurecimiento adecuado antes de la siembra, la siembra durante los períodos de latencia o la reducción del estrés climático, el riego inicial y/o la siembra en micrositos especialmente preparados. La protección de trasplantes de herbívoros a menudo puede ser necesaria a través de cercas, la aplicación de repelentes herbívoros químicos o la construcción de microexclusores. La reducción mecánica o química de la competencia (malezas) también puede mejorar la supervivencia del trasplante. Si bien se ha producido un debate considerable sobre los méritos relativos de

los métodos de trasplante de plántulas desnudas frente a contenedorizados, ambos enfoques funcionan si se aplican de manera correcta.

Otro método exitoso es el trasplante de grupos de plantas en lugares perturbados. Incluyen champas, cojinetes de arbusto/árboles y almácigos. Este método es costoso y es comúnmente aplicado en sitios donde la erosión es rápida, controlándola rápidamente, o en sitios dispersos y localizados donde las islas trasplantadas de plantas aumentan la diversidad inmediata, estos sirven como puntos para futuras propagaciones.

El trasplante de partes de plantas es un posible enfoque para especies capaces de establecimiento vegetativo mediante yemas, la formación de capas o brotes. Se han desarrollado varios métodos, tales como cultivo y siembra de tallos o esquejes de raíces, y recolección de hijuelos, raíces o rizomas en el campo para la siembra. El establecimiento de la planta puede depender o estar fuertemente influenciado por las prácticas culturales aplicadas durante y después de la introducción de la planta. El bajo nivel de fertilidad y la disponibilidad limitada de agua a menudo son limitaciones para la revegetación en sitios alpinos perturbados. Por lo tanto, la fertilización y/o irrigación a veces son prácticas culturales importantes.

Aunque las prácticas de preparación del sitio, como el topsoil, pueden aumentar la fertilidad hasta cierto punto, los suelos "nuevos" en tierras perturbadas aún pueden ser deficientes en nutrientes para las plantas, particularmente los macronutrientes nitrógeno (N) y fósforo (P). La eficacia y la forma requerida de fertilización para remediar esta situación dependen de numerosos factores. Es cuestionado el valor de la fertilización para promover la revegetación inicial en condiciones extremadamente áridas sin riego suplementario, aunque los beneficios a largo plazo pueden finalmente expresarse. Por el contrario, la fertilización a menudo ha demostrado ser beneficiosa (aunque no siempre esencial) para la revegetación global de tierras perturbadas deficientes en nutrientes en partes semiáridas a húmedas. Se ha observado que tales beneficios iniciales persisten y disminuyen con el tiempo bajo diferentes condiciones ambientales.

#### **d) Manejo**

El manejo adecuado a largo plazo luego de la preparación del sitio, la introducción y el establecimiento de la planta es esencial para el éxito de la revegetación, sin ella, los beneficios de incluso la mejor tecnología inicial aplicada se pueden perder. Los grandes objetivos del manejo son acelerar y dirigir el desarrollo de los ecosistemas y la vegetación. Pueden ser necesarias 9 prácticas de manejo para proteger sitios (usualmente temporal) de influencias externas nocivas, corregir cualquier defecto de los métodos iniciales de revegetación y/o manipular sitios revegetados inicialmente hacia las condiciones finales deseadas a lo largo del tiempo. Se recomienda una protección extrema de herbívoros y exclusión durante los primeros años de la revegetación, también, los impactos antrópicos deben controlarse. El uso de ganado por lo general se puede controlar con un manejo de cercas y pastoreo. El control de pequeños y grandes herbívoros salvajes es complicado, y requiere de inusuales prácticas de manejo como la aplicación de químicos repelentes de herbívoros, cercas especializadas o técnicas de exclusión, mejoras en el hábitat fuera del sitio para aliviar la herbivoría en el sitio, o introducción de carnívoros para controlar herbívoros. Otra práctica de manejo debe ser el control de malezas utilizando herbicidas selectivos, la quema prescrita, o la ciega antes de establecerse el semilleo.

#### **2.2.3. Comportamiento de pastizales revegetados**

Mitrović *et al.* (2008) evaluaron dos especies *Festuca rubra* (sembrado) y *Calamagrostis epigeos* (naturalmente repoblada) en depósitos de ceniza volátil de un asentamiento minero, el estudio tuvo parcelas en 2 pozas con diferente tratamiento de sellado y parcelas en su estado natural de las especies evaluadas. Se evaluaron el potencial de hidrogeniones (pH) y la conductividad eléctrica (CE) en el suelo, también se comparó el contenido de minerales del suelo y la raíz por planta y por último se comparó el verdor de las hojas entre los tratamientos, sacando un estimador de la eficiencia fotosintética. Los resultados se demostraron que luego de 9 años *Calamagrostis epigeos* especie naturalmente repoblada es más persistente y tolerante a las condiciones de depósitos de ceniza volátil, recomendado para futuros programas de recolonización en sitios degradados.

Carrick y Kruger (2007) mencionan que los ecólogos de restauración en Namaqualand no pudieron restaurar únicamente con el banco de semillas los sitios perturbados que tengan similar riqueza, composición, estructura de la vegetación y el funcionamiento ecosistémico

a sitios no perturbados; es así muchas especies perennes necesitaron ser introducidas de alguna manera. La forma intensiva de hacer esto más rentable y con menos mano de obra es probablemente mediante la siembra de semilla botánica y vegetativa.

Shao-Shan *et al.* (2012) mencionan que hoy en día existe muchos métodos de revegetación de praderas, pero se sabe muy poco de como mejoran los suelos a nivel microbial y subsecuentemente a nivel bioquímico. A distintas profundidades (0-5, 5-20 y 20-40 cm) el contenido de carbono orgánico, nitrógeno alcalino y disponibilidad de potasio es alto en especies de gramíneas nativas y arbustales, que en especies de gramíneas exóticas en campos abandonados. El carbono de micorrizas (C-mic) y fósforo de micorrizas (P-mic) a una profundidad de 0-5 cm decrece más en campos abandonados. El nitrógeno de micorrizas (N-mic) es alto en arbustales y campos abandonados en comparación con gramíneas exóticas y nativas. Durante 13 y 23 años a 0-5 cm de profundidad se muestran diferencias entre C-mic y P-mic en arbustales. Esto estudios revelan que tanto las gramíneas nativas como las exóticas son mejoradoras de suelos y pueden ser utilizados en la recuperación de suelos degradados.

Meng *et al.* (2014) en un estudio la trayectoria sucesional durante 10 años, un área revegetada y otra repoblada naturalmente, se evaluó el comportamiento de la cobertura, la erosión y desecación del suelo. La diversidad en ambas sucesiones fue inicialmente alta y decrece con la dominancia de una especie y siguen trayectorias distintas, siendo la sucesión natural la que preserva mejor las propiedades del suelo a la erosión y desecación.

Tácuna (2015) en estudios de revegetación con *Festuca humilior* y *Calamagrostis macrophylla* con el uso de estiércol y orina de ovino, concluye que la revegetación de pastizales pobres con esquejes de gramíneas nativas y la incorporación de materia orgánica en forma de orina y estiércol de ovino, es una estrategia efectiva para mejorar la condición y función hidrológica del pastizal.

Dentro de los pasos a seguir en un programa de implementación de revegetación, se debe tener pleno conocimiento del clima y suelo del área donde se va a revegetar. Así, se puede recomendar tener conocimiento de la precipitación en volumen y tiempo, necesidad de la adición de fertilizante en la zona restaurada, ya que el suelo sostiene a la planta de acuerdo con sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La textura, densidad aparente y capaci-

dad de campo son factores importantes que tomar en cuenta para establecimiento de esquejes. (USDA 2004).

### **2.3. DEMANDA, BALANCE Y ADICIÓN DE NUTRIENTES EN PASTIZALES**

Las plantas silvestres son más eficientes en el uso de nutrientes, por lo que a nivel del tejido muestran una baja concentración, expresados en un menor crecimiento y una mayor traslocación de nutrientes de hojas senescentes a hojas vivas, también, incrementa su potencial fisiológico en la absorción de nutrientes faltantes, es así que muestran una alta capacidad de retener iones muy móviles en el suelo como el potasio y el nitrato, y una baja capacidad de retención del iones como los fosfatos y amonio (Chapin 1987).

Los nutrientes absorbidos por las raíces de cada planta se depositan en cada mata durante todo su ciclo fenológico, si estos no fueron extraídos por pastoreo y/o cosecha, la demanda por absorción se utiliza como metodología para determinar los requerimientos de nutrientes en plantas (Marschner 2012). La fertilización adecuada de cultivos requiere un conocimiento previo de niveles de absorción y extracción de la mata, siendo en el caso de las forrajeras la biomasa aérea. La absorción es la cantidad total de nutrientes absorbidos por el cultivo durante su ciclo de desarrollo y la extracción es la cantidad total de nutrientes en los órganos cosechados: grano, forraje u otros (Dommergues & Diem 1985).

Alhamad *et al.* (2012) mencionan el impacto de la fertilización sobre áreas no fertilizadas en la productividad y diversidad en pastizales áridos, demostrando un incremento de biomasa y riqueza de especies de 37.4% y 13.5% respectivamente, también obtuvieron una mejora en la cobertura vegetal de 31.6%, mientras la cobertura de mantillo se redujo en 5.9 %, la biomasa encontrada fue 60.92 g 0.25 m<sup>-2</sup>. Los efectos positivos en la riqueza de especies fueron a partir de la tercera estación de crecimiento. La sinergia con otras prácticas de manejo como la quema tuvieron un efecto combinado de incremento en la biomasa y la riqueza en 90.8% y 69.8% respectivamente, estos cambios se dan por la supresión de especies de gramíneas de porte alto que impiden la germinación de nuevas especies del banco de semillas.

Wayne y Elder (1960) mencionan que los pastizales que han sido fertilizados producen mayor cantidad de materia seca, debió principalmente a una mayor producción de malezas, ya que era escaso o nulo la mejora del rendimiento de leguminosas. Sólo hubo una mejora

en la producción de pasto de menos de 100 libras. La contribución de leguminosas nativas fue escasa o nula a la producción total, incluso cuando se fertiliza una pradera.

Marty *et al.* (2009) en un estudio de componentes de flujo de nitrógeno mineral en las raíces de gramíneas alpinas típicas (*Festuca nigrescens*), mencionan que las tasas de absorción estuvieron en el rango de reportes para especies no alpinas. Sin embargo, las gramíneas alpinas solo retienen una pequeña porción (20%) de  $\text{NH}_4^+$  entrante, similar a lo que se observó en el arroz (una planta sensible al amonio), lo que demuestra la ocurrencia de un ciclo trivial de  $\text{NH}_4^+$ . La ganancia de  $\text{NH}_4^+$  no se mejoró notablemente al aumentar las concentraciones externas en un rango relevante para el campo.

Esto sugiere que las gramíneas alpinas no responderían marcadamente al enriquecimiento de nitrógeno fertilizado. Por lo tanto, podrían proporcionar una mejor comprensión de por qué la fertilización experimental con nitrógeno en las praderas alpinas puede tener un efecto leve y transitorio sobre el crecimiento de las plantas. Por el contrario, el enriquecimiento antropogénico de nitrógeno aumentará el costo específico del transporte de  $\text{NH}_4^+$  (enérgicamente costoso en el ciclado de  $\text{NH}_4^+$ ) y conducirá a la pérdida de varias especies alpinas actuales que causan cambios profundos en la composición y función de la comunidad.

Korfanta *et al.* (2015) realizaron estudios en pastizales semiáridos fertilizados con nitrógeno, que son hábitat de ungulados, tuvo la finalidad de compensar los daños ambientales por la extracción de gas, incrementando la capacidad de carga en esos hábitats. En los ecosistemas de artemisa, donde se conoce muy poco de su biogeoquímica; la fertilización trajo consigo problemas de contaminación ambiental y transformación del ecosistema al favorecer la aparición de otras hierbas. Por lo que es necesario tener en consideración estos antecedentes cuando realizamos fertilización química.

El  $\text{CO}_2$  disminuye el flujo de agua en suelos de pastizales expuesto a sequía, sin embargo, la cantidad de agua retenida depende relativamente de la transpiración de la planta y la evaporación del suelo, siendo claves en el control del flujo del agua y nutrientes (Fredeen *et al.* 1998).

### 2.3.1. Nitrógeno

Elemento primario en la nutrición de plantas asociado con la producción de aminoácidos, también interviene en la formación de la clorofila, hormonas (auxinas y citoquininas, nucleótidos, vitaminas, alcaloides y ácidos nucleicos). Se absorbe por las raíces en la forma de  $\text{NH}_4^+$  y  $\text{NO}_3^-$ , entrando a las diferentes rutas metabólicas cuando ingresan al citoplasma celular; aunque en las vacuolas pueden almacenarse en forma de  $\text{NO}_3^-$ , una vez capturado por el citoplasma es difícil su salida considerándose elemento de baja movilidad. El requerimiento a concentración fisiológica de biomasa aérea de nitrógeno es  $15 \text{ g kg}^{-1}$  (Marschner 2012).

Balogianni *et al.* (2014) fertilizaron con nitrógeno parcelas de pastizales a razón de  $2.7 \text{ g m}^{-2}$  de urea (46-0-0) anual durante 5 años, tuvieron como resultados promedios de biomasa aérea de  $380 \pm 215 \text{ g m}^{-2}$  en no fertilizado; y  $488 \pm 287 \text{ g m}^{-2}$  en fertilizados. La fertilización de nitrógeno incrementa la biomasa de tallos, mas no la biomasa de las raíces.

La producción de materia seca en gramíneas generalmente es el doble cuando se aplica  $45 \text{ kg N ha}^{-1}$ , y aumenta de 3 a 4 veces cuando se aplica  $225 \text{ kg N ha}^{-1}$ , también se favorece la eficiencia del uso de agua con un  $22.6 \text{ kg mm}^{-1}$  en gramíneas fertilizadas a  $32.0 \text{ kg mm}^{-1}$  en no fertilizadas; esta eficiencia del uso de agua está asociado fuertemente con la producción de materia seca. La mayor eficiencia del uso de agua de parte de las gramíneas no garantiza la calidad de forraje obtenido, que es baja, por lo que se recomienda una fertilización con alrededor de  $45 \text{ kg N ha}^{-1}$ . (Elliott & Abbott 2003, Power 1985).

La respuesta a la fertilización de los pastizales depende de la composición florística, ya que las herbáceas, gramíneas y arbustivas tienen diferentes sistemas radiculares. Estos cambios en la composición florística dependen de la ruta del nutriente y la forma de aprovechamiento de la planta; por ejemplo, las malezas responden mejor al nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y las gramíneas responden mejor al amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Se debe tener cuidado en los programas de fertilización en pastizales, debido a que las malezas pueden cambiar el estado de equilibrio de la comunidad vegetal (Brown 2003).

Colabelli *et al.* (2011) con el objetivo de evaluar la disponibilidad hídrica y de nitrógeno sobre el crecimiento de forraje nativo en verano, diseñaron un experimento de parcelas divididas con dos factores, el primero agua (con y sin restricción) el segundo nitrógeno

(con y sin restricción), evaluando acumulación de biomasa por cortes secuenciales, composición botánica por grupos funcionales, radiación fotosintéticamente activa interceptada y eficiencia en uso de la radiación por regresión lineal entre el origen biomasa acumulada y el origen de radiación fotosintéticamente activa interceptada. Los tratamientos con agua (A) y nitrógeno (N) modificaron la contribución de los grupos funcionales del pastizal. La acumulación potencial de forraje en estiaje superó las 10 tn MS ha<sup>-1</sup>, y casi triplicó los valores del tratamiento con fósforo (P). La EUR (eficiencia uso de la radiación) explicó el 70 por ciento de las diferencias en productividad entre el tratamiento PNA y P en el primer rebrote, mientras que en este mismo porcentaje la RFAi (radiación fotosintéticamente activa) explicó tales variaciones en el segundo rebrote.

Claassen & Marler (1998) hicieron estudios en sustrato de granito descompuesto con restricción de nitrógeno (0 a 100 mM NO<sup>3</sup>-N) en dos especies gramíneas nativas *Bromus mollis* y *Elymus glaucus*, anual y perenne respectivamente; en los resultados obtenidos la gramínea anual prosperó mejor en altos niveles de nitrógeno dominando a las perennes, mientras que la gramínea perenne prosperó mejor en niveles medios de nitrógeno (50–100 mM) igualando o superando a las anuales; esto comportamiento fue similar cuando se establecieron cada especie individualmente. Cuando las gramíneas perennes se establecieron plenamente las gramíneas anuales redujeron su producción de biomasa gradualmente. La profundidad radicular es mayor en las perennes que en las anuales, pero para este experimento no se mostró dicha diferencia.

Reichmann *et al.* (2013) en estudios realizados de restricción y sobre-exposición de precipitación, más adición extra de nitrógeno (N) comparó la tasa de mineralización y cantidad de N absorbido en la planta, N foliar, lixiviación de N de las raíces de la planta y disponibilidad de N en el suelo a los dos años. Los resultados indicaron que la mayor disponibilidad de agua no afecta la mineralización del N, pero la absorción de N fue más alta cuando hubo mayor disponibilidad de agua. También se mostraron que los depósitos de N inorgánico eran 2 a 4 veces más bajos con el aumento de agua. La lixiviación de N de las raíces fue mayor en seco que en húmedo debido a su la alta disponibilidad. El incremento de la disponibilidad de agua afectó relativamente a la reducción de tasas NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. La acumulación de N inorgánico durante la sequía fue el resultado de una disociación entre la actividad microbiana y vegetal, se sugiere que el ciclo del nitrógeno es más abierto en años secos que en años húmedos.

Snyman (2001) dice que aplicar cantidades mayores de nitrógeno (N) en praderas nativas puede ser más económico, que en un período de varios años, investigaciones demostraron que a tasas más bajas no hay acumulación de N dentro del suelo. Mientras Nyren (1979) menciona un estudio en la Estación de Investigación de Swift Current en Canadá donde demostró que más de 355 libras (165 kg aprox.) por acre (1 acre es 0.404 hectárea aprox.) de nitrógeno dio mayores rendimientos debido al residual que se mantuvo hasta 8 años después de la aplicación en praderas nativas.

Aydin & Uzun (2005) encontraron un rendimiento de materia seca de 1467 kg ha<sup>-1</sup> en el control, 3293 kg ha<sup>-1</sup> en la parcela de 180 kg de nitrógeno y sin fósforo, mejorando la producción de materia seca. El nitrógeno disminuyó ligeramente el contenido de proteína a 120 g kg<sup>-1</sup> en el control a 103-116 g kg<sup>-1</sup> en las parcelas fertilizadas con nitrógeno, esto debió a una disminución del porcentaje de leguminosas de 4.7 por ciento en parcelas no fertilizadas y 5 por ciento en parcelas con alta fertilización de nitrógeno, siendo la concentración de proteínas mayor en leguminosas que en las cespitosas.

### **2.3.2. Fósforo**

Elemento primario en la nutrición de plantas asociado a la división celular, aporta energía durante la fotosíntesis y el transporte de carbohidratos, facilita la formación rápida y crecimiento de las raíces, estimula la formación de semillas, promueve el vigor a los cultivos para defenderse del invierno y regulador principal de todos los ciclos vitales de las plantas. Se absorbe por las raíces en la forma de HPO<sub>4</sub><sup>-</sup> y H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, entrando a las diferentes rutas metabólicas cuando ingresan al citoplasma celular; es un elemento muy móvil a través de las vías del simplasto y apoplasto. El requerimiento a concentración fisiológica de biomasa aérea de fósforo fue de 2 g kg<sup>-1</sup> (Marschner 2012).

Aydin & Uzun (2005) menciona que la adición de fósforo compensa el efecto negativo de la fertilización solo con nitrógeno en la calidad del forraje, ya que muestra una mayor concentración proteica. También encontraron un óptimo económico con dosis altas de nitrógeno y fósforo, obteniendo 4810 kg ha<sup>-1</sup> de materia seca, 124 g kg<sup>-1</sup> de proteína y 12 por ciento de leguminosas. El déficit en fósforo con niveles por debajo de lo requerido es conocido en pastizales de Cerro de Pasco (Florez & Bryant 1989), mientras otros estudios indican que para promover la fijación (por bacterias y micorrizas) y disponibilidad de nitrógeno es necesario el fósforo (Pahuara & Zuñiga 2001).

Craine *et al.* (2008) hicieron estudios de fertilización en 5 zonas distintas de pastizales por suelo y precipitación con una fertilización de nitrógeno (N) y fósforo (P) de 10 g m<sup>-2</sup> y 5 g m<sup>-2</sup> respectivamente; encontrando que la relación N:P en todas las parcelas no fertilizadas indica una limitación de nitrógeno, la producción de biomasa esta co-limitada consistentemente por el nitrógeno y fósforo. También mencionan que la producción aérea fue superior en áreas fertilizadas con nitrógeno y fósforo que las de nitrógeno solo a pesar que en el suelo la proporción N:P no limitaba al fósforo en las parcelas fertilizadas con nitrógeno, por lo que la comparación de la cantidad en sitios mostraba pequeños patrones entre la proporción N:P y respuesta relativa de nitrógeno y fósforo. También compararon con otros estudios en pastizales sugieren que la proporción N:P tiene poca capacidad de predecir la limitación en pastizales altoandinos. Concluyendo que la co-limitación entre nitrógeno y fósforo parece ser mucho más conocido de lo que se predijo a través de supuestos sencillos de la proporción N:P.

García (2016) sometió a la fertilización con nitrógeno, fósforo y encalado a sitios revegetados con *Festuca humilior*, y concluyó que la adición de nutrientes es fundamental para el éxito de la revegetación, por otro lado, los efectos del encalado se dan a largo plazo, no encontrando diferencias en la producción de biomasa aérea. Estos resultados sugieren la lenta movilización de nitrógeno y fósforo al utilizar una enmienda.

Aydin y Uzun (2003) dicen que la fertilización en pastizales con nitrógeno aumenta la biomasa, pero disminuye el porcentaje de leguminosas en la composición botánica, reduciendo la calidad del forraje. Los efectos negativos de la fertilización nitrogenada en el pastizal son contrarrestados con la aplicación de fósforo, obteniendo así dosis con un óptimo económico. Las dosis usadas fueron de 0, 60, 120 y 180 kg de nitrógeno por hectárea, mientras que para fósforo fue de 0, 26 y 52 kg de fósforo por hectárea, aplicando dosis cada año durante 3 años, a las doce parcelas en los cuatro bloques, evaluando la composición botánica de gramíneas y leguminosas en las 12 parcelas y en otro grupo la producción de biomasa en materia seca.

### 2.3.3. Potasio

Elemento primario en la nutrición de plantas de mayor importancia cuantitativa y cualitativa asociado con la división celular regulando la disponibilidad de los azúcares, interviene en los procesos de absorción de Ca, N y Na, y otorga vigor y resistencia contra las enfermedades y bajas temperaturas, ayuda a la producción de proteínas, se encarga del transporte de azúcares desde las hojas al fruto. Se absorbe por las raíces en la forma de  $K^+$ , entrando a las diferentes rutas metabólicas cuando ingresan al citoplasma celular, siendo un elemento muy móvil en las diferentes partes de la planta. Su requerimiento a concentración fisiológica de biomasa aérea de potasio es  $10 \text{ g kg}^{-1}$  (Marschner 2012).

Balabanli *et al.* (2010) fertilizaron nitrógeno (N) fósforo (P) y potasio (K) evaluó el rendimiento de algunas características en pastizales naturales, encontrando mayores rendimientos en áreas fertilizadas con nitrógeno que las no fertilizadas. El mayor rendimiento de materia seca se obtuvo  $1306 \text{ kg ha}^{-1}$  con  $N_{80}P_{40}K_{50}$  y  $1291 \text{ kg ha}^{-1}$ , con  $N_{80}P_{80}K_{50}$ , respectivamente. El contenido de proteína aumento en áreas fertilizadas con NPK, pero el contenido de fibra detergente neutra (FDN), fibra detergente ácida (FDA) y lignina detergente ácida (LDA) disminuyó, esto nos indica que los pastizales aumentaron su valor nutritivo.

Türk *et al.* (2007) realizaron un estudio fertilizando pastizales naturales con 5 niveles de nitrógeno (0, 50, 100 y  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y tres dosis de potasio diferentes (0, 50 y  $100 \text{ kg ha}^{-1}$ ), los efectos se midieron en las variables como materia seca, proteína cruda, tasa de celulosa bruta, tasa de ceniza bruta, magnesio, calcio, potasio y relación de tetania (relación de hipocalcemia e hipomagnesemia). Las dosis de nitrógeno aumentaron todas las variables mencionadas a excepción del magnesio que disminuyó. Las dosis de potasio aumento de la concentración de proteína cruda, la concentración de potasio y la relación de tetania, mientras que disminuyó la concentración de calcio y de magnesio. De acuerdo con los resultados de este estudio, el mayor rendimiento de materia seca en se obtuvo a partir de tratamientos con  $N_{150}K_0$  ( $9.93 \text{ g kg}^{-1}$ ) y  $N_{150}K_{50}$  ( $10.01 \text{ g kg}^{-1}$ ). El potasio está fuertemente relacionado con el transporte de energía a través del floema hacia regiones de almacenaje de la planta, por lo que puede ser necesaria su aplicación para promover formación de carbohidratos de reserva en macollos y semillas.

Liu *et al.* (2018) mencionan que la producción de gramíneas esta co-limitado por N, P y K,

con N y P como primeras limitantes. Por grupos funcionales los limitantes son: N y P para gramíneas, P para hierbas y NPK para los arbustos, con P como el nutriente más crítico en todos. La fertilización mineral de NPK puede ser usado para estimular el crecimiento de la planta y ser herramienta útil para recuperar especies leñosas en pastizales, y así contrarrestar el proceso de degradación del ecosistema.

Moir *et al.* (2010) mencionan que a más altas concentraciones de K en el suelo y en la fertilización, este nutriente se moviliza a las raíces y tallos del Rye Grass Italiano; también en sustratos con alta disponibilidad de K aunque no se fertilizó con el mismo, solo con niveles moderados de N la absorción de K es buena, caso contrario sucede en sustratos con disponibilidad de K reducida. Las concentraciones de Mg en los brotes se redujeron con una mayor entrada de K y con un mayor nivel inicial de K en el sustrato.

El ciclo del potasio en los sistemas de pastizales ha recibido poca atención en la investigación y la práctica en los últimos años. Los sistemas de nutrientes equilibrados requieren la consideración de otros nutrientes distintos del nitrógeno (N). El potasio (K) se necesita en grandes cantidades y está estrechamente relacionado con la nutrición con N. La productividad en ecosistemas terrestres como los pastizales, es limitado por los nutrientes del suelo. si bien el N es el determinante y clave para la producción primaria, este hoy en día se está asociando cada vez más fuerte con el P. La disponibilidad de NPK y micronutrientes afecta a una importante combinación de sitios de pastizales a nivel mundial, siendo el N limitante en sitios cuando la altitud sobre el nivel del mar aumenta. Sin embargo, hay que resaltar la importancia del K y micronutrientes que son los menos estudiados en la productividad de pastizales, apuntando a variaciones significativas en su productividad (Kayser & Isselstein 2005, Dougill *et al.* 1988).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El experimento se estableció en la unidad de producción Consac de la SAIS “Túpac Amaru” (con más de 200 000 hectáreas de tierras), ubicado en el paraje Mesapata, de la localidad de Canchayllo, provincia de Jauja, departamento de Junín (Figura 5).

El lugar se encuentra a 11° 57' 15.26'' latitud sur y 75° 42' 28.75'' longitud oeste, a una altitud de 4100-4500 msnm, cuya zona de vida pertenece a la tundra alpina tropical muy húmeda. La composición de rocas son dioritas, granodioritas y tonalitas de las unidades litológicas cenozoicas, stock del batolito costero y formaciones sedimentarias del cretácico.

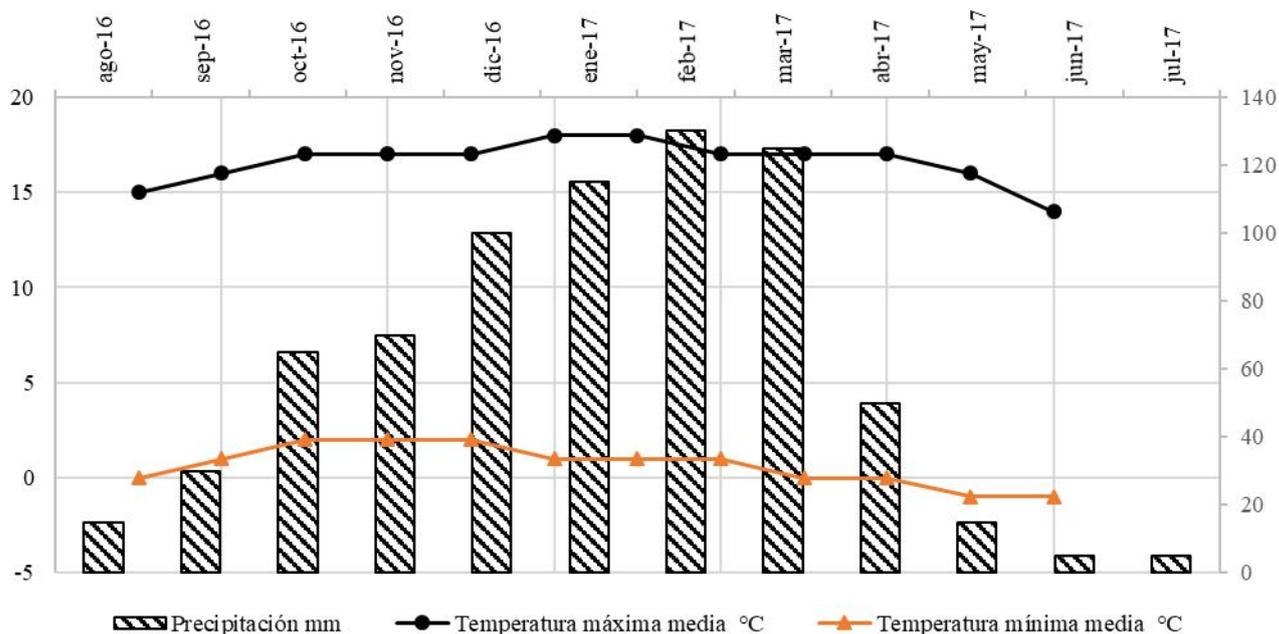
Las variables climáticas de temperatura máxima se reportaron los meses de enero y febrero del 2017 con 17 °C, mientras las temperaturas mínimas se reportaron en los meses junio y julio del 2017 con -1 °C; en tanto, la precipitación máxima se reportó en el mes de febrero del 2017 con 130 mm, mientras, las precipitaciones mínimas se reportaron en los meses de junio y julio del 2017 con 5 mm (Tabla 3). La curva de precipitaciones desciende en abril y asciende en setiembre, si bien las temperaturas mínimas son en junio y julio el descenso no es marcado, es por eso que la zona pertenece a un clima templado (Figura 4).

El pastizal fue un pajonal de condición buena, donde las especies predominantes fueron: *Festuca dolichophylla*, *Festuca humilior*, *Stipa brachiphylla*, *Calamagrostis antoniana*, *Calamagrostis vicunarium*, *Calamagrostis specifera*, *Jarava ichu* y *Anahelestipa hanns meyer*.

**Tabla 3. Temperaturas máximas, mínimas y precipitación en el distrito Pachacayo**

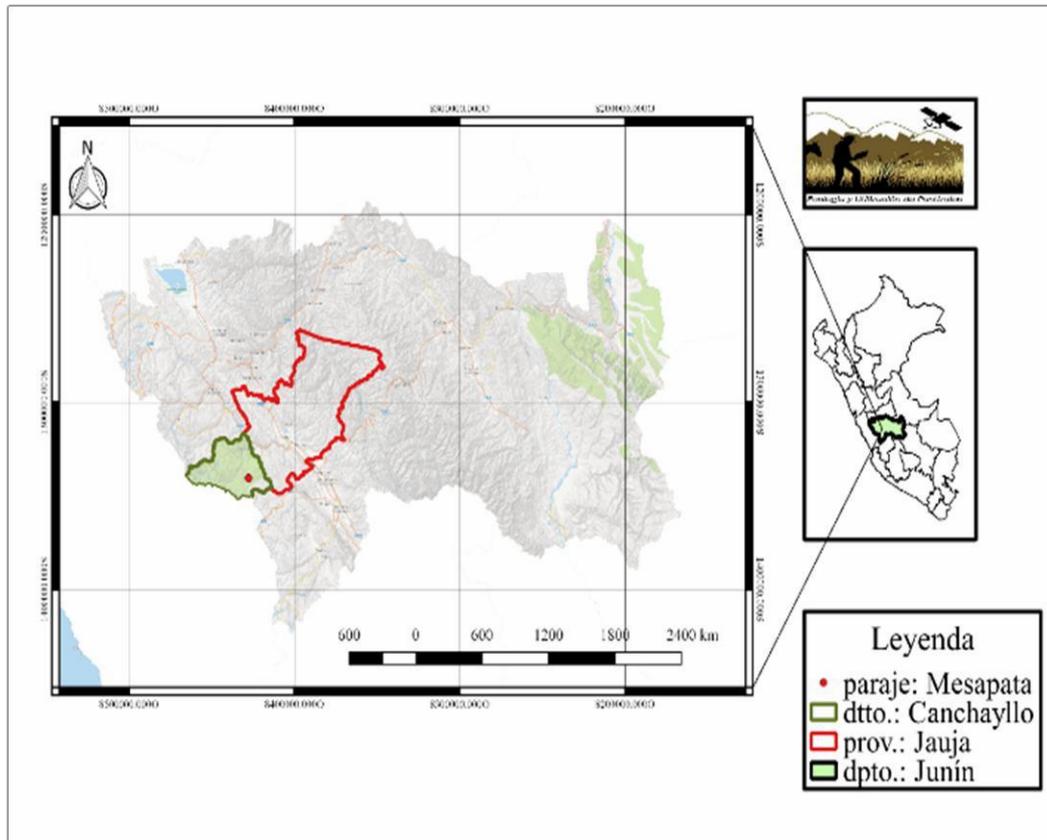
Mes	Temperatura máxima media °C	Temperatura mínima media °C	Precipitación mm
ago-16	15	0	15
sep-16	16	1	30
oct-16	17	2	65
nov-16	17	2	70
dic-16	17	2	100
ene-17	18	1	115
feb-17	18	1	130
mar-17	17	1	125
abr-17	17	0	50
may-17	17	0	15
jun-17	16	-1	5
jul-17	14	-1	5

FUENTE: Senamhi (2017)



**Figura 4. Dinámica de la precipitación y temperatura a través de los meses del año**

FUENTE: Adaptado Senamhi (2017)



**Figura 5. Mapa de ubicación del experimento.**

### 3.2. PROCESO DE REVEGETACIÓN

#### 3.2.1. Muestreo y análisis del suelo

Se identificó y muestreó 3 regiones del área experimental, luego se obtuvo una alícuota y esta se llevó a un análisis completo de caracterización del suelo. También se hizo 3 calicatas, donde se tomó la densidad aparente por el método de cilindros, resistencia mecánica con un penetrómetro cada 5 cm hasta los 30 cm de profundidad. (Schoeneberger *et al.* 2002).

Las propiedades físicas de suelo mostraron un 63 % de arena, 29.3 % de limo y 7.7 % de arcilla, definiéndose la textura como franco arenoso; en tanto, la densidad aparente fue 1.1 g/cm<sup>3</sup>, la porosidad fue 60.2 % y la resistencia mecánica fue 2.38 kg/cm<sup>2</sup>. En las propiedades químicas se encontró un 9.3 % de materia orgánica, considerado alto; pH de 5.3, considerado fuertemente ácido; conductividad eléctrica (CE) de 0.2 ds/m, considerado no salino; y capacidad de intercambio catiónico (CIC) de 34.7 meq/100 g, considerado de nivel medio; mientras, la suma de cationes fue 17.2 meq/100 g, la suma de bases fue 17.1 meq/100 g y el porcentaje de saturación de bases (PSB) fue 49.3 % (Tabla 4). La capacidad de campo fue

25.12±1.92 %, esta es típica de un suelo franco arenoso con alto contenido de materia orgánica, entonces el punto de marchitez aproximado es de 14.50 %. Las categorizaciones para cada variable se hicieron de acuerdo con lo referido en Schoeneberger *et al.* (2002).

**Tabla 4. Propiedades físicas y químicas del suelo del área de estudio**

Propiedades físicas		Propiedades químicas	
Textura	Franco arenoso	Materia orgánica	9.30%
Arena	63%	PH	5.3
Limo	29.30%	CE	0.2 ds/m
Arcilla	7.70%	CIC	34.7 meq/100 g
Densidad aparente	1.1 g/cm <sup>3</sup>	Suma de cationes	17.2 meq/100 g
Porosidad	60.20%	Suma de bases	17.1 meq/100 g
Resistencia Mecánica	2.38 kg/cm <sup>2</sup>	PSB	49.30%
		Potasio	244.33 ppm
		Fósforo	9.60 ppm

Se encontraron ligeras deficiencias en los niveles de nitrógeno y fósforo, mientras los niveles de potasio fueron altos; aun así, los niveles encontrados de nitrógeno y fósforo fueron los recomendados en especies de pastizales nativos (Nyren 1979).

**Tabla 5. NPK en el área de experimentación**

Nutriente	Cantidad (kg/ha)
N	52.64±2.79
P	20.78±2.83
K	518.76±68.75

El potasio no parece ser elemento faltante, pero tenemos que tener en cuenta las relaciones catiónicas pueden estar afectando la absorción y adsorción de este macronutriente (Brady & Weil 2002).

### 3.2.2. Preparación del sitio

El sitio donde se estableció el experimento es un pajonal de buena, cuya asociación fue de *Festuca humilior* y *Festuca dolichophylla*; la fisiografía es una colina ondulada, con paisaje circundante de montañas, valle glacial y depresiones. Antes de implementar la revegetación, se procedió a perturbar el sitio simulando labores culturales como el roturado y eliminó todo material vegetal (preparación de terreno) en un área de 2500 m<sup>2</sup>.

### 3.2.3. Material vegetal

Los esquejes de *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* (Tabla 6) utilizados en la revegetación fueron extraídos de pastizales de condición buena, ya que la resiliencia de estos sitios a la perturbación de suelo expuesto es superior, por lo que no afecta a su función ecológica. Los pasos que se tuvieron en cuenta fueron:

- Se evaluó la condición y densidad de plantas de los sitios seleccionados para la obtención de esquejes.
- Se identificó apropiadamente las especies de *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* en los sitios donde se colecto los esquejes.
- Las matas extraídas fueron de gran cobertura basal, verdes y con inflorescencias.
- La tasa de extracción de los sitios no fue mayor del 20%.
- Se rellenaron los “huecos” dejados por efecto de la extracción mecánica del material vegetal con mantillo (mulch), evitando la compactación por lluvia.
- La colección de las plantas fue uniforme en todo el sitio de extracción de esquejes.
- Se extrajo desde la base de la planta toda la mayor cobertura de raíz posible.
- Se aseguró de eliminar las inflorescencias, hojas secas o muertas de la mata extraída.
- Se realizó un corte a 15 y 20 cm de la base de la raíz para *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* respectivamente, luego se separaron las matas en esquejes de 5 cm de diámetro aproximadamente.
- Se efectuó un plan de manejo y recuperación de la perturbación causada por la extracción de plantas, cercando los bancos de esquejes por dos años.

**Tabla 6. Características botánicas de las especies utilizadas en revegetación**

	<i>Festuca dolichophylla</i>	<i>Festuca humilior</i>
<b>Culmas (caña)</b>	50-70 cm	12-35 cm amarillenta cm
<b>Hoja (Lamina, ápice y lígula)</b>	Convoluta, agudo algo tubulado y ciliado (a veces la hoja bandera llega a la base de la panícula) 10-50 cm generalmente rectas	Convoluta, agudo y ciliado 10-35 cm generalmente dobladas en la parte distal
<b>Panícula</b>	9 -16 cm con pedicelos grabescentes	4- 12 (19) cm
<b>Glumas</b>	Superior 3.8-5 mm Inferior 3-3.5 (4) mm	Superior 2.5-5 mm Inferior 1.5-3 (3.5) mm
<b>Lema</b>	Superior 3.8-5 mm Inferior 6-7 cm	Superior --- Inferior 6- 7 mm
<b>Flósculo</b>	4-6 (7)	Máximo 3

FUENTE: Clayton *et al.* (2006) y Tovar y Oscanoa (2002)

### 3.2.4. Introducción y establecimiento

Se estableció dos áreas de 1000 m<sup>2</sup> para cada una de las especies *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior*, cada área se dividió en 25 unidades experimentales de 4x10 metros con 5 repeticiones (hilera) y 5 tratamientos (columna). La siembra del esqueje ocurrió al día siguiente de haber sido colectados y preparados, siendo el distanciamiento de 1 m entre esquejes (1 esqueje/m<sup>2</sup>). Los tratamientos fueron: testigo (T), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y nitrógeno-fósforo-potasio (NPK), donde la cantidad fue de 0-0-0, 200-0-0, 0-160-0, 0-0-100 y 200-160-100 de kg/ha de NPK respectivamente. La cantidad exacta de nutriente disponible para cada tratamiento se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7. Contenido de N, P, y K para cada tratamiento**

Tratamiento	N kg/ha	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg/ha	KO <sub>2</sub> kg/ha
T	52.64	20.78	518.76
N	252.64	20.78	518.76
P	52.64	180.78	518.76
K	52.64	20.78	618.76
NPK	252.64	180.78	618.76

Las fuentes de fertilización granulada fueron urea, fosfato triple y cloruro de potasio cuyas leyes son 46-0-0, 18-46-0 y 0-0-60 de NPK respectivamente. Estos fertilizantes son granulados de lenta liberación.

### 3.2.5. Manejo

La asignación de los tratamientos para cada parcela de *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* fue de manera que cada tratamiento ocupe una fila y una columna una vez (Figura 6). Los esquejes monitoreados mensualmente se encontraron dentro de los dos surcos centrales, y se tomaron desde el tercer esqueje de cada surco, así se evitó el efecto borde, las mediciones de temperatura y humedad se tomaron al costado de un esqueje por repetición. Las mediciones se tomaron durante 10 meses en los años 2016 y 2017.

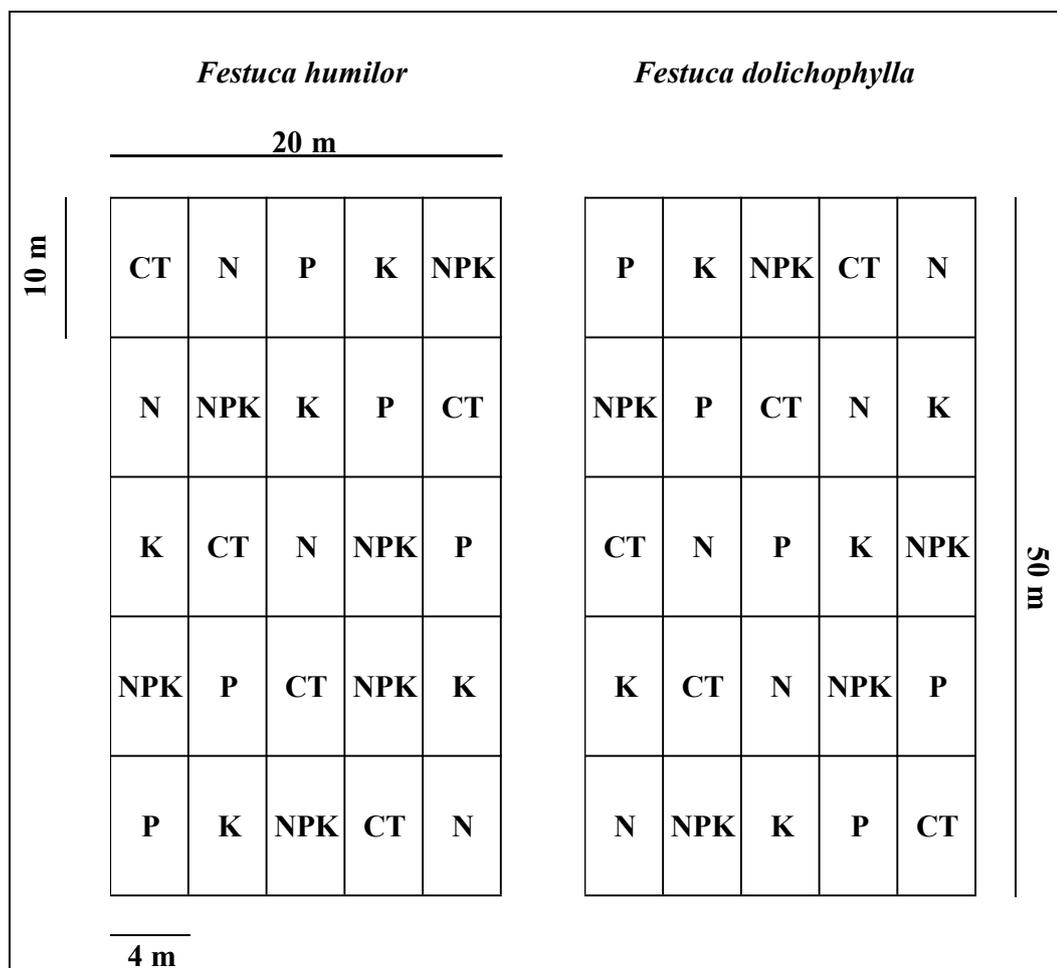


Figura 6. Plano de la distribución de tratamientos en el área experimental de Mesapata.

### 3.3. DEMANDA Y BALANCE DE NPK

La demanda se estimó haciendo un análisis de la parte aérea de las matas tanto para *Festuca dolichophylla* como *Festuca humilior*, que se asume como el promedio de nutrientes absorbidos del suelo por la mata. la demanda se llevó a kilogramos por hectárea teniendo a la producción de biomasa aérea como una variable clave, esta se tomó en función a la densidad de macollos establecidos en el experimento (1 macollo por metro cuadrado). la fórmula utilizada para la demanda fue la siguiente:

$$E = Bims \times ab$$

donde:

- E = Concentración de Nutriente en porcentaje
- Bims = Producción de biomasa aérea en base seca en kg/ha
- Ab = Coeficiente de absorción en porcentaje

La estimación de para el balance se hizo a través de la oferta del suelo y la demanda estimada en función a la densidad de revegetación utilizada.

### 3.4. ESTADOS FENOLÓGICOS

La toma de mediciones se realizaron al mes post plantación de esquejes, en la fase fenológica vegetativa, donde el indicador fue el prendimiento de macollos basales; mientras en la fase fenológica reproductiva, el indicador fue la presencia de macollos en floración y al termino de diseminación de semillas, algunas matas presentaron dormancia (Dalmasso, 1994).

### 3.5. AUTOECOLOGÍA Y RESPUESTA A LA ADICIÓN DE NPK

#### 3.5.1. Alometría

Los ecologistas proponen que el volumen y peso de biomasa están asociados para una misma especie, siendo la forma de crecimiento de especies relativamente constante si no se ha presentado perturbación en la mata, por lo cual sería fácil determinar el peso de las plantas a partir del volumen (Bonham 2013). El vigor de las plantas es representado por la variación del volumen a cada período de evaluación (Weaver y Darlan, 1947). Se tomó con una regla milimetrada las siguientes medidas de altura (hasta la hoja bandera), diámetro de macollo basal y diámetro de canopia por planta. Para determinar el volumen de las matas se utilizó la siguiente formula:

$$V = \frac{R + r^2}{2}$$

donde:

- V = Volumen de la mata
- h = Altura de la mata
- R = Radio mayor de la mata
- r = Radio menor de la planta

$$\times \pi \times h$$

### **3.5.2. Número macollos, florales y muertos**

Los esquejes tienen suficiente tejido meristemático para estimular el crecimiento de macollos nuevos, así que la respuesta del esqueje se refleja en el número de macollos que emergen por planta. Se contó manualmente los macollos vivos y muertos de toda la mata, también los macollos con inflorescencias (Tabla 8). La floración y mortalidad de los macollos se estimó en porcentaje mediante la apreciación visual y conteo directo, donde la observación de esquejes senescentes y/o marchitos se consideró como “muertos” (Gillen & Tate 1993, Lewis 1963).

### **3.5.3. Medición de la tasa de transpiración**

La tasa transpiración se midió en  $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (milimoles por metro cuadrado por segundo) utilizando un porómetro DECAGON DEVICES que utiliza la técnica de estado estacionario, esta mide la presión de vapor y el flujo de vapor sobre la superficie de la hoja. Previamente se calibró el porómetro a las condiciones ambientales del lugar de estudio. Se efectuó medidas en 2 hojas por planta en 2 plantas por repetición, las medidas se tomaron entre de 8:00 am a 10:00 am del día (Tabla 8).

### 3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

#### 3.6.1. Modelo estadístico

##### a) Modelo I: autoecología

El modelo utilizado tuvo como tratamiento a las dos especies *Festuca humilior* y *Festuca dolichophylla* y como bloque a la gradiente de pendiente del terreno donde se establecieron las sub parcelas. la unidad experimental fueron las sub parcelas y la unidad observacional fueron las matas. Los análisis estadísticos se hicieron transversales de acuerdo a la precipitación pluvial (inicio de precipitación, máxima precipitación y mínima precipitación). Las variables para la auto ecología las variables analizadas fueron: altura, volumen, numero de macollos, porcentaje de macollos florales, porcentaje de macollos muertos y transpiración. El primer modelo fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + B_j + S_i + \mathcal{E}_{ij}$$

$$i = 1,2 \quad j = 1,2,3,4,5$$

Donde:

$Y_{ijklm}$  = Variablerespuesta

$B_j$  = Bloque (fijo)

$S_i$  = Especie (fijo)

$\mathcal{E}_{ij}$  = Residual

##### b) Modelo II: adición de NPK

El modelo utilizado fue de bloques completamente randomizado. Se tuvo como como un factor a las especies *Festuca humilior* y *Festuca dolichophylla*, y el otro factor fueron las asignaciones de fertilizante fueron control (CT), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y nitrógeno-fósforo-potasio (NPK), con lo que se tuvieron 10 tratamientos. Se consideró a la especie como parcela, que tuvo 5 réplicas o bloques de acuerdo a la gradiente de pendiente del área experimental, donde se distribuyeron las asignaciones de fertilizantes haciendo un total de 25 sub parcelas; la evaluación fue al inicio de la precipitación en el mes de dic-16. Las unidades observacionales fueron 5 matas por sub parcela. Las variables respuestas en la adición de NPK fueron: altura, volumen, número de macollos basales, porcentaje de macollos florales, porcentaje de macollos muertos y tasa de transpiración. El segundo modelo fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \mathcal{E}_{ij}$$

$$i = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10 \quad j = 1,2,3,4,5$$

Donde:

$Y_{ij}$  = Variable respuesta

$B_j$  = Bloque (fijo)

$T_i$  = Tratamiento (fijo)

$\mathcal{E}_{ij}$  = Residual

### 3.6.2. Comparaciones de demanda y balance de NPK

La prueba de diferencia límite de significancia (LSD) se utilizó para comparar la concentración de NPK entre ambas especies. Las réplicas utilizadas por especie fueron 3 matas extraídas en el mes de julio del 2017.

### 3.6.3. Comparaciones de contrastes ortogonales en la adición NPK

Los nueve contrastes de las comparaciones fueron: *Festuca humilior* vs *Festuca dolichophylla*, control versus fertilizado en *Festuca humilior* y control versus fertilizado en *Festuca dolichophylla* para cada nutriente y en conjunto el NPK. Los promedios y desviaciones estándar se ajustaron utilizando *lsmeans* para cada comparación de los contrastes. Los valores porcentuales fueron analizados con una transformación arcoseno.

**Tabla 8. Variables medidas en la planta y el suelo**

medidas en la vegetación (5 plantas por repetición)				
Variable	Instrumento de medición	Unidad de medida	Frecuencia de muestreo	período de evaluación
Altura a la hoja bandera	wincha	Centímetro		
Número de macollos	manual	unidad		
Número de macollos florales	manual	unidad	Mensual	
Número de macollos muertos	manual	unidad		2 años
Transpiración	porómetro	mmol m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup>		
Número de esquejes muertos	manual	unidad	Anual	
Nutrientes absorbidos	Concentración de NPK	%	Anual	1 año

El software R Project for Statistical Computing 3.4.3 fue utilizado en el presente experimento, con las siguientes librerías agricolae, nlme, effects y lsmeans.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. DEMANDA N, P, K

El estudio muestra un requerimiento mayor del nitrógeno con  $36.9 \pm 4.3$  y  $35.6 \pm 3.7$  kg ha<sup>-1</sup> y menor del fósforo con  $2.2 \pm 0.3$  y  $1.5 \pm 0.2$  kg ha<sup>-1</sup> en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* respectivamente, sin evidenciar diferencias estadísticas. Por otro lado, el potasio con  $31.7 \pm 4.7$  y  $18.2 \pm 4.0$  kg ha<sup>-1</sup> en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* respectivamente, sí evidenció diferencias estadísticas como se muestra en la tabla 9.

**Tabla 9. Demanda de NPK y materia seca (kg ha<sup>-1</sup>).**

Especie	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Materia seca
Fedo	$36.93 \pm 4.3^a$	$2.23 \pm 0.3^a$	$31.68 \pm 4.7^a$	$477.6 \pm 62.90^a$
Fehu	$35.55 \pm 3.7^a$	$1.50 \pm 0.2^a$	$18.19 \pm 4.0^b$	$410.2 \pm 15.40^b$

*Festuca dolichophylla* (Fedo) y *Festuca humilior* (Fehu)

La materia seca encontrada asumiendo una mata por metro cuadrado fue  $477.6 \pm 62.90$  y  $410.2 \pm 15.40$  kg ha<sup>-1</sup> en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* respectivamente, donde sí también se evidenció diferencias estadísticas (p-valor < 0.05). La evaluación se hizo a los 17 meses post plantación de los esquejes.

Los resultados de requerimiento de nitrógeno en pastizales mencionados por otros autores coinciden con los resultados obtenidos (Balogianni *et al.* 2014, Brown 2003), sin embargo, hay que tener en cuenta que los requerimientos obtenidos por la investigación fueron en gramíneas como individuos en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior*, y no en comunidades de vegetación (Figura 7).

Craine *et al.* (2008) recomiendan más o menos de 5 a 10 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo en pastizales, requerimientos mayores a los encontrados en nuestro estudio. Los requerimientos nutricionales de fósforo menores a 2 kg encontrados en el estudio quizá se deben al estado

fenológico en el que fue colectado la muestra, pues ya el fósforo fue movilizado a las semillas para que estas sean viables (Figura 7).

El potasio es un elemento fundamental para el cuajado de semillas (Marschner 2012), en el estudio se observó una clara diferencia de la demanda de potasio a favor de *Festuca dolichophylla*. (Figura 7).

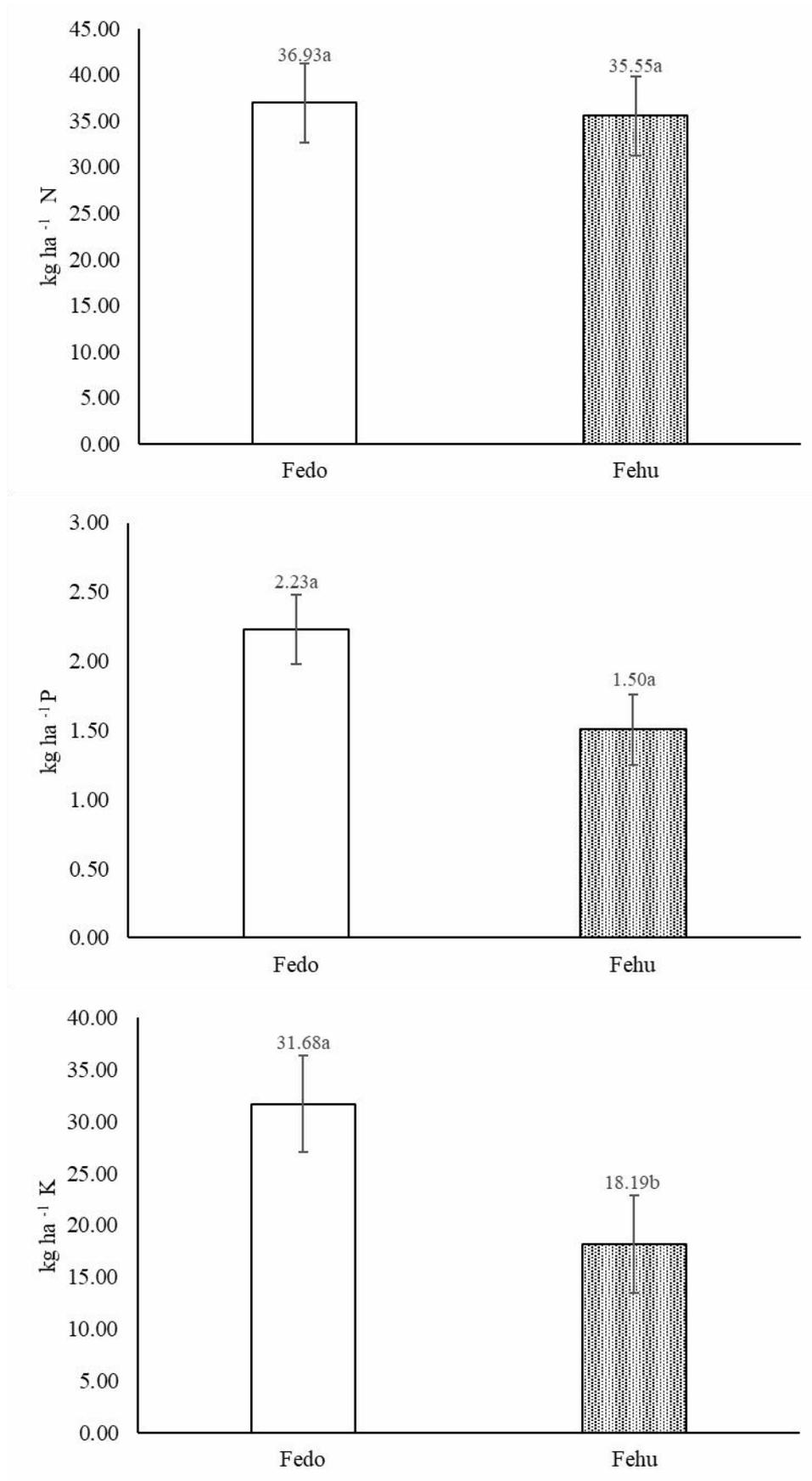
**Tabla 10. Balance de NPK (kg ha<sup>-1</sup>) en el área revegetada**

Nutriente	Oferta	Demanda Fedo	Demanda Fehu	Balance Fedo	Balance Fehu
N	52.64	36.93	35.55	15.71	17.09
P	20.78	2.23	1.5	18.55	19.28
K	518.76	31.68	18.19	487.08	500.57

*Festuca dolichophylla* (Fedo), *Festuca humilior* (Fehu)

El balance de NPK para *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* fue positivo en las parcelas donde se plantaron los esquejes (Tabla 10), sin embargo, la respuesta a la adición de NPK tuvo impacto como haremos mención en los siguientes ensayos.

La menor concentración de fósforo en la dormancia es debido a la movilidad de este elemento en las distintas partes de las plantas en especies con mayor capacidad de floración (Marschner 2012), como la *Festuca humilior*. Queda demostrado que para estimar la demanda de macronutrientes como el fósforo hay que colectar la mata en su integridad o antes de que esta se desprenda de las semillas, de lo contrario estaríamos sub estimando la demanda.



**Figura 7. Comparación de los requerimientos nutricionales de *Festuca dolichophylla* (Fedo) y *Festuca humilior* (Fehu).**

## 4.2. VARIABLES EVALUADAS

Los indicadores autoecológicos en los esquejes revegetados fueron medidos en meses claves de acuerdo a la precipitación pluvial en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior*. El inicio por encima de los 100 mm fue en diciembre de 2016 (inicio de precipitación) promoviendo el crecimiento de las matas, mientras el pico máximo se evidenció en el mes de febrero del 2017 (máximo de precipitación) y pico más bajo fue el mes de julio del 2017 (mínimo de precipitación).

### 4.1.1. Altura a la hoja bandera

La mayor altura a la hoja bandera fue encontrada luego de los meses de precipitación con  $33.90 \pm 1.18$  cm y  $21.52 \pm 1.18$  cm en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* respectivamente. Se encontraron diferencias estadísticas de la altura a la hoja bandera a favor de *Festuca dolichophylla* en los meses evaluados (Tabla 11).

Al inicio de la precipitación se observó las hojas rectas en ambas especies, luego *Festuca humilior* distiende sus hojas convolutas, disminuyendo la altura a la hoja bandera de la misma; mientras que la hoja de *Festuca dolichophylla* permanecen rectas durante todo su estado fenológico (Figura 8). Tovar (2002) menciona que la altura a la hoja bandera de *Festuca dolichophylla* es mayor que *Festuca humilior* como nos muestra el estudio.

García (2016) menciona una la altura a la hoja bandera de  $23.48 \pm 6.60$  cm, mientras Tácuna (2015) reporta 64.90 cm en *Festuca humilior*; los resultados del estudio son similares a los de García, mientras los resultados de Tácuna son claramente superiores. Probablemente el ecotipo reportado sea diferente.

Medina (2013) reporta una altura a la hoja bandera de 48.25 cm y Tovar (2020) dice que la altura a la hoja bandera es 50-70 cm en *Festuca dolichophylla*. La diferencia con el estudio se deba probablemente a la edad o ecotipo evaluado por los otros autores o al momento post-plantación de los esquejes.

**Tabla 11. Comparación de altura a la hoja bandera (cm)**

Estado fenológico	Fedo	Fehu	P- valor	Significancia
<b>Inicio de pp (dic-16)</b>	24.69±1.15	19.53±1.15	0.034	*
<b>Plena pp (feb-17)</b>	28.33±0.90	17.71±0.90	0.001	**
<b>Plena seca (jul-17)</b>	33.90±1.18	21.52±1.18	0.002	**

*Festuca dolichophylla* (Fedo); *Festuca humilior* (Fehu); Precipitación (pp)

#### 4.1.2. Volumen de la mata

El mayor volumen de la mata fue encontrado en luego de los meses de precipitación con  $1326.51 \pm 182.49 \text{ cm}^3$  y  $399.89 \pm 182.49 \text{ cm}^3$  en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* respectivamente, encontrándose diferencias estadísticas de la altura a la hoja bandera a favor de *Festuca dolichophylla* en los meses evaluados (Tabla 12).

Los volúmenes de 12 800 a 21 319  $\text{cm}^3$  reporta García (2016), mientras Tácuna (2015) reporta 20 595.30  $\text{cm}^3$  en *Festuca humilior*; los volúmenes obtenidos en el estudio son claramente menores, probablemente se deba a la edad post-plantación o al ecotipo evaluado por los otros autores.

**Tabla 12. Comparación de volumen ( $\text{cm}^3$ )**

Estado fenológico	Fedo	Fehu	P-valor	Significancia
<b>Inicio de pp (dic-16)</b>	539.75±42.33	321.65±42.33	0.022	*
<b>Máximo pp (feb-17)</b>	791.58±71.72	257.13±42.33	0.006	**
<b>Mínimo pp (jul-17)</b>	1326.51±182.49	399.89±182.49	0.023	*

*Festuca dolichophylla* (Fedo); *Festuca humilior* (Fehu); Precipitación (pp)

Luego de los meses de precipitaciones *Festuca dolichophylla* deriva toda su energía para el crecimiento por lo que se evidencia una altura a la hoja bandera y volumen de mata mayor al máximo de precipitación. También se evidenció al inicio de las precipitaciones que *Festuca humilior* deriva parte importante de su energía formar inflorescencias en sus macollos basales verdes (Figura 8).

*Festuca dolichophylla* tuvo más volumen debido a su altura y mayor área de canopia, haciendo que esta planta sea más competitiva por espacio y luz en una comunidad de pastizal. Mientras tanto, *Festuca humilior* tuvo menor volumen debido a su menor altura y menor área de la canopia, probablemente esta especie no tenga como característica la competencia

por espacio, sino otra estrategia evolutiva como la propagación de semilla botánica que discutiremos más adelante.

#### 4.1.3. Número de macollos basales

El mayor número de macollos basales fue luego de los meses de precipitación con  $58.38 \pm 3.77$  y  $66.98 \pm 3.77$  en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* respectivamente, no encontrándose evidencias estadísticas de diferencias, sin embargo, las diferencias numéricas fueron a favor de *Festuca humilior* (Tabla 13).

García (2016) si bien no menciona en sus resultados el número de macollos basales en sus anexos muestra una base de datos donde en número de macollos en *Festuca humilior* varia de 2 a 18 macollos; estando nuestros promedios dentro de este rango en ambas especies al inicio y en el máximo de precipitación.

**Tabla 13. Comparación de macollos basales (nro)**

Estado fenológico	Fedo	Fehu	P- valor	Significancia
Inicio de pp (dic-16)	$7.87 \pm 1.05$	$6.80 \pm 1.05$	0.51	NS
Plena pp (feb-17)	$7.51 \pm 1.19$	$8.69 \pm 1.19$	0.52	NS
Plena seca (jul-17)	$58.38 \pm 3.77$	$66.98 \pm 3.77$	0.182	NS

*Festuca dolichophylla* (Fedo); *Festuca humilior* (Fehu); Precipitación (pp)

Las gramíneas perennes tienen como estrategia de respuesta a la defoliación un mayor número de macollos basales (Blank *et al.* 2007), esta característica fue de manifiesta en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior*.

Los macollos basales en inicio y máximo de la precipitación son menores debido a que algunas especies como las gramíneas disparan su crecimiento al final del período de lluvias ya que no están sometidas a la saturación hídrica del suelo (Figura 8).

#### 4.1.4. Porcentaje de macollos florales

El mayor porcentaje de macollos florales fue el inicio de la precipitación con  $60.69 \pm 15.95$  en *Festuca humilior* y la máxima precipitación con  $32.86 \pm 7.36$  en *Festuca dolichophylla*, encontrándose evidencias estadísticas de diferencias en ambas especies en al inicio de la precipitación; mientras en los meses de máxima y mínima precipitación no se encontraron diferencias estadísticas, pero si numéricas a favor de *Festuca humilior* (Tabla 13). *Festuca*

*humilior* evidenció a lo largo del año presencia de macollos florales, por lo que al inicio de las precipitaciones rápidamente muchos de sus macollos basales tuvieron inflorescencias.

García (2016) reporta un porcentaje de macollos florales en *Festuca humilior* 74.13%, superior al encontrado, posiblemente debido a que evaluó matas de mayor a 2 años post-plantación de esqueje. El mayor porcentaje de macollos florales de *Festuca humilior* puede darle una mayor capacidad de propagación en la revegetación siempre en cuando los flósculos den semillas viables.

**Tabla 14. Comparación de macollos florales (%)**

Estado fenológico	Fedo	Fehu	P- valor	Significancia
<b>Inicio de pp (dic-16)</b>	15.58±10.95	60.69±15.95	0.04	*
<b>Plena pp (feb-17)</b>	32.86±7.36	34.53±7.36	0.88	NS
<b>Plena seca (jul-17)</b>	11.65±1.68	12.99±1.68	0.60	NS

*Festuca dolichophylla* (Fedo); *Festuca humilior* (Fehu); Precipitación (pp)

Los meses de máxima y mínima precipitación el porcentaje de macollos florales no evidencian diferencias estadísticas, La diferencia de macollos florales asociado con el inicio de la precipitación en la sierra peruana se debe a una capacidad adaptativa propia, ya que se observó que *Festuca humilior* inició rápidamente la floración (Figura 8).

#### 4.1.5. Porcentaje de macollos muertos

El porcentaje de macollos muertos encontrado en el máximo de precipitación fue de 67.14±7.36 y 65.47±7.36 en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* respectivamente, no encontrándose diferencias estadísticas, pero sí diferencias numéricas, siendo mayor la mortalidad en *Festuca dolichophylla*. El exceso de precipitación ocasiona que muchos de los nuevos macollos no prosperen inicialmente (Tabla 15).

García (2016) reportó un porcentaje de macollos muertos en *Festuca humilior* 9.34%, menor a los obtenidos en el estudio, probablemente fue debido a que la mata ya está establecida por eso reporta un menor porcentaje de macollos muertos.

**Tabla 15. Comparación de macollos muertos (%)**

Estado fenológico	Fedo	Fehu	P- valor	Significancia
Inicio de pp (dic-16)	--	--	--	--
Plena pp (feb-17)	67.14±7.36	65.47±7.36	0.88	NS
Plena seca (jul-17)	19.61±2.28	23.77±2.28	0.27	NS

*Festuca dolichophylla* (Fedo), *Festuca humilior* (Fehu)

La *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* muestran una mayor mortalidad en la máxima precipitación debido no toleran el exceso de humedad. Mientras *Festuca humilior* evidenció también una mayor mortalidad en los meses de mínima precipitación, evidentemente mostró un ciclo fenológico más corto (Figura 8).

#### 4.1.6. Tasa de transpiración

La mayor tasa de transpiración encontrada fue en la máxima precipitación con  $88.41 \pm 12.57$  y  $88.67 \pm 12.57$   $\text{mmol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* respectivamente, no encontrándose diferencias estadísticas en todos los meses evaluados, más si claras diferencias numéricas en el inicio de la precipitación a favor de *Festuca dolichophylla*, evidenciando que esta especie prolongó su ciclo fenológico (Tabla 16).

Los componentes claves en el balance hídrico de pastizales en zonas semiáridas es la tasa de transpiración de las plantas y evaporación del suelo, ya que de estos depende la producción de biomasa y retención de agua para la estación seca. La retención de agua juega un rol muy importante para la estación seca ya que de este depende la absorción de nutrientes y la continuidad de la producción de biomasa aun en suelos de baja fertilidad. (Borrelli & Oliva 2001). Probablemente *Festuca humilior* sea una especie más sensible al déficit hídrico, es por eso que en el inicio de la precipitación tiene una menor tasa de transpiración ya que recién está saliendo del período de dormancia.

Estudios realizados por Bremer *et al.* (1996) encontraron una transpiración de gramíneas cultivadas de porte alto están dentro del rango de  $200-300$   $\text{mmol m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , las mismas bajan su transpiración al ser sometidas a ambientes con alto contenido de  $\text{CO}_2$ . Mientras en nuestro estudio se encontraron tasa transpiraciones por debajo de lo que mencionan Bremer *et al.* (1996) tanto en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* para todos los meses evaluados, estas especies son nativas con estrategias adaptativas para soportar climas fríos y con inten-

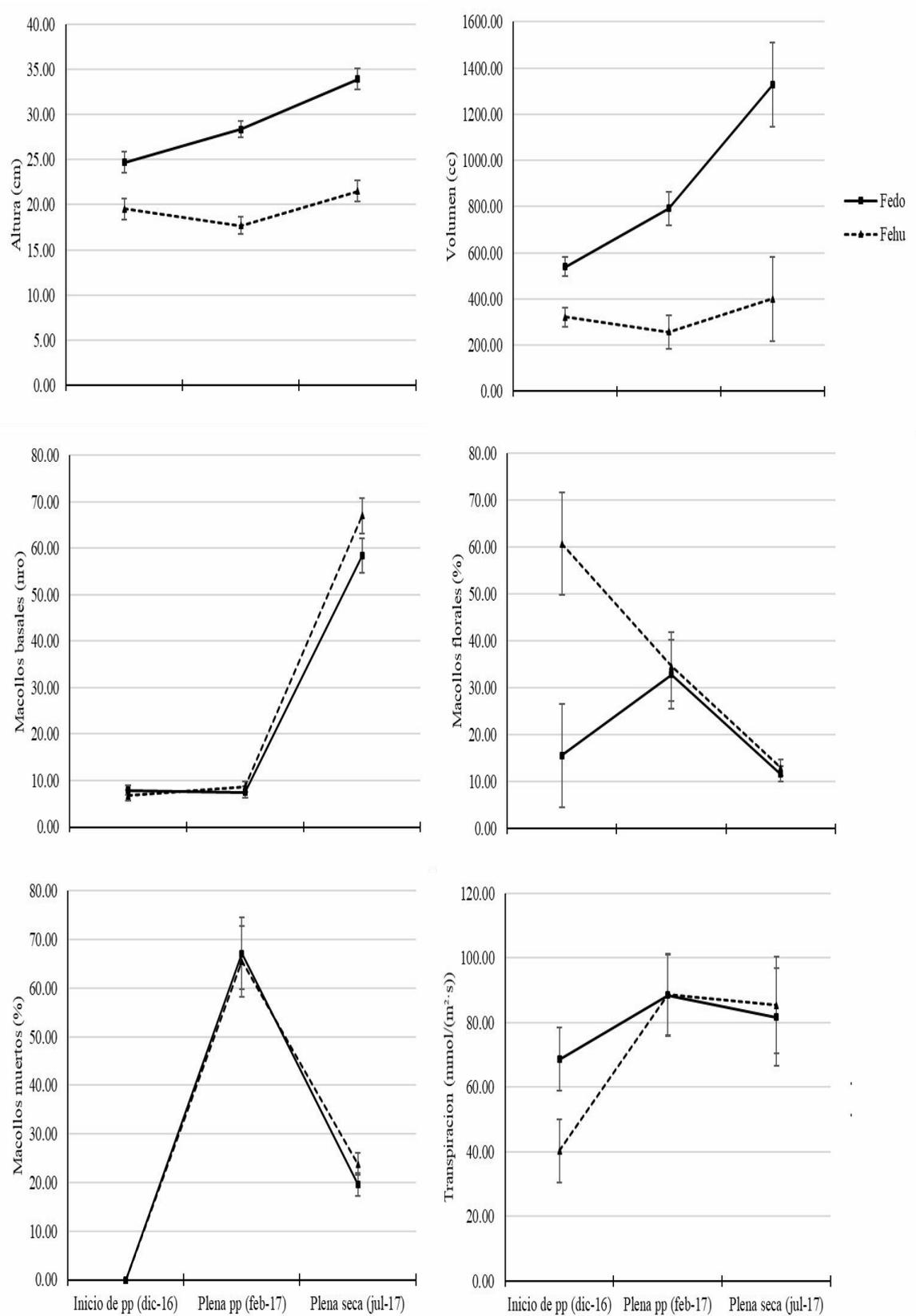
sas corrientes de viento donde las tasas de transpiración deben ser moderadas a bajas (Chapin 1987).

**Tabla 16. Comparación de tasa de transpiración (mmol/(m<sup>2</sup>·s))**

<b>Estado fenológico</b>	<b>Fedo</b>	<b>Fehu</b>	<b>P- valor</b>	<b>Significancia</b>
<b>Inicio de pp (dic-16)</b>	68.59±9.79	40.64±9.79	0.11	NS
<b>Plena pp (feb-17)</b>	88.41±12.57	88.67±12.57	0.99	NS
<b>Plena seca (jul-17)</b>	81.64±15.08	85.40±15.08	0.87	NS

*Festuca dolichophylla* (Fedo); *Festuca humilior* (Fehu); Precipitación (pp)

*Festuca humilior* al inicio de la precipitación presentó una menor tasa de transpiración que estuvo asociado con su corto ciclo fenológico, ya que recién en este período estimuló su crecimiento radicular y posteriormente restableció su tasa de transpiración (Figura 8).



**Figura 8. Indicadores autoecológicos de acuerdo a la precipitación en *Festuca dolichophylla* (Fedo) y *Festuca humilior* (Fehu).**

### 4.3. EFECTO DE LA ADICIÓN NPK

El estudio comparativo transversal al inicio de las precipitaciones fue el mes de diciembre del 2016, ya tenían un desarrollo radicular aceptable debido a una precipitación superior 100 mm y por ende se pueden aprovechar mejor los nutrientes disponibles en el suelo. Solo para el porcentaje de macollos muertos el estudio comparativo transversal fue en el mes julio del 2017 que tuvo un mínimo de precipitaciones.

#### 4.3.1. Nitrógeno

##### a) Volumen de la mata

La adición de nitrógeno no evidenció diferencias estadísticas en el volumen de la mata, encontrándose en *Festuca dolichophylla* promedios de  $666.42 \pm 106.67$  y  $539.75 \pm 106.67$  cm<sup>3</sup> en parcelas con nitrógeno y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron  $261.76 \pm 106.67$  y  $321.65 \pm 106.67$  cm<sup>3</sup> en parcelas con nitrógeno y control respectivamente (Tabla 17). Numéricamente ambas especies se comportaron de manera distinta a la adición de nitrógeno, siendo *Festuca dolichophylla* estimulada y *Festuca humilior* disminuida en crecimiento. La salinidad 32.2 (presión osmótica del nitrato de sodio) debida a la adición de urea probablemente tuvo un impacto en el menor crecimiento de *Festuca humilior*.

La relación N:P mencionado por Koerselman & Meuleman (1996) indica una limitación de nitrógeno cuando su valor es menor que 14, mientras si la relación es mayor a 16 la limitación es de fósforo, siendo la relación adecuada un valor entre 14 y 16. Probablemente las matas *Festuca dolichophylla* tienen una mayor habilidad de absorber nitrógeno y fósforo en balance del disponible en el suelo que *Festuca humilior* (Figura 9).

##### b) Altura a la hoja bandera

La adición de nitrógeno no evidenció diferencias estadísticas en la altura a la hoja bandera, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $26.88 \pm 1.57$  y  $24.69 \pm 1.57$  cm en parcelas con nitrógeno y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron  $18.57 \pm 1.57$  y  $19.53 \pm 1.57$  cm en parcelas con nitrógeno y control respectivamente (Tabla 17).

En un estudio de *Festuca humilior* en Marcapomacocha a 4415 msnm, García (2016) menciona una altura a la hoja bandera de  $23.48 \pm 6.60$  cm sin fertilización, y con fertilización de nitrógeno y fósforo (80-60-0) de  $29.42 \pm 7.10$  cm, encontrando diferencias estadísticas en ambos tratamientos; en tanto, los promedios encontrados en nuestro estudio no tuvieron diferencias tanto para las parcelas control y con nitrógeno (Tabla 17).

Tácuna (2015) encontró alturas a la hoja bandera de *Festuca humilior* de 64.90 y 44.20 cm para tratamientos con y sin materia orgánica respectivamente, encontrando diferencias en la altura a la hoja bandera cuando se adiciona materia orgánica. Estos promedios están por encima de los encontrados en el estudio (Figura 9) por lo que se presume sea una ecotipo propio del lugar de estudio de Cordillera Blanca distrito de Recuay, departamento de Áncash.

Medina (2013) en un estudio en Espinar Arequipa a una altura de 3928 msnm, menciona que altura a la hoja bandera para *Festuca dolichophylla* en tratamientos con abono de 48.25 cm, suelo orgánico de 27.77 cm, morrena 5.17 cm y en relave 5.64 cm; el promedio encontrado en nuestro estudio está por debajo de los abonados. El uso de nitrógeno aumenta la altura a la hoja bandera en *Festuca dolichophylla*, como queda demostrado por Medina (2013), coincidiendo con los resultados obtenidos en nuestro estudio donde se evidenció solo numéricamente mas no estadísticamente (Figura 9).

La ley del elemento faltante (Brady & Weil 2002), posiblemente explica el comportamiento de la respuesta al crecimiento en ambas especies, no estimulando de manera significativa una mayor la altura a la hoja bandera en ambas especies. Hay que tener en cuenta que los requerimientos varían por especie y estado fenológico (Bélanger *et al.* 2017).

La disponibilidad de agua juega un rol importante para el flujo del nitrógeno, por ende, el crecimiento de las gramíneas varía con las estaciones (Chapin 1987), *Festuca dolichophylla* tuvo mayor tasa de transpiración que *Festuca humilior*, puede considerarse como una estrategia adaptativa propia de la especie que la hace más dominante y competitiva de la luz solar.

### **c) Número de macollos basales**

La adición de nitrógeno no evidenció diferencias en el número de macollos basales, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $6.40 \pm 1.00$  y  $7.87 \pm 1.00$  en parcelas con nitrógeno y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron  $8.20 \pm 1.00$  y  $6.80 \pm 1.00$  en parcelas con nitrógeno y control respectivamente (Tabla 17). Numéricamente si se evidencio diferencias en la adición de nitrógeno, teniendo menor número de macollos basales en *Festuca dolichophylla*.

García (2016) si bien no menciona en sus resultados el número de macollos en sus anexos muestra una base de datos donde en número de macollos en *Festuca humilior* varia de 2 a 18 macollos; nuestros resultados promedio está dentro de este rango en tanto para *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* (Tabla 17).

Lafarge & Loiseau (2002) estudiaron el comportamiento de la densidad de macollos de gramíneas sometidas a la fertilización con nitrógeno encontrando mejores respuestas en plantas jóvenes que en plantas viejas; por lo tanto, el nitrógeno es un elemento fundamental que favorece el crecimiento de los meristemas apicales en tejidos jóvenes (Marschner 2012). La fertilización con nitrógeno no tuvo efecto en el desarrollo de los macollos en ambas especies, pero si evidenció mayor diferencias numéricas en *Festuca humilior*.

### **d) Porcentaje de macollos florales**

La adición de nitrógeno no evidenció diferencias en el porcentaje de macollos florales, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $27.92 \pm 9.35$  y  $15.58 \pm 9.35$  en parcelas con nitrógeno y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron  $64.64 \pm 9.35$  y  $60.69 \pm 9.37$  en parcelas con nitrógeno y control respectivamente (Tabla 17). Numéricamente ambas especies se comportaron de manera similar a la adición de nitrógeno, aumentando el porcentaje de macollos florales en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior*.

García (2016) encontró un porcentaje de macollos florales en *Festuca humilior* 74.13% en parcelas fertilizadas con nitrógeno y fósforo, estos resultados fueron menores a los encontrados en parcelas no fertilizadas donde encontró 79.92%, nuestro estudio encontró un promedio por debajo, probablemente por la edad de las matas.

Los macollos de gramíneas tienen dos fases de crecimiento, en la primera fase el crecimiento vegetativo del macollo, y durante la segunda fase de crecimiento los macollos principales desarrollan tallos con flores (Manske 2014), el nitrógeno favorece más a la primera etapa, siendo importante ya que se forman las estructuras del tallo y hoja (Marschner 2012). El estímulo del crecimiento de macollos basales a través de la fertilización disminuye el porcentaje de macollos florales, esto debido a que los recursos energéticos de la planta son desviados al crecimiento de macollos basales antes que los de floración (Marty *et al.* 2009); este comportamiento no se observó en ambas especies evaluadas.

#### **e) Porcentaje de macollos muertos**

La adición de nitrógeno no evidenció diferencias estadísticas en el porcentaje de macollos muertos, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $25.58 \pm 2.78$  y  $19.61 \pm 2.78$  en parcelas con nitrógeno y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron  $23.35 \pm 2.78$  y  $23.77 \pm 2.78$  en parcelas con nitrógeno y control respectivamente (Tabla 17). Numéricamente *Festuca dolichophylla* aumentó el porcentaje de macollos muertos cuando se adicionó nitrógeno a la parcela.

García (2016) encontró un porcentaje de macollos muertos en *Festuca humilior* 9.34% en parcelas fertilizadas con nitrógeno y fósforo, y en parcelas no fertilizadas encontró 11.30%; los promedios de nuestro estudio estuvieron por encima de los evaluados por García (2016), probablemente se deba al estado fenológico en cuando se evaluó, siendo nuestros resultados evaluados al inicio de la dormancia. En ambos estudios la adición de nitrógeno no tuvo efecto estadístico significativo en la mortalidad de macollos florales.

El exceso de nitrógeno puede promover un pobre desarrollo del sistema radicular, tejido blando, plantas débiles, retraso en la producción, rendimiento de baja calidad y mayor susceptibilidad a enfermedades y plagas (Marschner 2012), siendo *Festuca dolichophylla* la más susceptible.

### f) Tasa de transpiración

La adición de nitrógeno no evidenció diferencias estadísticas en la tasa de transpiración, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $61.36 \pm 7.81$  y  $68.58 \pm 7.81$   $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en parcelas con nitrógeno y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron  $37.54 \pm 7.81$  y  $40.35 \pm 7.81$   $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en parcelas con nitrógeno y control respectivamente (Tabla 17). Numéricamente *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* redujeron su tasa de transpiración a la adición de nitrógeno.

El nitrógeno es un regulador del flujo masivo de nutrientes a la raíz dependiendo de la distancia a la que se encuentra, mejora la eficiencia en el uso del agua y disponibilidad de otros nutrientes como el fósforo y potasio (Matimati *et al.* 2014). Tanto en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* se evidenció una menor transpiración, probablemente se deba a la disponibilidad de nitrógeno en la solución suelo.

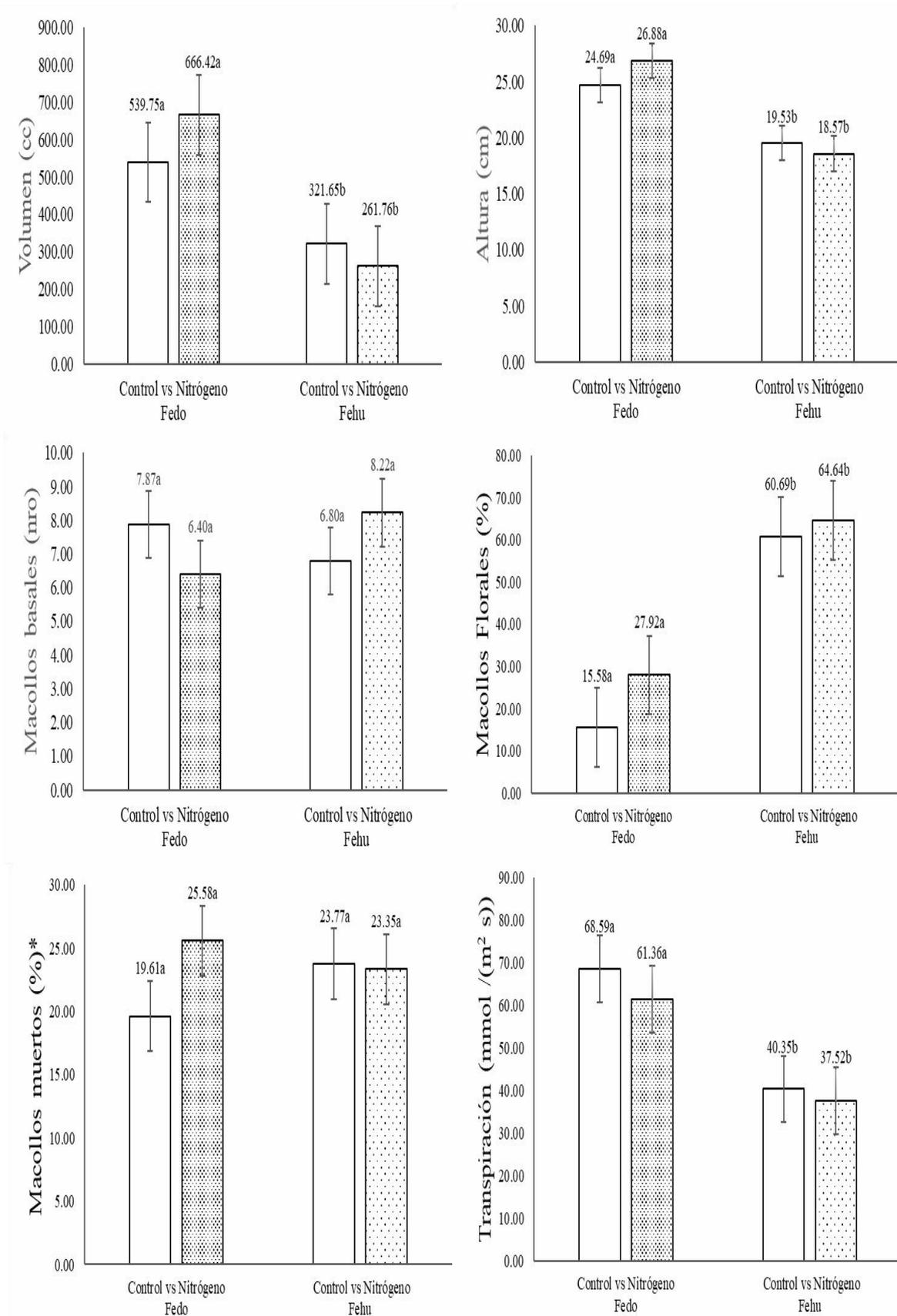
**Tabla 17. Efecto del nitrógeno en indicadores de crecimiento el mes de dic-16**

Variables	Fedo		Fehu		P-valor Contrastes	
	Control	Nitrógeno	Control	Nitrógeno	Fedo Control vs Nitrógeno	Fehu Control vs Nitrógeno
Volumen (cc)	539.75±106.67	666.42±106.67	321.65±106.67	261.76±106.67	0.41	0.69
Altura (cm)	24.69±1.57	26.88±1.57	19.53±1.57	18.57±1.57	0.33	0.67
Macollos (nro)	7.87±1.00	6.40±1.00	6.80±1.00	8.20±1.00	0.30	0.32
Macollos Florales (%)	15.58±9.35	27.92±9.35	60.69±9.35	64.64±9.35	0.36	0.77
Macollos Muertos (%)*	19.61±2.78	25.58±2.78	23.77±2.78	23.35±2.78	0.14	0.91
Transpiración ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	68.58±7.81	61.36±7.81	40.35±7.81	37.54±7.81	0.52	0.80

Fehu: *Festuca humilior*

Fedo: *Festuca dolichophylla*

\*julio-17



**Figura 9. Comparación de parcelas control con nitrógeno en el crecimiento de dic-16 para para *Festuca dolichophylla* (Fedo) y *Festuca humilior* (Fehu). \*jul-17**

## 4.3.2. Fósforo

### a) Volumen de la mata

La adición de fósforo no evidenció diferencias estadísticas en el volumen de la mata, encontrándose en *Festuca dolichophylla* promedios de  $667.21 \pm 106.6$  y  $539.75 \pm 106.67$  cm<sup>3</sup> en parcelas con fósforo y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron  $241.45 \pm 106.67$  y  $321.65 \pm 106.67$  cm<sup>3</sup> en parcelas con fósforo y control respectivamente (Tabla 18). Numéricamente ambas especies se comportaron de manera distinta a la adición de fósforo, siendo *Festuca dolichophylla* estimulada y *Festuca humilior* disminuida en crecimiento.

Los volúmenes reportados por García (2016) están en un rango de 12 800 a 21 319 cm<sup>3</sup> en *Festuca humilior*, son mayores a los encontrados en el estudio, probablemente se deba a un ecotipo distinto al que evaluó; también hace mención que la adición de fósforo en *Festuca humilior* tuvo una respuesta favorable, obteniendo matas de mayor volumen, si bien no fue de manifiesto en nuestro estudio, si se evidenció una respuesta numérica favorable en *Festuca dolichophylla*.

La relación N:P puede estar por debajo de 14, señalando déficit de nitrógeno en *Festuca humilior* (Koerselman y Meuleman 1996), por lo que manifiesta un menor volumen en parcelas con adición de fósforo. *Festuca dolichophylla* probablemente sea más eficiente en la absorción balanceada de nutrientes por lo que se evidencia un incremento numérico en el volumen cuando se le adicionó fósforo.

El fósforo se moviliza en el suelo a través de difusión (Brady & Weil 2002) siendo su aprovechamiento lento en plantas de menor desarrollo radicular, probablemente *Festuca humilior* tienen un menor desarrollo radicular en el inicio de las precipitaciones que *Festuca dolichophylla* por lo que no aprovecho la adición de fósforo (Figura 10), esto también queda de manifiesto en el estudio autoecológico pues *Festuca humilior* evidenció una baja tasa de transpiración observándose que esta especie entra en dormancia efectiva y recién promueve el crecimiento de sus raíces al inicio del período de lluvias.

### **b) Altura a la hoja bandera**

La adición de fósforo no evidenció diferencias estadísticas en la altura a la hoja bandera, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $26.57 \pm 1.57$  y  $24.69 \pm 1.57$  cm en parcelas con fósforo y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron  $18.01 \pm 1.57$  y  $19.53 \pm 1.57$  cm en parcelas con fósforo y control respectivamente (Tabla 18).

La *Festuca humilior* según García (2016) tuvo alturas a la hoja bandera de  $23.48 \pm 6.60$  cm sin fertilización, y con fertilización de nitrógeno más fósforo (80-60-0) de  $29.42 \pm 7.10$  cm, teniendo efecto significativo sobre la altura, la fertilización conjunta de nitrógeno y fósforo. Otro aspecto a tener en cuenta es contenido de fósforo el suelo de nuestro estudio fue 15.30 ppm en parcelas no fertilizadas y en Marcapomacocha fue 14.30 ppm en parcelas fertilizadas, por lo que el balance del fósforo satisface las necesidades de ambas especies.

El fósforo contribuye a la elongación de los tallos siempre en cuanto se tenga nitrógeno disponible en el suelo (Fay *et al.* 2015), solo fue de manifiesto en *Festuca dolichophylla* probablemente debido a que esta especie no entro en dormancia en la época seca y este absorbiendo constantemente nutrientes del suelo.

Las gramíneas nativas no incrementan la absorción de fósforo a medida que incrementa la concentración de este en el suelo (O'Connor *et al.* 1986), probablemente este sea el caso de *Festuca humilior* por lo que no evidenció un incremento en la altura a la hoja bandera.

### **c) Número de macollos basales**

La adición de fósforo no evidenció diferencias estadísticas en el número de macollos basales, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $7.40 \pm 1.00$  y  $7.87 \pm 1.00$  en parcelas con fósforo y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron  $6.84 \pm 1.00$  y  $6.80 \pm 1.00$  en parcelas con fósforo y control respectivamente (Tabla 18). García (2016) menciona un rango del número de macollos para *Festuca humilior* de 2 a 18 macollos, estando nuestros resultados dentro de este rango en tanto para *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* (Figura 10).

La acumulación de fósforo en macollos es fundamental para favorecer el crecimiento y desarrollo de las raíces (Marschner 2012), teniendo así una mayor propagación de basales en la corona de gramíneas (O'Connor *et al.* 1986); probablemente no sea el caso de *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior*, pues no mostraron diferencias estadísticas del número de macollos cuando se adicionó fósforo (Figura 10).

#### **d) Porcentaje de macollos florales**

La *Festuca dolichophylla* mostró un porcentaje de macollos florales promedio de  $15.58 \pm 9.35$  y  $16.43 \pm 9.35$  en parcelas control y con adición de fósforo respectivamente, mientras que *Festuca humilior* mostró un promedio de  $60.69 \pm 9.35$  y  $55.12 \pm 9.35$  en parcelas control y con adición de fósforo respectivamente (Tabla 18), sin diferencias estadísticas, pero si numéricamente evidentes a favor de las parcelas control en *Festuca humilior*.

García (2016) menciona un porcentaje de macollos florales en *Festuca humilior* de 74.13% en parcelas fertilizadas nitrógeno y fósforo, mientras en parcelas no fertilizadas el porcentaje fue de 79.92%, con diferencias estadísticas comprobadas. En la fenología de las gramíneas nativas la primera etapa es el crecimiento de estructuras, mientras la segunda etapa es la floración, siendo solo los macollos principales los que desarrollan macollos florales (Manske 2014), el fósforo actúa tanto primera etapa como a la segunda, ya que hay un coste energético para movilizar nutrientes a los tejidos de almacenamiento (Brady & Weil 2002), la no congruencia con los resultados obtenidos por García (2016) nos presume que hay un tercer elemento fundamental que favorece la floración de los macollos, y este probablemente sea el potasio.

La adición de fósforo en *Festuca humilior* tuvo una disminución en el porcentaje de macollos florales como se muestra en la figura 10, probablemente se deba a la ley del elemento faltante (Brady & Weil 2002). Mientras *Festuca dolichophylla* no evidenció diferencias evidentes en sus valores, esta especie tiene mayor capacidad de absorción de otros nutrientes.

#### **e) Porcentaje de macollos muertos**

La adición de fósforo no evidenció diferencias estadísticas en el porcentaje de macollos muertos, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $19.72 \pm 2.78$  y

19.61±2.78 en parcelas con fósforo y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron 29.23±2.78 y 23.77±2.78 en parcelas con fósforo y control respectivamente (Tabla 18). Numéricamente *Festuca humilior* aumentó el porcentaje de macollos muertos a la adición de fósforo.

García (2016) menciona un porcentaje de macollos muertos en *Festuca humilior* 9.34% en parcelas fertilizadas con nitrógeno y fósforo, y en parcelas no fertilizadas 11.30%. Ambos resultados son menores a los obtenidos en el estudio, ya que nuestras parcelas fueron evaluadas al inicio de la dormancia, donde ya muchos macollos basales están muriendo.

Numéricamente hubo una mayor mortalidad de macollos basales al inicio de la dormancia *Festuca humilior* en parcelas con adición de fósforo; probablemente no esté asociado al fósforo ya que las plantas necesitan más fósforo durante las fases de germinación, clonación y floración, por lo tanto, es el elemento esencial para el inicio de la fotosíntesis, y está asociado con el vigor inicial de la planta (Marschner 2012).

#### **f) Tasa de transpiración**

La adición de fósforo no evidenció diferencias estadísticas en la tasa de transpiración, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de 61.64±7.81 y 68.58±7.81 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en parcelas con fósforo y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron 32.05±7.81 y 40.35±7.81 mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en parcelas con fósforo y control respectivamente (Tabla 18). Numéricamente *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* redujeron su tasa de transpiración a la adición de fósforo.

La adición de fósforo no tuvo efecto significativo sobre la transpiración *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior*, probablemente debido a que este se mueve por difusión en el medio en la solución suelo, este movimiento es el que lo limita en la rizosfera, por lo que su absorción no está relacionado con la transpiración (Matimati *et al.* 2014). Sin embargo, hay que tener en cuenta este comportamiento de reducción de la tasa de transpiración a la fertilización.

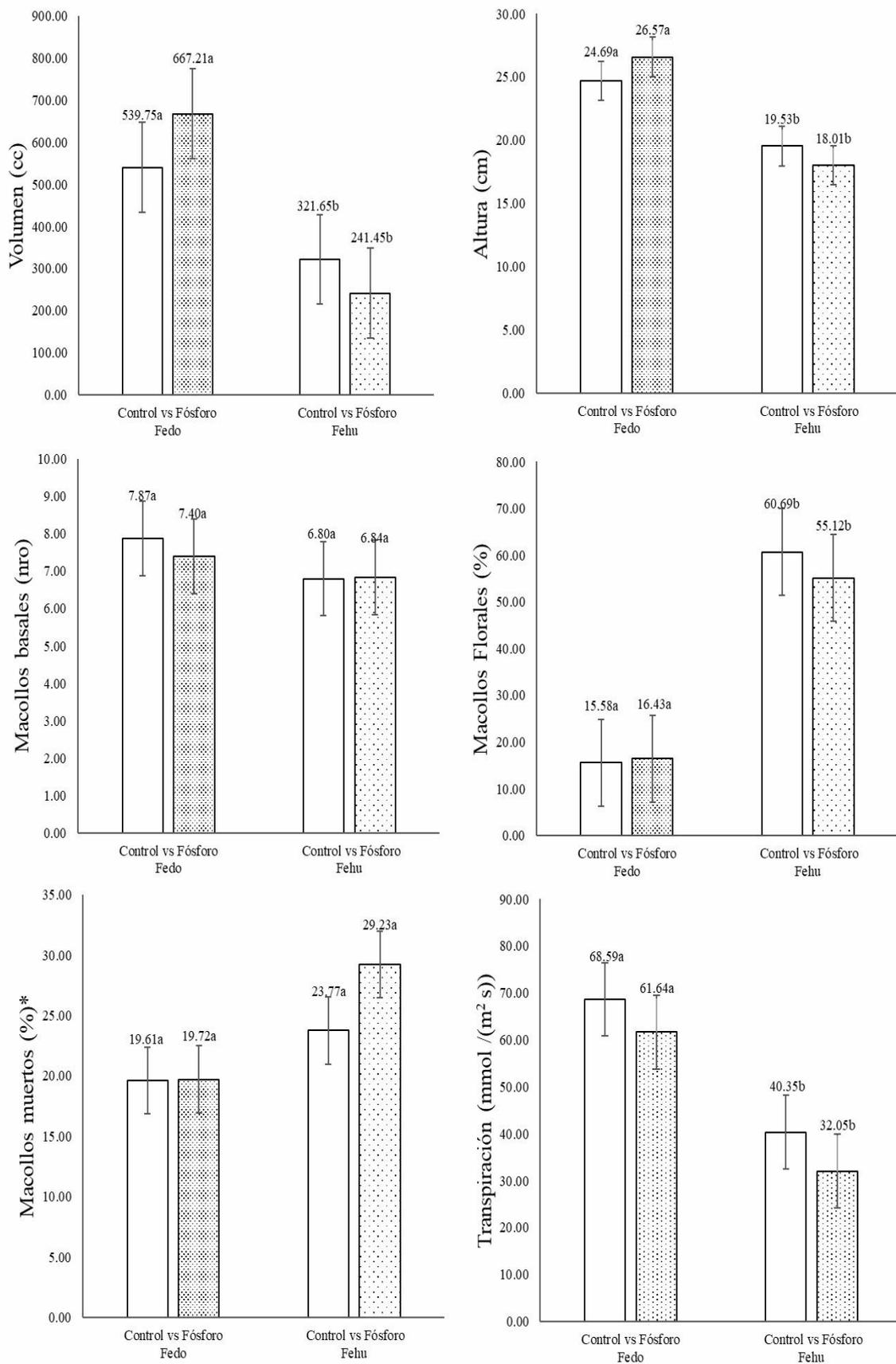
**Tabla 18. Efecto del fósforo en indicadores de crecimiento el mes de dic-16**

Variables	fedo		Fehu		P-valor Contrastes	
	Control	Fósforo	Control	Fósforo	Fedo Control vs Fósforo	Fehu Control vs Fósforo
Volumen (cc)	539.75±106.67	667.21±106.67	321.65±106.67	241.45±106.67	0.16	0.60
Altura (cm)	24.69±1.57	26.57±1.57	19.53±1.57	18.01±1.57	0.29	0.50
Macollos (nro)	7.87±1.00	7.40±1.00	6.80±1.00	6.84±1.00	0.58	0.98
Macollos Florales (%)	15.58±9.35	16.43±9.35	60.69±9.35	55.12±9.35	0.51	0.68
Macollos Muertos (%)*	19.61±2.78	19.72±2.78	23.77±2.78	29.23±2.78	0.52	0.17
transpiración (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	68.58±7.81	61.64±7.81	40.35±7.81	32.05±7.81	0.27	0.46

Fehu: *Festuca humilior*

Fedo: *Festuca dolichophylla*

\*julio-17



**Figura 10. Comparación de parcelas control con fósforo en el crecimiento de dic-16 para *Festuca dolichophylla* (Fedo) y *Festuca humilior* (Fehu). \*jul-17**

### 4.3.3. Potasio

#### a) Volumen de la mata

La adición de potasio evidenció diferencias estadísticas (P-valor= 0.03) en el volumen de la mata, encontrándose en *Festuca dolichophylla* promedios de  $884.24 \pm 106.67$  y  $539.75 \pm 106.67$  cm<sup>3</sup> en parcelas con potasio y control respectivamente; mientras en *Festuca humilior* la adición de potasio, no se evidenció diferencias estadísticas los promedios fueron  $269.76 \pm 106.67$  y  $321.65 \pm 106.67$  cm<sup>3</sup> en parcelas con potasio y control respectivamente (Tabla 19). Ambas especies se comportaron de manera distinta a la adición de potasio, siendo *Festuca dolichophylla* estimulada y *Festuca humilior* disminuida en crecimiento.

El potasio se mueve a través flujo de masas en el suelo es por esto que siempre están disponibles en la rizosfera (Brady & Weil 2002), por lo que la adición tuvo efecto en el crecimiento de *Festuca dolichophylla* a pesar de que en el balance se encontraba disponible en el suelo de las parcelas.

El potasio actúa como activador enzimático del nitrato reductasa (enzima clave en la asimilación de nitrógeno), se asocia con el nitrato para favorecer su traslocación, tiene efecto osmótico de retención de moléculas de agua en la rizosfera y estimula la turgencia de los tejidos meristemáticos que favorecen la elongación (Li *et al.* 2012, Liu *et al.* 2018) efecto mostrado en *Festuca dolichophylla* especie que tiene como estrategia de sobrevivencia ocupar mayor área del pastizal.

La adición de potasio no tuvo efecto estadístico significativo en el volumen en *Festuca humilior*, sin embargo, si se evidenciaron diferencias numéricas a favor de las parcelas control, probablemente el efecto osmótico de retención de agua en la rizosfera (Liu *et al.* 2018) no es favorable en *Festuca humilior*.

#### b) Altura a la hoja bandera

La adición de potasio evidenció diferencias estadísticas (P-valor=0.05) en la altura a la hoja bandera, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $29.24 \pm 1.57$  y  $24.69 \pm 1.57$  cm en parcelas con potasio y control respectivamente; mientras en *Festuca humilior* no se evidenció diferencias estadísticas siendo los promedios fueron

18.81±1.57 y 19.53±1.57 cm en parcelas con potasio y control respectivamente (Tabla 19).

La adición de potasio en *Festuca humilior* no tuvo efecto estadístico significativo sobre la altura, probablemente esta gramínea no incrementa su absorción de potasio a medida que incrementa la concentración en el suelo (O'Connor *et al.* 1986). Sin embargo, *Festuca dolichophylla* evidencia un mayor crecimiento ya que también no disminuyó su transpiración en este estado fenológico, por ende, aprovecho más el potasio disponible en el suelo.

#### **c) Número de macollos basales**

La adición de potasio no evidenció diferencias estadísticas en el número de macollos basales, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de 7.18±1.00 y 7.87±1.00 en parcelas con potasio y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron 6.44±1.00 y 6.80±1.00 en parcelas con potasio y control respectivamente (Tabla 19).

El potasio cumple la función de mantener turgente los meristemas apicales durante la elongación (Marschner 2012), estimulando mayor presencia de macollos basales. Sin embargo, en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* la adición de potasio no mostró este efecto estimulador en número de macollos basales (Figura 11), probablemente debido a la ley del elemento faltante (Brady & Weil 2002) ocasionó que no se incremente el número de macollos basales.

#### **d) Porcentaje de macollos florales**

En la *Festuca dolichophylla* se observó un porcentaje de macollos florales promedio de 15.58±9.35 y 36.73±9.35 en parcelas control y con adición de potasio respectivamente, mientras que *Festuca humilior* mostró un promedio de 60.69±9.35 y 71.09±9.35 en parcelas control y con adición de potasio respectivamente (Tabla 19), sin diferencias estadísticas, pero si numéricamente evidentes a favor de las parcelas con adición de potasio en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior*.

La adición de potasio *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* mostraron un mayor porcentaje de macollos florales (Figura 11), en suelos que tienen alta concentración de

potasio, sin embargo, este puede estar retenido disminuyendo su actividad en la solución, por lo que se recomienda adicionar potasio (Mubarak *et al.* 2016), como también se evidenció en nuestro estudio. La floración es vital para estimular la propagación de las matas jóvenes; ya que los tejidos de reserva absorben potasio disponible del suelo o de la redistribución de las partes de la planta antes de la etapa de llenado o incluso de la floración en gramíneas (Marschner 2012); también es conocida la acción del potasio para mejorar la tolerancia en condiciones de escasez de agua al mejorar la translocación y mantener la carga osmótica (Fay *et al.* 2015, Liu *et al.* 2018).

La frecuencia de floración en *Festuca rubra* fue relacionada negativamente con el número de macollos basales, por lo que se presume que su mayor propagación genera inhibición en la floración (Jónsdóttir 1991); en nuestro estudio *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* tuvieron la misma respuesta cuando se adicionó potasio en número de macollos basales, sin embargo, se observó diferencias en el porcentaje de macollos florales cuando se adicionó potasio.

#### **e) Porcentaje de macollos muertos**

La adición de potasio no evidenció diferencias estadísticas en el porcentaje de macollos muertos, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $23.05 \pm 2.78$  y  $19.61 \pm 2.78$  en parcelas con potasio y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron  $20.98 \pm 2.78$  y  $23.77 \pm 2.78$  en parcelas con potasio y control respectivamente (Tabla 19). Numéricamente *Festuca humilior* aumentó el porcentaje de macollos muertos a la adición de potasio.

La mortalidad de macollos en *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* no es sensible a la adición de potasio, por lo que la mortalidad en parcelas control y adicionadas con potasio no mostraron diferencias estadísticas, tampoco numéricas evidentes (Figura 11). El potasio si bien cumplió su papel osmoregulador, este no favoreció en una menor mortalidad de macollos ya que estos probablemente estén más asociados con el estado fenológico en la que se evaluó ambas especies.

#### **f) Tasa de transpiración**

La adición de potasio no evidenció diferencias estadísticas en la tasa de transpiración, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $48.95 \pm 7.81$  y  $68.58 \pm 7.81$

mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en parcelas con potasio y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron 31.78±7.81 y 40.35±7.81mmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> en parcelas con potasio y control respectivamente (Tabla 18). Numéricamente *Festuca dolichophylla* y *Festuca humilior* redujeron su tasa de transpiración a la adición de potasio, siendo menor en ambas especies, al parecer el potasio favoreció al uso más eficiente del agua (Matimati *et al.*, 2014) en ambas especies.

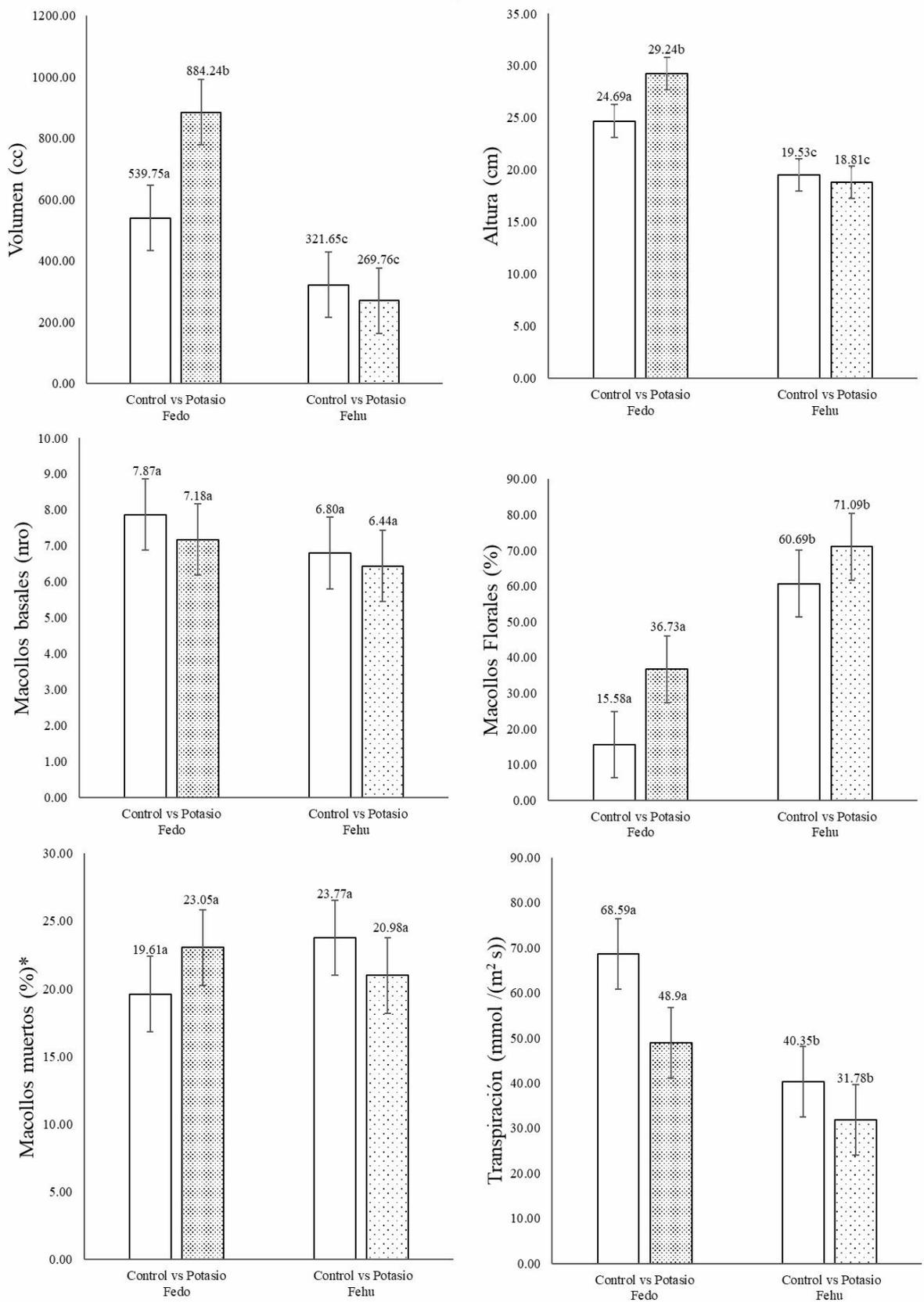
**Tabla 19. Efecto del potasio en indicadores de crecimiento el mes de dic-16**

Variables	Fedo		Fehu		P-valor Contrastes	
	Control	Potasio	Control	Potasio	Fedo Control vs Potasio	Fehu Control vs Potasio
Volumen (cc)	539.75±106.67	884.24±106.67	321.65±106.67	269.76±106.67	0.03	0.73
Altura (cm)	24.69±1.57	29.24±1.57	19.53±1.57	18.81±1.57	0.05	0.75
Macollos (nro)	7.87±1.00	7.18±1.00	6.80±1.00	6.44±1.00	0.63	0.80
Macollos Florales (%)	15.58±9.35	36.73±9.35	60.69±9.35	71.09±9.35	0.12	0.44
Macollos Muertos (%)*	19.61±2.78	23.05±2.78	23.77±2.78	20.98±2.78	0.39	0.48
Transpiración (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	68.58±7.81	48.95±7.81	40.35±7.81	31.78±7.81	0.08	0.44

Fehu: *Festuca humilior*

Fedo: *Festuca dolichophylla*

\*jul-17



**Figura 11. Comparación de parcelas control con potasio en el crecimiento de dic-16 para *Festuca dolichophylla* (Fedo) y *Festuca humilior* (Fehu). \*jul-17**

#### 4.3.4. Nitrógeno, fósforo y potasio

##### a) Volumen de la mata

La adición de NPK evidenció diferencias estadísticas ( $P$ -valor= 0.05) en el volumen de la mata, encontrándose en *Festuca dolichophylla* promedios de  $838.92 \pm 106.67$  y  $539.75 \pm 106.67$  cm<sup>3</sup> en parcelas con NPK y control respectivamente; mientras en *Festuca humilior* la adición de NPK no evidenció diferencias estadísticas los promedios fueron  $224.92 \pm 106.67$  y  $321.65 \pm 106.67$  cm<sup>3</sup> en parcelas con NPK y control respectivamente (Tabla 20). Ambas especies se comportaron de manera distinta a la adición de potasio, siendo *Festuca dolichophylla* estimulada y *Festuca humilior* disminuida en crecimiento.

Los macro nutrientes principales son el nitrógeno, fósforo y potasio que estimulan el crecimiento temprano en las plantas (Marschner 2012), sin embargo, al adicionar fertilizantes sintéticos el índice de salinidad se incrementó a 5.33 (presión osmótica del nitrato de sodio), afectando el flujo de agua y nutrientes en el suelo, limitando el crecimiento y estresando fuertemente a la planta (Brady & Weil 2002), como se evidenció en *Festuca humilior*.

*Festuca dolichophylla* evidenció una respuesta favorable a la adición de NPK, probablemente como se demostró en la autoecología esta especie mantiene su tasa de transpiración por lo tanto es mejora su crecimiento cuando se le adiciona nutrientes (Figura 12).

##### b) Altura a la hoja bandera

La adición de NPK no evidenció diferencias estadísticas en la altura a la hoja bandera, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $28.82 \pm 1.57$  y  $24.69 \pm 1.57$  cm en parcelas con NPK y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron  $17.44 \pm 1.57$  y  $19.53 \pm 1.57$  cm en parcelas con NPK y control respectivamente (Tabla 20).

*Festuca dolichophylla* mostró promedios numéricamente mayor altura a la hoja bandera con adición de NPK, mientras *Festuca humilior* evidenció menor altura a la hoja bandera cuando se adicionó NPK, probablemente esta especie tolera menos la salinidad

a la que fue sometida por la adición de fertilizantes sintéticos (O'Connor *et al.*, 1986) como se muestra en la figura 12. También queda evidenciado que *Festuca humilior* entra en dormancia lo que no ocurre en *Festuca dolichophylla* por lo que aprovecha los nutrientes al inicio de la época lluviosa.

#### **c) Número de macollos basales**

La adición de NPK no evidenció diferencias estadísticas en el número de macollos basales, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $7.94 \pm 1.00$  y  $7.87 \pm 1.00$  en parcelas con NPK y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios porcentajes de macollos florales fueron  $7.24 \pm 1.00$  y  $6.80 \pm 1.00$  en parcelas con NPK y control respectivamente (Tabla 20).

El nitrógeno, fósforo y potasio cumplen funciones en la elongación de meristemas (Marschner, 2012), encontrándose en *Festuca dolichophylla*, y *Festuca humilior* ligeras diferencias numéricas a favor de parcelas con adición de NPK, probablemente la ley del elemento faltante (Brady & Weil 2002) se cumple en el estudio, evidenciado en el número de macollos basales.

#### **d) Porcentaje de macollos florales**

La *Festuca dolichophylla* mostró un porcentaje de macollos florales promedio de  $15.58 \pm 9.35$  y  $19.70 \pm 9.35$  en parcelas control y con adición de NPK respectivamente, mientras que *Festuca humilior* mostró un promedio de  $60.69 \pm 9.35$  y  $60.84 \pm 9.35$  en parcelas control y con NPK respectivamente (Tabla 20), sin diferencias estadísticas, pero si numéricamente evidentes a favor de las parcelas con adición de NPK en *Festuca dolichophylla*.

Los tejidos de reserva absorben NPK del suelo antes de la etapa de llenado o incluso de la floración (Lambers 2008) y de alguna manera el NPK tiene efecto sobre un mayor porcentaje de floración en *Festuca dolichophylla*. Mientras *Festuca humilior* no evidenció diferencias numéricas, ya que al inicio de la precipitación su tasa de transpiración es menor que de *Festuca dolichophylla*, por ende, absorbe menos nutrientes (Figura 12).

### e) Porcentaje de macollos muertos

La adición de NPK no evidenció diferencias estadísticas en el porcentaje de macollos muertos, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $25.50 \pm 2.78$  y  $19.61 \pm 2.78$  en parcelas con NPK y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron  $23.53 \pm 2.78$  y  $23.77 \pm 2.78$  en parcelas con NPK y control respectivamente (Tabla 19). Numéricamente *Festuca dolichophylla* aumentó el porcentaje de macollos muertos a la adición de NPK.

*Festuca dolichophylla* evidenció numéricamente mayor mortalidad de macollos basales con la adición de NPK, para el estudio por lo que se atribuyó posiblemente a la salinidad causada por los fertilizantes sintéticos (Figura 12).

### f) Tasa de transpiración

La adición de NPK no evidenció diferencias estadísticas en la tasa de transpiración, encontrándose promedios en *Festuca dolichophylla* de  $67.42 \pm 7.81$  y  $68.58 \pm 7.81$   $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en parcelas con NPK y control respectivamente; mientras, en *Festuca humilior* los promedios fueron  $31.40 \pm 7.81$  y  $40.35 \pm 7.81$   $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en parcelas con NPK y control respectivamente (Tabla 20). Numéricamente *Festuca humilior* redujo su tasa de transpiración a la adición de NPK, sin embargo, si evidenció diferencias numéricas, al parecer la adición NPK favoreció al uso más eficiente del agua (Matimati *et al.* 2014) en esta especie (Figura 12).

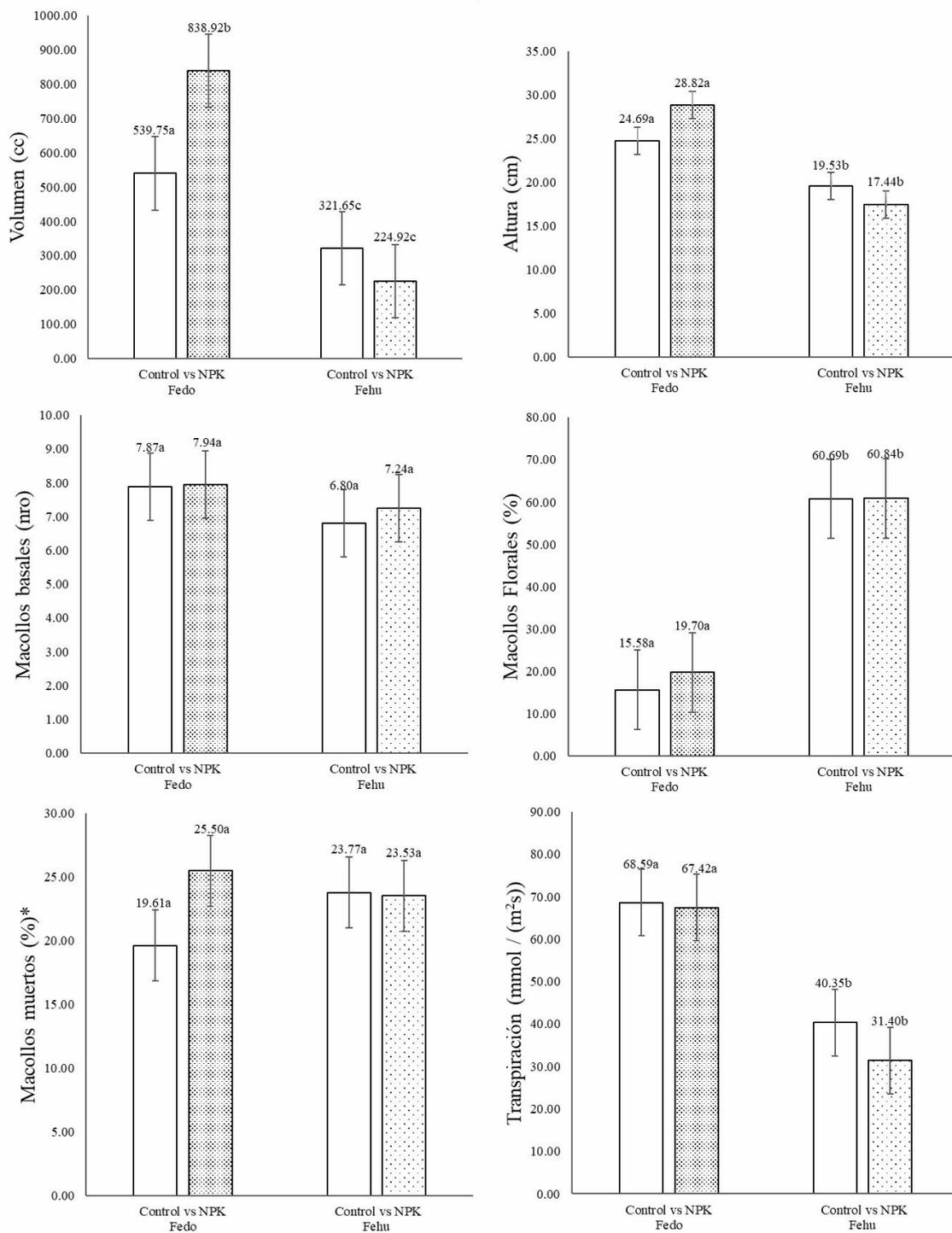
**Tabla 20. Efecto del NPK en indicadores de crecimiento el mes de dic-16**

Variables	Fedo		Fehu		P-valor Contrastes	
	Control	NPK	Control	NPK	Fedo Control vs NPK	Fehu Control vs NPK
Volumen (cc)	$539.75 \pm 106.67$	$838.92 \pm 106.67$	$321.65 \pm 106.67$	$224.92 \pm 106.67$	0.05	0.77
Altura (cm)	$24.69 \pm 1.57$	$28.82 \pm 1.57$	$19.53 \pm 1.57$	$17.44 \pm 1.57$	0.07	0.54
Macollos (nro)	$7.87 \pm 1.00$	$7.94 \pm 1.00$	$6.8 \pm 1.00$	$7.24 \pm 1.00$	0.96	0.58
Macollos Florales (%)	$15.58 \pm 9.35$	$19.70 \pm 9.35$	$60.69 \pm 9.35$	$60.84 \pm 9.35$	0.76	0.44
Macollos Muertos (%)*	$19.61 \pm 2.78$	$25.50 \pm 2.78$	$23.77 \pm 2.78$	$23.53 \pm 2.78$	0.14	0.52
Transpiración ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	$68.58 \pm 7.81$	$67.42 \pm 7.81$	$40.35 \pm 7.81$	$31.40 \pm 7.81$	0.92	0.97

Fehu: *Festuca humilior*

Fedo: *Festuca dolichophylla*

\*jul-17



**Figura 12. Comparación de parcelas control con NPK en el crecimiento de dic-16 para *Festuca dolichophylla* (Fedo) y *Festuca humilior* (Fehu). \*jul-17**

## V. CONCLUSIONES

1. La movilidad de fósforo y potasio a través de distintas partes de una planta es conocida sobre todo en floración, por lo tanto, las concentraciones bajas de fósforo en la demanda indican que posiblemente ambas especies movilizaron este nutriente a los macollos florales, siendo mayor en *Festuca humilior*.
2. La *Festuca dolichophylla* evidenció significativamente mayor crecimiento y persistencia de la transpiración, por lo tanto, su estrategia adaptativa será la ocupación del espacio. Mientras, en el establecimiento de los esquejes, *Festuca humilior* evidenció significativamente un mayor porcentaje de macollos florales, por lo tanto, su estrategia adaptativa será una floración temprana.
3. La *Festuca dolichophylla* con adición potasio mostró respuestas significativas en altura a la hoja bandera, volumen de la mata y proporción de macollos florales, a su vez, que se mantuvo constante su transpiración. En cuanto a la adición de nitrógeno, fósforo y NPK las diferencias solo fueron numéricas. Posiblemente se deba al rol osmoregulador del potasio disponible en el suelo del estudio para una mejor absorción de nutrientes.

## VI. RECOMENDACIONES

1. La *Festuca humilior* y *Festuca dolichophylla* tienen respuestas propias a la fertilización que deben tener en cuenta cuando se realicen programas de revegetación. Cabe la posibilidad de estimular una mayor floración y así una mayor propagación de semillas con la adición de potasio.
2. El nitrógeno tuvo un estímulo no diferenciado estadísticamente en *Festuca dolichophylla* por lo que se sugiere una investigación mas detallada acerca del mencionado nutriente para la especie, ya que si se demostró su mayor producción de biomasa.
3. La estrategia adaptativa de inicio temprano de la floración en *Festuca humilior* hace que esta especie sea la más recomendable para programas de revegetación. Así también aseguraríamos la diversidad genética de la especie y evitar desastres ecológicos ocasionados por perturbaciones episódicas.
4. Realizar más estudios de ecofisiología y nutrición mineral en pastizales naturales, ya que hoy en día hay un desbalance del ciclaje de nutrientes en el suelo. Con la comprensión certera del comportamiento de las especies altoandinas nos permitirá tomar decisiones adecuadas de acuerdo al ecosistema a revegetar.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alhamad, MN; Alrababah M A; Gharaibeh, MA. 2012.** Impact of burning and fertilization on dry Mediterranean grassland productivity and diversity. *Acta Oecologica*, 40, 19–26. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2012.02.005>.
- Archer, S; Stokes, C. 2000.** Stress, disturbance and change in rangeland ecosystems *Rangeland Desertification Vol. 1*. Consultado 15 jun. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Aydin, I; Uzun, F. 2005.** Nitrogen and phosphorus fertilization of rangelands affects yield, forage quality and the botanical composition. *European Journal of Agronomy* 23(1):8–14. Consultado 15 abr. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.eja.2004.08.00>.
- Balabanli, C; Albayrak, S; Yüksel, O. 2010.** Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on the quality and yield of native rangeland Turkish. Isparta-Turkey. *Journal of field crops* 15(2):164-168. Consultado 15 jun. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.17557/tjfc.48483>.
- Balogianni, VG; Wilson, SD; Vaness, BM; Macdougall, AS; Pinno, BD. 2014.** Different root and shoot responses to mowing and fertility in native and invaded grassland. *Rangeland Ecology and Management* 67(1):39–45. Consultado 15 jun. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.2111/REM-D-13-00080.1>.
- Bélanger, G; Ziadi, N; Lajeunesse, J; Jouany, C; Virkajarvi, P; Sinaj, S; Nyiraneza, J. 2017.** Shoot growth and phosphorus–nitrogen relationship of grassland swards in response to mineral phosphorus fertilization. *Field Crops Research* 204: 31–41. Consultado 15 jun. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.12.006>.
- Billings, WD. 1978.** Aspects of the ecology of alpine and subalpine plants. pp. 1-15 in

Proceedings: High Altitude Revegetation. Water Resources Series No. 28. Colorado State-USA.

**Borrelli, P; Oliva, G. 2001.** Ganadería ovina sustentable en la Patagonia Austral: Tecnología de manejo extensivo. Proyecto de desarrollo sustentable de La Patagonia. Convenio Argentino-Alemano INTA-GTZ. Consultado 15 jun. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1086/322611>.

**Bonham, C. 2013.** Measurements for terrestrial vegetation. Colorado-USA. Colorado State University. Edition 2, 175-200. Consultado 18 jul. 2018. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118534540>.

**Blank, RR; Chambers, J; Roundy, B; Whittaker, A. 2007.** Nutrient availability in rangeland soils: Influence of prescribed burning, herbaceous vegetation removal, overseeding with *Bromus tectorum*, season, and elevation. *Rangeland Ecology and Management* 60(6): 644–655. Consultado 18 jul. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.2111/06-120R2.1>.

**Bradshaw, AD. 2000.** The use of natural processes in reclamation-advantages and difficulties. *Landscape Urban Plann.* 51, 89–100.

**Bremer, DJ; Ham, JM; Owensby, CE. 1996.** Effect of elevated atmospheric carbon dioxide and open-top chambers on transpiration in a tallgrass prairie. *Journal of Environmental Quality* 25(4):691–701. Consultado 18 jul. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.2134/jeq1996.00472425002500040008x>.

**Brown, D. 2003.** Manure Application and nutrient balance on rangeland. 1–6. Consultado 18 ene. 2018. Disponible en [http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex6609](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex6609).

**Brady, N; Weil, R. 2002.** The Nature and properties of soils, 13th Edition. Prentice Hall. New Jersey-USA. 960 p.

**Brisbin, IL. 1982.** The principles of ecology as a framework for a total ecosystem approach to high altitude revegetation research. in Proceedings: High Altitude Revegetation Workshop No. 5. Colorado-USA. Water Resources Res. Inst. Inf. Series No. 48. pp. 1-11.

**Briske, D; Fuhlendorf, S; Smeins, F. 2005.** State and Transition Models, Thresholds, and Rangeland Health: A Synthesis of Ecological Concepts and Perspectives. Oklahoma State University. Rangeland Ecology & Management. 58:1–10. pp. 6.

**Carrick, PJ; Kruger, R. 2007.** Restoring degraded landscapes in lowland Namaqualand: lessons from the mining experience and from regional ecological dynamics. Journal of Arid Environments 70:767–781. Consultado 18 ene. 2018. Disponible en [www.onlinelibrary.wiley.com](http://www.onlinelibrary.wiley.com).

**Colabelli, MR; Agnusdei, MG; Durand, JL. 2011.** Grupos funcionales de plantas, producción de forraje y eficiencia de uso de radiación de pastizales naturales en condiciones potenciales y limitadas de agua y nitrógeno. RIA Vol 37 N°1. Consultado 08 feb. 2018. Disponible en [www.ria.inta.gov.ar](http://www.ria.inta.gov.ar).

**Craine, J; Morrow, C; Stock, W. 2008.** Nutrient concentration ratios and co-limitation in South African grasslands. Department of Ecology, Evolution, and Behavior, University of Minnesota-Saint Paul-USA. Journal compilation New Phytologist 179(3):829-36. Consultado 18 jul. 2018. Disponible en <https://10.1111/j.1469-8137.2008.02513.x>.

**Chapin, FS. 1987.** Adaptations and physiological responses of wild plants to nutrient stress. In: Gabelman W.H. Genetic aspects of plant mineral nutrition. developments in plant and soil sciences. Springer-Dordrecht. vol 27 pp. 30-55.

**Claassen, V; Marler, M. 2004.** Annual and perennial grass growth on nitrogen- depleted decomposed granite. Journal Restoration Ecology Vol. 6: 133-226. Consultado 18 jul. 2017. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.1998.00629.x>.

- Clayton, WD; Vorontsova, MS; Harman, KT; Williamson, H. 2006.** Grassbase. World Grass Flora. Consultado 09 feb. 2017. Disponible en <http://www.kew.org/data/grasses-db.html>.
- Dalmasso, AD. 1994.** Fenología de cinco gramíneas nativas de interés forrajero. *Pappophorum caespitosum*, *Tricholoris crinita*, *Setaria Leucopila*, *Digitaria californica* y *Diplachne dubia*. *Botanica y Fitosociología*. (3): 9-34. Mendoza-Argentina. Consultado 09 feb. 2018. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=42800303>.
- Dommergues, YR; Diem, HG. 1985.** Genetic aspects of plant mineral nutrition. Madison-USA. *Plant and Soil* Vol. 72. Consultado 09 set. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1007/978-94-009-6833-2>.
- Dougill, AJ; Heathwaite, AL; Thomas, DSG. 1998.** Soil water movement and nutrient cycling in semi-arid rangeland: vegetation change and system resilience. *Journal Hydrological Processes* 12(3):443–459. Consultado 09 set. 2018. Disponible en [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(19980315\)12:3<443:AID-HYP582>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(19980315)12:3<443:AID-HYP582>3.0.CO;2-N).
- Dormaar, JF; Barry, WA; Walter, DW. 1997.** Impacts of rotational grazing on mixed Prairie soils and vegetation. *Johan F. Willms Journal of Range Management* Vol. 50, No. 6 (Nov. 1997), pp. 647-651. Consultado 09 set. 2018. Disponible en <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/viewFile/9269/8881>.
- Dregne, HE. 1978.** Desertification: Man's abuse of the land. *Journal of Soil and Water Conservation*. 33:11-1 4. Consultado 09 set. 2018. Disponible en <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19780309297>.
- Dyksterhuis, AJ. 1949.** Condition and management of rangeland based on quantitative ecology. *Journal of Range Management* 2:104-115. Consultado 09 set. 2018. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/3893680>.

- Elliott, DE; Abbott, RJ. 2003.** Nitrogen fertilizer use on rainfed pasture in the Mt. Lofty Ranges. Pasture mass, composition and nutritive characteristics. Australia. Journal Experimental Agricultural. 43:553–577. Consultado 09 set. 2018. Disponible en <https://DOI: 10.1071/EA01132>.
- Fay, PA; Prober, SM; Harpole, WS; Knops, JMH; Bakker, JD; Borer, ET; Yang, LH. 2015.** Grassland productivity limited by multiple nutrients. Journal Nature Plants. Vol 1–5. Consultado 09 set. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1038/nplants.2015.80>.
- Flores, E. 1996.** Reality, limitations and reserach needs of the peruvian livestock sector. Latin America Regional Livestock Assessment Workshop. pp. 1-8.
- Flores, E. 2013.** Situación y las proyecciones del cambio climático en la ganadería altoandina. Qué hacer en la ganadería altoandina frente al cambio climático. Agro-noticias en marzo 2013 (edición No. 410).
- Florez, A; Bryant, F. 1985.** Fenología y contenido de nutrientes de gramíneas claves en los andes de Perú. Investigación Sobre Pastos y Forrajes de Texas Tech University en el Perú. Volumen II. Lima - Perú.
- Follett, R; Kimble, J; Lal, R. 2001.** The potential of U.S. grazing lands to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. Lewis Publishers, Boca Raton. Washington D.C.-USA.
- Fredeen, AL; Randerson, JT; Holbrook, NM. 1998.** Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> increases water availability in a water-limited grassland ecosystem. Journal of the American Water Resources Association 33(5): 1033–1039. Consultado 28 may. 2018. Disponible en <https://escholarship.org/content/qt6s0815j5>.
- Friedel, MH. 1991.** Range condition assessment and the concept of thresholds: a viewpoint. Journal Range Manage. 44:422-426. Consultado 09 set. 2018. Disponible en <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/view/8635>.

- García, SG. 2016.** Influencia de Revegetación con *Festuca humilior* y la incorporación de fertilizantes en la recuperación de pastizales degradados. Tesis Mg. Sc. - Producción Animal. Lima-Perú. UNALM.
- Geist, H; Lambin, E. 2004.** Dynamic causal patterns of desertification. *Journal Bio Science* 54:817–829. Consultado 09 set. 2018. Disponible en [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2004\)054\[0817:DCPOD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2004)054[0817:DCPOD]2.0.CO;2).
- Gillen, R; Tate, K. 1993.** The constituent differential method for determining live and dead herbage. *Journal of Range Management*. 46(2):142-147. Consultado 08 set. 2018. Disponible en <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article/view/8815>.
- Gitay, H; Suárez, A; Watson, R. 2002.** Climate change and biodiversity IPCC. IPCC report Vol. 24. Consultado 09 set. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.2307/1551672>.
- Gul, B; Islam, M; Ahmad, S; Gul, S. 2016.** Aboveground biomass and concentration of nutrients in semiarid rangeland plant species: Influence of grazing and soil moisture. *Journal Phytion*. 85(1): 94–99. Consultado 09 set. 2018. Disponible en [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S185156572016000100013](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S185156572016000100013).
- Helzer, C. 2010.** The Ecology and management of prairies in the Central United States. Ed. University of Iowa. Primera ed. Iowa-USA. pp. 208.
- Huerta, L. 2002.** Formulación de herramientas de gestión integral para el manejo sostenible de las praderas altoandinos, estudio de caso en la cabecera- cuenca Santa Sihuas- Ancash. Tesis Ing. Zoot. Lima-Perú. UNALM.
- Hunt, E; James H; Jerry, C; Moran, M; Booth, D; Gerald, L; Patrick, E; Seyfried, M. 2003.** Applications and research using remote sensing for rangeland management. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* Vol. 69: No. 6. pp. 675–693. Consultado 18 set. 2018. Disponible en <https://www.ingentaconnect.com/content/asprs/pers/2003/00000069/00000006>.

- Jónsdóttir, GÁ. 1991.** Effects of density and weather on tiller dynamics in *Agrostis stolonifera*, *Festuca rubra* and *Poa irrigata*. *Acta Botanica Neerlandica* 40(4):311–318. Consultado 18 set. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1991.tb01561.x>.
- Kayser, M; Isselstein, J. 2005.** Potassium cycling and losses in grassland systems: a review. *Grass and Forage Science* 60(3):213–224. Consultado 18 set. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2005.00478.x>.
- Kessell, SR. 1979.** Gradient modeling: resource and fire management. Springer-Verlag. New York-USA. Volume 54(3). pp 166–166. Consultado 18 set. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1007/BF00047105>.
- Koerselman, W; Meuleman, AFM. 1996.** The vegetation N: P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal Apply Ecology*. 33:1441–1450. Consultado 10 set. 2018. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/2404783>.
- Korfanta, N; Mobley, M; Burke, I. 2015.** Fertilizing western rangelands for ungulate conservation: an assessment of benefits and risks. *Wildlife Society Bulletin* 39(1):1–8. University of Wyoming-USA. Consultado 10 set. 2018. Disponible en [https://www.uwyo.edu/haub/\\_files/\\_docs/ruckelshaus/pubs/2015-fertilizing-western](https://www.uwyo.edu/haub/_files/_docs/ruckelshaus/pubs/2015-fertilizing-western).
- Lambers, HF; Chapin, IIS; Pons, TL. 2008.** Plant physiological ecology. Second edition. Editorial Springer. 623 pp.
- Lafarge, M; Loiseau, P. 2002.** Tiller density and stand structure of tall fescue swards differing in age and nitrogen level. *European Journal of Agronomy*, 17(3):209–219. Consultado 10 ene. 2018. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00011-4](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00011-4).
- Laycock, WA. 1991.** Stable states and thresholds of range condition on North American

rangelands: A viewpoint. *Journal Range Management* 44(5):427-433. Consultado 18 set. 2018. Disponible en <https://DOI: 10.2307/4002738>.

**Lewis, J. 1963.** Fertile tiller production and seed yield in meadow fescue (*Festuca pratensis* L.). I. Time of sowing. *Grass and Forage Science*, 18(2):168–174. Consultado 18 set. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00344.x>.

**Li, S; Verburg, P; Lv, S; Wu, J; Li, X. 2012.** Spatial analysis of the driving factors of grassland degradation under conditions of climate change and intensive use in Inner Mongolia, China. *Regional Environmental Change*. 12:461–474. Consultado 18 set. 2018. Disponible en <https://link.springer.com/article>.

**Liu, C; Liu, Y; Guo, K; Qiao, X; Zhao, H; Wang, S; Cai, X. 2018.** Effects of nitrogen, phosphorus and potassium addition on the productivity of a karst grassland: Plant functional group and community perspectives. *Journal Ecological Engineering* 84–95. Consultado 18 set. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.04.008>.

**Manske, L. 2014.** Grass vegetative tillering responses to partial defoliation. (en línea). NDSU Dickinson Research Extension Center. Range Research Report. DREC 14-1086. 35p. Disponible en <https://www.ag.ndsu.edu/DickinsonREC/2014-annual-report>.

**Marschner, P. 2012.** Marschner's mineral nutrition of higher plants. London-Waltham. MA: Academic Press. pp 643.

**Marty, C; Pornon, A; Lamaze, T. 2009.** High NH<sub>4</sub><sup>+</sup> efflux from roots of the common alpine grass, *Festuca nigrescens*, at field-relevant concentrations restricts net uptake. *Journal Environmental and Experimental Botany* 67(1):84–86. Consultado 08 set. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.03.020>.

**Matimati, I; Verboom, GA; Cramer, MD. 2014.** Nitrogen regulation of transpiration

controls mass-flow acquisition of nutrients. *Journal of Experimental Botany* 65(1):159–168. Consultado 28 set. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1093/jxb/ert367>.

**Medina, EJ. 2013.** Rehabilitación de Áreas Disturbadas por la minería, con vías a lograr su sostenibilidad, al cierre de las operaciones. Informe Técnico Ing. Agr. Arequipa-Perú. UCSM.

**Meng, K; Juying, J; Qiulong, Y; Ning, W; Zhijie, W; Yujin, L; Weijie, Y; Yanhong, W; Fangchen, Y. 2014.** Successional trajectory over 10 years of vegetation restoration of abandoned slope croplands in the hill-gully region of the loess plateau. *Journal Land degradation & development Land Degrad* Vol. 27(4):919-932. Consultado 28 set. 2018. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ldr.2356>.

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

**Mitrović, M; Pavlovića, P; Lakušić, D; Djurdjević, L; Stevanović, B; Kostića, O; Gajić, G. 2008.** The potential of *Festuca rubra* and *Calamagrostis epigejos* for the revegetation of fly ash deposits. Botanical Institute and Garden“Jevremovac”. Takovska-Serbia. *Science of the Total Environment* 407 (2008) 338 – 347. Consultado 28 set. 2018. Disponible en [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

**Moir, JL; Isselstein, J; Schnyder, H; Taube, F. 2010.** Grassland potassium balance in a pot experiment using soils with different management histories. Georg-August University Göttingen-Germany. Vol 4 (9):377. Consultado 28 set. 2018. Disponible en <http://www.cabdirect.org/abstracts/20103325603.html>.

**Moore, KJ; Morser, LE; Vogel, KP; Waller, S; Johnson, BE. 1991.** Describing and quantifying growth stages of perennial forage grasses. (en línea) University of Nebraska–Lincoln. Consultado 28 set. 2018. Disponible en <http://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub>.

**Mubarak, MU; Zahir, M; Ahmad, S; Wakeel, A. 2016.** Sugar beet yield and industrial

sugar contents improved by potassium fertilization under scarce and adequate moisture conditions. *Journal of Integrative Agriculture*. 15(11):2620–2626. Consultado 28 set. 2018. Disponible en [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61252-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61252-7).

**NRC (National Research Council). 1994.** Rangeland health, new methods to classify, inventory and monitor rangelands. National Research Council. National Academy Press. Washington, D.C; 180 p.

**Nyren, PE. 1979.** Fertilization of northern great plains rangelands: a review. part II. *Journal Society for Range Management*. Vol. 1-No. 4. pp. 154-156. Consultado 28 set. 2018. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/3900051>.

**O'Connor, KF; Espie, PR; Mcsweeney, GD; Williamms, PA. 1986.** Adaptations of New Zealand rangeland plants to natural soil and climatic changes. *Ecophysiology of Rangeland Plants*.

**Padilla, C; Crespo, G; Sardiñas, Y. 2009.** Degradación y recuperación de pastizales. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. Vol. 43-4. pp. 351-354, Instituto de Ciencia Animal Cuba.

**Pahuara, D; Zúñiga, D. 2001.** Efecto del fosforo sobre la población microbiana en suelos con pasturas en la zona altoandina de Junín. *Ecología aplicada*. Vol 1(1-2). UNALM. Facultad de Biología. Lima-Perú. Consultado 28 set. 2018. Disponible en <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v1i1-2.230>.

**Power, JF. 1985.** Nitrogen-and water-use efficiency of several cool-season grasses receiving ammonium nitrate for 9 years. *Agronomy Journal* 77:189-192. Consultado 28 set. 2018. Disponible en <https://naldc.nal.usda.gov/download/17003>

**Pyke, DA; Herrick, JE; Shaver P; Pellant, M. 2002.** Rangeland health attributes and indicators for qualitative assessment. *Journal Range Management* 55:584–597. Consultado 28 set. 2018. Disponible en

[https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/16](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/16).

**Rattan, L; Thomas, IJ; Kimble, M. 2003.** Soil degradation in the united states: extent, severity, and trends. CRC Press. pp 450.

**Reichmann, LG; Sala, OE; Peters, DPC. 2013.**Water controls on nitrogen transformations and stocks in an arid ecosystem. *Ecosphere* 4(1):11. Consultado 28 may. 2018. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1890/ES12-00263.1>.

**Reynolds, J; Stafford, S. 2002.** Global desertification: do humans create deserts? Dahlem University Press, Berlin, pp. 1–2.

**Sandra, L. 2010.** Indicadores de sostenibilidad para el estudio de pastizales. Instituto de Ciencia Animal. La Habana-Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, Tomo 44:4. Consultado 28 may. 2018. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication>.

**Schuster, MA; Zuck, RH. 1986.** Proceedings: high altitude revegetation workshop NO. 7. (M. A. Schuster, G; E. Company, h. Z. Ronald, r. S. D. C. S. University, & Information, Eds.). (en línea). Colorado-USA. Disponible en <https://mountainscholar.org/handle/10217>.

**Senra, A. 2009.** Impacto del manejo del ecosistema del pastizal en la fertilidad natural y sostenibilidad del suelo. (en línea). Instituto de Ciencia Animal (ICA). La Habana-Cuba. Disponible en <http://ww.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2009/mayo>.

**Shao-shan, A; Yi, C; Yi-mei, H; Dong, L. 2012.** Effects of revegetation on soil microbial biomass, enzyme activities, and nutrient cycling on the loess Plateau in China. *Restoration Ecology* Vol. 21, No. 5, pp. 600–607. Consultado 28 may. 2018. Disponible [onlinelibrary.wiley.com](http://onlinelibrary.wiley.com).

**Simanton, JR. 1991.** Revegetation of semiarid rangelands: problems, procedures, and probabilities. *Journal Rangelands*. 13(6):129–132. Consultado 28 may. 2018. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication>.

**Snyman, HA. 2001.** Short-term response of rangeland botanical composition and productivity to fertilization (N and P) in a semi-arid climate of South Africa. *Journal of Arid Environments* 50: 167–183. Consultado 28 may. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0858>.

**Schoeneberger, PJ; Wysocki, DA; Benham, EC; Broderson, WD. 2002.** Field book for describing and sampling soils, Version 2.0. Natural Resources Conservation Service. National Soil Survey Center- Lincoln-NE.

**Spain, JM; Gualdrón, R; 1991.** Degradación y rehabilitación de pasturas: establecimiento y renovación de Pasturas. (en línea). Disponible en <http://www.corpoica.org.co>.

**Tácuna, R. 2015.** Influencia de la revegetación con especies nativas y la incorporación de materia orgánica en la recuperación de pastizales degradados. Departamento Académico de Biología, UNALM. Lima – Perú. *Ecología Aplicada*, 14(2): 2015. Consultado 28 may. 2018. Disponible en <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v14n2>.

**Tapia, M. 2013.** Diagnóstico de los ecosistemas de montaña en el Perú. FAO-MINAM. Lima-Perú.

**Tongway, DJ; Ludwig, JA. 2011.** Restoring disturbed lanscape: putting principles into practice. (en línea). Editorial International and Pan-American Copyright Conventions. Connecticut-USA. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111>.

**Tovar, O; Oscanoa, L. 2002.** Guía para la identificación de pastos naturales alto andinos de mayor importancia ganadera. Huaraz-Perú. Instituto de Montaña.

**Türk, M; Çelik, N; Bayram, G; Budakli, E. 2007.** Effects of nitrogen and potassium

fertilization on yield and nutritional quality of rangeland. department of field crops. Faculty of Agriculture. Süleyman Demirel University. Isparta-Turkey. Asian Journal of Chemistry Vol. 19, No. 3:2341-2348. Consultado 28 may. 2018. Disponible en <http://www.asianjournalofchemistry.co.in>.

**UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification in Countries). 1994.** Experiencing serious drought and/or desertification, particularly in Africa; Paris-Francia. Vol. 27. pp 241.

**USDA (United States Department of Agriculture). 2004.** Restoring western. ranges and wildlands. Volume 1:1–17. (en línea). Rocky Mountain Research Station-USA. Disponible en <https://doi.org/10.2737/RMRS-GTR>.

**UDFCD (Urban Drainage and Flood Control District). 2016.** Urban storm drainage criteria manual: Volume 2 Management Hydrology and Hydraulics Updated. (en línea). Denver- Colorado-USA. Disponible en <https://udfcd.or>.

**Ventura, O. 2003.** Ponencia: Valoración económica de los bienes y servicios ambientales de las praderas altoandinas en el Perú – políticas para el manejo sostenible. III Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. Arequipa-Perú.

**Vitousek, PM; D'Antonio, CM; Loope, LL; Westbrooks, R. 1996.** Biological invasions as global environmental change. Journal American Scientist 84:468–478. Consultado 29 may. 2018. Disponible en <https://www.researchgate.net/publication>.

**Wali, TMK (ed.). 1975.** Practices and problems of land reclamation in western North America. Univ. North Dakota Press Grand Forks. 196 p.

**Wayne, W; Elder, WC. 1960.** Effect of fertilization on native grass pastures in Oklahoma. (en línea). Department of Agronomy Oklahoma State University. Stillwater- oklahoma-USA. Disponible en [www.journals.uair.arizona.edu](http://www.journals.uair.arizona.edu).

- Weaver, JE; Darlan, RW. 1947.** A method of measuring vigor of range grasses. (en línea). University of Nebraska–Lincoln. Agronomy and Horticulture. Department. Ecology 28(2): 146-162. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org>.
- Westoby, M; Walker, B; Noy-Meir, I. 1989.** Opportunistic management for rangelands not at equilibrium. *Journal Range Management* 42:266-274. Consultado 29 set. 2018. Disponible en <https://journals.uair.arizona.edu/index.php/jrm/article>.
- Yahdjian, ML; Sala, OE. 2008.** Climate change impacts on South American rangelands. *Journal Rangelands* 30(3):34–39. Consultado 29 set. 2018. Disponible en [https://doi.org/10.2111/1551-501X\(2008\)30](https://doi.org/10.2111/1551-501X(2008)30) [34: CCIOSA]2.0.CO;2.
- Yzarra, TWJ; López, M. 2011.** Manual de observaciones fenológicas. (en línea). SENAMHI-MINANG-DGCA. Lima-Perú. pp 20. Disponible en <https://www.senamhi.gob.pe/load/file>.

## **VIII. ANEXO**

**Anexo 1. Base de datos del estudio**

Tratamiento	Especie	Bloque	Nutriente	Parcela	Mes	Transpiración	Altura	Macollo basal	Macollos florales	Macollos muertos	Peso seco	Diámetro menor	Diámetro mayor
T0	Fehu	1	NPK	1	Dic-16	54.1	29	11	4.5	0	30.11	5	7
T1	Fehu	1	N	2	Dic-16	68.39	27	15	4	0	25.99	4	7
T2	Fehu	1	P	3	Dic-16	60.24	28	10	3	0	27.19	4	7
T3	Fehu	1	K	4	Dic-16	69.91	29	15	3.33	0	28.77	4	7
T4	Fehu	1	T	5	Dic-16	58.76	35	15	7	0	40.78	5	8
T1	Fehu	2	N	6	Dic-16	71.45	30	14	0	0	30.60	5	7
T4	Fehu	2	T	7	Dic-16	75.59	29	13	0	0	29.67	5	7
T3	Fehu	2	K	8	Dic-16	69.69	30	13	0	0	30.33	5	7
T2	Fehu	2	P	9	Dic-16	73.03	30	13	0	0	30.28	5	7
T0	Fehu	2	NPK	10	Dic-16	72.83	29	14	0	0	29.77	5	7
T3	Fehu	3	K	11	Dic-16	71.45	24	15	3.67	0	22.72	4	6
T0	Fehu	3	NPK	12	Dic-16	69.55	26	13	4.5	0	24.29	4	7
T1	Fehu	3	N	13	Dic-16	55.89	25	10	5.25	0	23.76	4	7
T4	Fehu	3	T	14	Dic-16	71.69	25	13	5.75	0	23.23	4	6
T2	Fehu	3	P	15	Dic-16	71.73	25	12	0	0	23.76	4	7
T4	Fehu	4	T	16	Dic-16	74.05	29	13	0	0	30.12	5	7
T2	Fehu	4	P	17	Dic-16	71.87	29	13	0	0	29.52	5	7
T0	Fehu	4	NPK	18	Dic-16	73.88	30	13	0	0	30.85	5	7
T1	Fehu	4	N	19	Dic-16	70.52	29	13	0	0	30.00	5	7
T3	Fehu	4	K	20	Dic-16	43.9	31	10	0	0	33.33	5	8
T2	Fehu	5	P	21	Dic-16	71.96	29	13	0	0	29.53	5	7
T3	Fehu	5	K	22	Dic-16	71.79	29	13	0	0	29.89	5	7
T4	Fehu	5	T	23	Dic-16	73.44	30	13	0	0	30.57	5	7
T0	Fehu	5	NPK	24	Dic-16	74.67	29	13	0	0	29.95	5	7
T1	Fehu	5	N	25	Dic-16	69.22	30	13	0	0	30.28	5	7

T7	Fedo	1	P	26	Dic-16	75.23	30	15	0	0	31.50	5	8
T8	Fedo	1	K	27	Dic-16	67.63	32	11	0	0	34.48	5	8
T9	Fedo	1	T	28	Dic-16	77.42	38	14	3	0	47.55	6	9
T5	Fedo	1	NPK	29	Dic-16	58.92	32	15	0	0	35.26	5	8
T6	Fedo	1	N	30	Dic-16	87.3	38	16	0	0	48.33	6	9
T9	Fedo	2	T	31	Dic-16	71.92	30	14	0	0	30.33	5	7
T7	Fedo	2	P	32	Dic-16	69.26	29	13	0	0	30.11	5	7
T5	Fedo	2	NPK	33	Dic-16	55.24	32	10	0	0	35.46	5	8
T6	Fedo	2	N	34	Dic-16	74.86	30	13	0	0	30.55	5	7
T8	Fedo	2	K	35	Dic-16	72.87	30	13	0	0	30.88	5	7
T5	Fedo	3	NPK	36	Dic-16	71.88	30	13	0	0	30.90	5	7
T6	Fedo	3	N	37	Dic-16	73.8	29	13	0	0	30.11	5	7
T7	Fedo	3	P	38	Dic-16	75.86	30	12	0	0	31.02	5	7
T8	Fedo	3	K	39	Dic-16	72.03	30	13	0	0	30.38	5	7
T9	Fedo	3	T	40	Dic-16	72.55	29	14	0	0	29.97	5	7
T8	Fedo	4	K	41	Dic-16	74.45	29	13	0	0	30.09	5	7
T5	Fedo	4	NPK	42	Dic-16	71.69	30	13	0	0	30.62	5	7
T6	Fedo	4	N	43	Dic-16	71.89	30	13	0	0	30.40	5	7
T9	Fedo	4	T	44	Dic-16	69.93	30	13	0	0	30.29	5	7
T7	Fedo	4	P	45	Dic-16	71.49	29	13	0	0	29.48	5	7
T6	Fedo	5	N	46	Dic-16	74	29	13	0	0	30.23	5	7
T9	Fedo	5	T	47	Dic-16	70.78	30	13	0	0	30.76	5	7
T8	Fedo	5	K	48	Dic-16	69.43	29	14	0	0	30.04	5	7
T7	Fedo	5	P	49	Dic-16	72.87	29	13	0	0	30.09	5	7
T5	Fedo	5	NPK	50	Dic-16	47.84	32	11	0	0	35.09	5	8
T0	Fehu	1	NPK	1	feb-17	28.83	15	4	4	0	13.95	3	4
T1	Fehu	1	N	2	feb-17	32.1	18	5	3.67	0	16.00	3	5

T2	Fehu	1	P	3	feb-17	29.13	18	3	2.5	0	16.52	3	5
T3	Fehu	1	K	4	feb-17	32.93	19	4	2	0	17.02	3	5
T4	Fehu	1	T	5	feb-17	47.28	25	7	6.5	0	23.82	4	7
T1	Fehu	2	N	6	feb-17	37.08	20	8	5.33	0	18.15	3	6
T4	Fehu	2	T	7	feb-17	61.8	14	4	3	0	13.48	3	4
T3	Fehu	2	K	8	feb-17	32.63	18	5	5	0	16.19	3	5
T2	Fehu	2	P	9	feb-17	28.93	17	7	6.5	0	15.19	3	5
T0	Fehu	2	NPK	10	feb-17	29.88	18	5	3	0	16.19	3	5
T3	Fehu	3	K	11	feb-17	22.9	21	6	4.5	0	18.89	3	6
T0	Fehu	3	NPK	12	feb-17	44.28	18	5	2	0	16.36	3	5
T1	Fehu	3	N	13	feb-17	34.08	18	5	4.5	0	15.93	3	5
T4	Fehu	3	T	14	feb-17	19.08	24	6	4	0	21.74	4	6
T2	Fehu	3	P	15	feb-17	28.4	19	6	2.5	0	17.02	3	5
T4	Fehu	4	T	16	feb-17	33.25	17	9	2.6	0	15.43	3	5
T2	Fehu	4	P	17	feb-17	27	18	8	1.8	0	16.52	3	5
T0	Fehu	4	NPK	18	feb-17	26.5	17	10	4.75	0	15.73	3	5
T1	Fehu	4	N	19	feb-17	40.73	20	11	6	0	17.92	3	5
T3	Fehu	4	K	20	feb-17	26.1	18	10	6	0	15.93	3	5
T2	Fehu	5	P	21	feb-17	46.8	18	10	4	0	15.88	3	5
T3	Fehu	5	K	22	feb-17	44.35	18	8	5	0	16.52	3	5
T4	Fehu	5	T	23	feb-17	40.33	18	8	3.25	0	16.04	3	5
T0	Fehu	5	NPK	24	feb-17	27.53	19	12	7.5	0	16.85	3	5
T1	Fehu	5	N	25	feb-17	43.63	17	13	4.25	0	15.58	3	5
T7	Fedo	1	P	26	feb-17	79.63	24	9	0	0	22.53	4	6
T8	Fedo	1	K	27	feb-17	61	26	4	0	0	24.85	4	7
T9	Fedo	1	T	28	feb-17	61.05	29	7	0	0	29.43	4	7
T5	Fedo	1	NPK	29	feb-17	64.4	28	8	0	0	27.42	4	7

T6	Fedo	1	N	30	feb-17	64.17	27	5	0	0	26.28	4	7
T9	Fedo	2	T	31	feb-17	55.77	23	9	1	0	21.42	4	6
T7	Fedo	2	P	32	feb-17	59.47	21	5	0	0	18.89	3	6
T5	Fedo	2	NPK	33	feb-17	44.32	24	7	2.33	0	22.22	4	6
T6	Fedo	2	N	34	feb-17	43.65	25	5	2	0	23.23	4	6
T8	Fedo	2	K	35	feb-17	44.93	35	6	4	0	42.15	5	9
T5	Fedo	3	NPK	36	feb-17	34.13	29	13	1	0	30.11	5	7
T6	Fedo	3	N	37	feb-17	55.47	26	6	3.5	0	24.29	4	7
T7	Fedo	3	P	38	feb-17	56.53	27	5	2.5	0	26.28	4	7
T8	Fedo	3	K	39	feb-17	43.03	26	9	4	0	24.29	4	7
T9	Fedo	3	T	40	feb-17	85.7	23	4	1	0	21.42	4	6
T8	Fedo	4	K	41	feb-17	48.2	36	8	3.75	0	43.09	5	9
T5	Fedo	4	NPK	42	feb-17	132.6	26	6	2	0	24.50	4	7
T6	Fedo	4	N	43	feb-17	43.62	30	9	1.67	0	30.80	5	7
T9	Fedo	4	T	44	feb-17	88.18	24	7	1	0	22.22	4	6
T7	Fedo	4	P	45	feb-17	47.53	29	6	1	0	30.11	5	7
T6	Fedo	5	N	46	feb-17	99.9	27	8	1.25	0	26.58	4	7
T9	Fedo	5	T	47	feb-17	52.23	24	12	3.5	0	21.98	4	6
T8	Fedo	5	K	48	feb-17	47.58	23	9	2.5	0	21.50	4	6
T7	Fedo	5	P	49	feb-17	65.02	31	13	1.33	0	33.33	5	8
T5	Fedo	5	NPK	50	feb-17	61.63	37	6	1.5	0	46.53	6	9
T0	Fehu	1	NPK	1	dic-jul-176	59	19	75	9.2	21.6	17.37	3	5
T1	Fehu	1	N	2	dic-jul-176	27.4	21	49	5.4	7.4	19.22	4	6
T2	Fehu	1	P	3	dic-jul-176	40.5	21	79	9	25.4	18.49	3	6
T3	Fehu	1	K	4	dic-jul-176	28.3	22	73	5.2	17	20.19	4	6

T4	Fehu	1	T	5	dic-jul-176	138.2	17	65	4.4	10.8	15.25	3	5
T1	Fehu	2	N	6	dic-jul-176	44.4	21	64	8.6	15	18.39	3	6
T4	Fehu	2	T	7	dic-jul-176	84.3	18	57	9.2	10.4	15.88	3	5
T3	Fehu	2	K	8	dic-jul-176	84.6	20	51	4.8	6.4	17.46	3	5
T2	Fehu	2	P	9	dic-jul-176	254.9	25	54	9.2	10.2	23.82	4	7
T0	Fehu	2	NPK	10	dic-jul-176	76.9	29	59	10	12.8	29.02	4	7
T3	Fehu	3	K	11	dic-jul-176	308.6	22	58	8.2	10.6	19.50	4	6
T0	Fehu	3	NPK	12	dic-jul-176	66.5	20	63	5.6	13.4	18.23	3	6
T1	Fehu	3	N	13	dic-jul-176	72	24	44	5.8	6	21.82	4	6
T4	Fehu	3	T	14	dic-jul-176	73	27	61	10.8	13.2	26.58	4	7
T2	Fehu	3	P	15	dic-jul-176	46.4	21	74	10	21.6	19.09	4	6
T4	Fehu	4	T	16	dic-jul-176	54.9	24	74	9.8	21.6	21.98	4	6
T2	Fehu	4	P	17	dic-jul-176	64.5	26	78	10.6	26.6	25.41	4	7
T0	Fehu	4	NPK	18	dic-jul-176	75.6	19	59	5.6	9.6	16.81	3	5
T1	Fehu	4	N	19	dic-jul-176	83.2	27	79	11	27	26.89	4	7
T3	Fehu	4	K	20	dic-jul-176	84.4	19	55	7.2	8.6	16.68	3	5
T2	Fehu	5	P	21	dic-jul-176	50	22	75	12	24	19.92	4	6
T3	Fehu	5	K	22	dic-jul-176	87.9	23	79	11.6	28	21.27	4	6
T4	Fehu	5	T	23	dic-jul-176	76.6	22	78	8.6	25.8	20.19	4	6

T0	Fehu	5	NPK	24	dic-jul-176	54.7	25	72	12.4	21.2	23.76	4	7
T1	Fehu	5	N	25	dic-jul-176	73.2	18	75	10.2	22.6	16.19	3	5
T7	Fedo	1	P	26	dic-jul-176	50.7	29	54	4.2	6.4	29.43	4	7
T8	Fedo	1	K	27	dic-jul-176	380.6	33	47	3.8	5.6	36.88	5	8
T9	Fedo	1	T	28	dic-jul-176	74.4	30	62	7.8	12	30.80	5	7
T5	Fedo	1	NPK	29	dic-jul-176	72.5	34	51	9.6	8.2	38.14	5	8
T6	Fedo	1	N	30	dic-jul-176	30.6	44	61	10	13	66.64	6	10
T9	Fedo	2	T	31	dic-jul-176	78.2	25	58	7	9.6	22.98	4	6
T7	Fedo	2	P	32	dic-jul-176	76.9	32	64	9.6	14	34.48	5	8
T5	Fedo	2	NPK	33	dic-jul-176	41.4	51	69	17.6	19.8	92.19	7	12
T6	Fedo	2	N	34	dic-jul-176	156.5	52	67	16.4	18.4	96.63	7	12
T8	Fedo	2	K	35	dic-jul-176	28.8	49	57	12.4	11.4	87.06	7	11
T5	Fedo	3	NPK	36	dic-jul-176	149.8	45	67	14.8	18.4	70.10	7	11
T6	Fedo	3	N	37	dic-jul-176	48.2	31	69	14.2	19.6	32.59	5	8
T7	Fedo	3	P	38	dic-jul-176	59.9	52	63	15.4	15	96.18	7	12
T8	Fedo	3	K	39	dic-jul-176	129.7	47	62	14	14.4	78.23	7	11
T9	Fedo	3	T	40	dic-jul-176	79.1	45	42	4.6	5.8	68.35	6	10
T8	Fedo	4	K	41	dic-jul-176	88.4	44	66	12.2	16.8	65.29	6	10
T5	Fedo	4	NPK	42	dic-jul-176	48.2	42	57	8	11	59.33	6	10

T6	Fedo	4	N	43	dic-jul-176	142.7	39	74	12.6	23.6	51.84	6	9
T9	Fedo	4	T	44	dic-jul-176	122.2	35	50	4.6	7.2	41.23	5	8
T7	Fedo	4	P	45	dic-jul-176	51.8	40	58	10.4	11.8	52.96	6	9
T6	Fedo	5	N	46	dic-jul-176	179.1	36	60	7	11.6	42.98	5	9
T9	Fedo	5	T	47	dic-jul-176	54.3	36	79	10.8	27	42.62	5	9
T8	Fedo	5	K	48	dic-jul-176	82.1	36	79	10.8	27	42.62	5	9
T7	Fedo	5	P	49	dic-jul-176	55.3	33	62	7.4	13	36.88	5	8
T5	Fedo	5	NPK	50	dic-jul-176	58.1	42	78	14.2	28.4	58.86	6	10

**Anexo 1. ANVA de altura inicio precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo	5	152.94055	30.58811	4.62	0.0816	NS
Especie	1	66.61561	66.61561	10.06	0.0338	*
Bloque	4	86.32494	21.581235	3.26	0.1394	NS
Error	4	26.47654	6.619135			
Total	9	179.41709				
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Media Altura</b>			
0.852	11.636	2.573	22.111			

**Anexo 2. ANVA de altura máxima precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo	5	431.5431	86.30862	21.15	0.0056	NS
Especie	1	281.74864	281.74864	69.03	0.0011	**
Bloque	4	149.79446	37.448615	9.18	0.0271	**
Error	4	16.32506	4.081265			
Total	9	447.86816				
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Media Altura</b>			
0.964	8.777	2.020	23.018			

**Anexo 3. ANVA de altura mínima precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo	5	651.0675	130.2135	18.62	0.0071	**
Especie	1	383.161	383.161	54.8	0.0018	**
Bloque	4	267.9065	66.976625	9.58	0.0251	*
Error	4	27.9665	6.991625			
Total	9	679.034				
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Media Altura</b>			
0.959	9.542	2.644	27.710			

**Anexo 4. ANVA de volumen inicio precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo	5	308975.4643	61795.0929	6.9	0.0424	*
Especie	1	118914.3046	118914.3046	13.28	0.0219	*
Bloque	4	190061.1597	47515.2899	5.3	0.0675	NS
Error	4	35828.2394	8957.0599			
Total	9	344803.7037				
R <sup>2</sup>	Coeficiente de variación	Raíz CME	Media Altura			
0.896	21.974	94.642	430.701			

**Anexo 5. ANVA de volumen máxima precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo	5	1244375.256	248875.051	9.68	0.0236	*
Especie	1	714096.0103	714096.0103	27.76	0.0062	**
Bloque	4	530279.2458	132569.8114	5.15	0.0706	*
Error	4	102880.144	25720.036			
Total	9	1347255.4				
R <sup>2</sup>	Coeficiente de variación	Raíz CME	Media Altura			
0.924	30.585	160.375	524.356			

**Anexo 6. ANVA de volumen mínima precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo	5	3951755.346	790351.069	4.75	0.0783	NS
Especie	1	2146578.896	2146578.896	12.89	0.023	*
Bloque	4	1805176.45	451294.113	2.71	0.1788	NS
Error	4	666060.884	166515.221			
Total	9	4617816.23				
R <sup>2</sup>	Coeficiente de variación	Raíz CME	Media Altura			
0.856	47.273	408.063	863.198			

**Anexo 7. ANVA de número de macollos basales inicio precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo	5	31.0879	6.21758	1.12	0.4684	NS
Especie	1	2.87296	2.87296	0.52	0.5112	NS
Bloque	4	28.21494	7.053735	1.27	0.4101	NS
Error	4	22.15094	5.537735			
Total	9	53.23884				
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Media Altura</b>			
0.584	32.078	2.353	7.336			

**Anexo 8. ANVA de número de macollos basales máxima precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo	5	18.05323	3.610646	0.51	0.759	NS
Especie	1	3.51649	3.51649	0.5	0.5185	NS
Bloque	4	14.53674	3.634185	0.52	0.7309	NS
Error	4	28.13246	7.033115			
Total	9	46.18569				
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Media Altura</b>			
0.391	32.737	2.652	8.101			

**Anexo 9. ANVA de número de macollos basales mínima precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo	5	957.943004	191.588601	2.7	0.1785	NS
Especie	1	185.0835356	185.0835356	2.61	0.1815	NS
Bloque	4	772.8594681	193.214867	2.72	0.1775	NS
Error	4	283.638332	70.909583			
Total	9	1241.581335				
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Media Altura</b>			
0.772	13.435	8.421	62.677			

**Anexo 10. ANVA de porcentaje de macollos florales inicio precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
<b>Modelo</b>	5	5870.30325	1174.06065	1.96	0.2675	NS
<b>Especie</b>	1	5087.772053	5087.772053	8.48	0.0436	*
<b>Bloque</b>	4	782.531197	195.632799	0.33	0.8483	NS
<b>Error</b>	4	2399.041768	599.760442			
<b>Total</b>	9	8269.345019				
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Media Altura</b>			
0.710	64.222	24.490	38.133			

**Anexo 11. ANVA de porcentaje de macollos florales máxima precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
<b>Modelo</b>	5	29.550542	5.910108	0.02	0.9996	NS
<b>Especie</b>	1	6.93935951	6.93935951	0.03	0.8806	NS
<b>Bloque</b>	4	22.61118261	5.65279565	0.02	0.9988	NS
<b>Error</b>	4	1084.126814	271.031704			
<b>Total</b>	9	1113.677356				
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Media Altura</b>			
0.027	48.863	16.463	33.693			

**Anexo 12. ANVA de porcentaje de macollos florales mínima precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
<b>Modelo</b>	5	35.35183208	7.07036642	0.5	0.766	NS
<b>Especie</b>	1	4.44911503	4.44911503	0.32	0.6042	NS
<b>Bloque</b>	4	30.90271705	7.72567926	0.55	0.7126	NS
<b>Error</b>	4	56.35898468	14.08974617			
<b>Total</b>	9	91.71081677				
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Media Altura</b>			
<b>0.385</b>	<b>30.466</b>	<b>3.754</b>	<b>12.321</b>			

**Anexo 13. ANVA de porcentaje de macollos muertos mínima precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo						
Especie						
Bloque						
Error						
Total						
R <sup>2</sup>	Coefficiente de variación	Raíz CME	Media Altura			

**Anexo 14. ANVA de porcentaje de macollos muertos máxima precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo	5	29.550542	5.910108	0.02	0.9996	NS
Especie	1	6.93935951	6.93935951	0.03	0.8806	NS
Bloque	4	22.61118261	5.65279565	0.02	0.9988	NS
Error	4	1084.126814	271.031704			
Total	9	1113.677356				
R <sup>2</sup>	Coefficiente de variación	Raíz CME	Media Altura			
0.027	24.828	16.463	66.307			

**Anexo 15. ANVA de porcentaje de macollos muertos mínima precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo	5	433.99343	86.798686	3.33	0.1333	NS
Especie	1	43.2459605	43.2459605	1.66	0.2669	NS
Bloque	4	390.7474695	97.6868674	3.75	0.1142	NS
Error	4	104.1383298	26.0345824	538.1317598		
Total	9	538.1317598				
R <sup>2</sup>	Coefficiente de variación	Raíz CME	Media Altura			
0.806	23.521	5.102	21.693			

**Anexo 16. ANVA de tasa de transpiración inicio precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo	5	2251.69107	450.338214	0.94	0.5393	NS
Especie	1	1993.46161	1993.46161	4.16	0.1111	NS
Bloque	4	258.22946	64.557365	0.13	0.9611	NS
Error	4	1918.09494	479.523735			
Total	9	4169.78601				
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Media Altura</b>			
0.540	40.204	21.898	54.467			

**Anexo 17. ANVA de tasa de transpiración máxima precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo	5	2197.2865	439.4573	0.56	0.7333	NS
Especie	1	0.169	0.169	0	0.989	NS
Bloque	4	2197.1175	549.279375	0.7	0.6332	NS
Error	4	3158.6385	789.659625			
Total	9	5355.925				
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Media Altura</b>			
0.410	31.738	28.101	88.540			

**Anexo 18. ANVA de tasa de transpiración mínima precipitación**

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F-Valor	Pr > F	Significancia
Modelo	5	1898.76	379.752	0.33	0.87	NS
Especie	1	35.344	35.344	0.03	0.8687	NS
Bloque	4	1863.416	465.854	0.41	0.7958	NS
Error	4	4550.376	1137.594			
Total	9	6449.136				
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Media Altura</b>			
0.294	40.383	33.728	83.520			

**Anexo 19. ANVA de volumen fertilizado**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Contraste SC</b>	<b>Cuadrado de la media</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Tratamiento</b>	9	3015644.6	335071.63	5.89	<.0001
<b>Fehu vs Fedo</b>	1	118914.3	118914.3	2.09	0.1569
<b>Fehu N vs CT</b>	1	8966.9922	8966.9922	0.16	0.6937
<b>Fehu P vs CT</b>	1	16079.993	16079.993	0.28	0.5982
<b>Fehu K vs CT</b>	1	6733.445	6733.445	0.12	0.7328
<b>Fehu NPK vs CT</b>	1	5024.7292	5024.7292	0.09	0.768
<b>Fedo N vs CT</b>	1	40112.307	40112.307	0.71	0.4066
<b>Fedo P vs CT</b>	1	118616.3	118616.3	2.09	0.1574
<b>Fedo K vs CT</b>	1	296684.74	296684.74	5.22	0.0284
<b>Fedo NPK vs CT</b>	1	223761.05	223761.05	3.93	0.054
<b>Bloque</b>	4	10169.252	2542.3131	1.97	0.0985
<b>Error</b>	36	2048004.5	56889.014		
<b>Total corregido</b>	49	5147990.8			
<b>R-cuadrado</b>	<b>CV</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Promedio</b>		
0.602	48.517	238.514	491.609		

Sumatoria de la suma de cuadrado de los contrastes= Suma de cuadrados de tratamiento

**Anexo 20. ANVA de altura fertilizado**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Contraste SC</b>	<b>Cuadrado de la media</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Tratamiento</b>	9	1040.977922	115.664214	9.44	<.0001
<b>Fehu vs Fedo</b>	1	66.61561	66.61561	5.44	0.0254
<b>Fehu N vs CT</b>	1	2.28484	2.28484	0.19	0.6685
<b>Fehu P vs CT</b>	1	5.74564	5.74564	0.47	0.4979
<b>Fehu K vs CT</b>	1	1.28164	1.28164	0.1	0.7483
<b>Fehu NPK vs CT</b>	1	4.71969	4.71969	0.39	0.5388
<b>Fedo N vs CT</b>	1	11.96836	11.96836	0.98	0.3296
<b>Fedo P vs CT</b>	1	13.924	13.924	1.14	0.2935
<b>Fedo K vs CT</b>	1	51.71076	51.71076	4.22	0.0473
<b>Fedo NPK vs CT</b>	1	42.60096	42.60096	3.48	0.0704
<b>Bloque</b>	4	23.634352	5.908588	0.48	0.7486
<b>Error</b>	36	441.150488	12.25418		
<b>Total corregido</b>	49	1505.762762			
<b>R-cuadrado</b>	<b>CV</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Promedio</b>		
0.707	15.315	3.501	22.857		

Sumatoria de la suma de cuadrado de los contrastes= Suma de cuadrados de tratamiento

**Anexo 21. ANVA de número de macollos basales fertilizado**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Contraste SC</b>	<b>Cuadrado de la media</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Tratamiento</b>	9	17.89668	1.98852	0.4	0.9266
<b>Fehu vs Fedo</b>	1	2.87296	2.87296	0.58	0.4518
<b>Fehu N vs CT</b>	1	5.06944	5.06944	1.02	0.319
<b>Fehu P vs CT</b>	1	0.004	0.004	0	0.9775
<b>Fehu K vs CT</b>	1	0.31684	0.31684	0.06	0.802
<b>Fehu NPK vs CT</b>	1	1.58404	1.58404	0.32	0.5757
<b>Fedo N vs CT</b>	1	5.41696	5.41696	1.09	0.3032
<b>Fedo P vs CT</b>	1	1.521	1.521	0.31	0.5834
<b>Fedo K vs CT</b>	1	1.19716	1.19716	0.24	0.6264
<b>Fedo NPK vs CT</b>	1	0.01156	0.01156	0	0.9618
<b>Bloque</b>	4	127.27978	31.819945	6.41	0.0005
<b>Error</b>	36	178.74134	4.9650372		
<b>Total corregido</b>	49	323.9178			
<b>R-cuadrado</b>	<b>CV</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Promedio</b>		
0.448	30.802	2.228	7.234		

Sumatoria de la suma de cuadrado de los contrastes= Suma de cuadrados de tratamiento

**Anexo 22. ANVA de porcentaje de macollos florales fertilizado**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Contraste SC</b>	<b>Cuadrado de la media</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Tratamiento</b>	9	21515.71954	2390.6355	5.47	<.0001
<b>Fehu vs Fedo</b>	1	5087.772053	5087.772053	11.65	0.0016
<b>Fehu N vs CT</b>	1	39.111365	39.111365	0.09	0.7665
<b>Fehu P vs CT</b>	1	77.410771	77.410771	0.18	0.6762
<b>Fehu K vs CT</b>	1	270.329019	270.329019	0.62	0.4366
<b>Fehu NPK vs CT</b>	1	262.319922	262.319922	0.6	0.4434
<b>Fedo N vs CT</b>	1	380.997199	380.997199	0.87	0.3565
<b>Fedo P vs CT</b>	1	193.982992	193.982992	0.44	0.5093
<b>Fedo K vs CT</b>	1	1118.696942	1118.696942	2.56	0.1182
<b>Fedo NPK vs CT</b>	1	42.514159	42.514159	0.1	0.7568
<b>Bloque</b>	4	3744.86873	936.21718	2.14	0.0954
<b>Error</b>	36	15720.96221	436.69339		
<b>Total corregido</b>	49	40981.55049			
<b>R-cuadrado</b>	<b>CV</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Promedio</b>		
0.616	48.740	20.897	42.875		

Sumatoria de la suma de cuadrado de los contrastes= Suma de cuadrados de tratamiento

**Anexo 23. ANVA de porcentaje de macollos muertos fertilizado**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Contraste SC</b>	<b>Cuadrado de la media</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Tratamiento</b>	9	386.0885327	42.8987259	1.11	0.3811
<b>Fehu vs Fedo</b>	1	43.2459605	43.2459605	1.12	0.2973
<b>Fehu N vs CT</b>	1	0.45411022	0.45411022	0.01	0.9143
<b>Fehu P vs CT</b>	1	74.44046824	74.44046824	1.93	0.1738
<b>Fehu K vs CT</b>	1	19.48637062	19.48637062	0.5	0.4823
<b>Fehu NPK vs CT</b>	1	16.25350189	16.25350189	0.42	0.5209
<b>Fedo N vs CT</b>	1	89.11121195	89.11121195	2.3	0.1377
<b>Fedo P vs CT</b>	1	16.07619567	16.07619567	0.42	0.5231
<b>Fedo K vs CT</b>	1	29.48881372	29.48881372	0.76	0.3883
<b>Fedo NPK vs CT</b>	1	86.7397947	86.7397947	2.24	0.1429
<b>Bloque</b>	4	735.3776038	183.844401	4.75	0.0035
<b>Error</b>	36	1391.943836	38.665107		
<b>Total corregido</b>	49	2513.409973			
<b>R-cuadrado</b>	<b>CV</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Promedio</b>		
0.446	26.536	6.218	23.432		

Sumatoria de la suma de cuadrado de los contrastes= Suma de cuadrados de tratamiento

**Anexo 24. ANVA de tasa de transpiración fertilizado**

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Contraste SC</b>	<b>Cuadrado de la media</b>	<b>F-Valor</b>	<b>Pr &gt; F</b>
<b>Tratamiento</b>	9	10635.61942	1181.73549	3.87	0.0017
<b>Fehu vs Fedo</b>	1	1993.46161	1993.46161	6.53	0.015
<b>Fehu N vs CT</b>	1	19.93744	19.93744	0.07	0.7998
<b>Fehu P vs CT</b>	1	172.05904	172.05904	0.56	0.4577
<b>Fehu K vs CT</b>	1	183.44089	183.44089	0.6	0.4433
<b>Fehu NPK vs CT</b>	1	0.35721	0.35721	0	0.9729
<b>Fedo N vs CT</b>	1	130.46544	130.46544	0.43	0.5175
<b>Fedo P vs CT</b>	1	385.26849	385.26849	1.26	0.2687
<b>Fedo K vs CT</b>	1	964.12761	964.12761	3.16	0.084
<b>Fedo NPK vs CT</b>	1	3.42225	3.42225	0.01	0.9163
<b>Bloque</b>	4	885.93693	221.48423	0.73	0.5804
<b>Error</b>	36	10992.04727	305.33465		
<b>Total corregido</b>	49	22513.60362			
<b>R-cuadrado</b>	<b>CV</b>	<b>Raíz CME</b>	<b>Promedio</b>		
0.512	36.324	17.474	48.106		

Sumatoria de la suma de cuadrado de los contrastes= Suma de cuadrados de tratamiento