

Estrategias para mejorar los pastizales altoandinos: el rol del trébol y la fertilización con fósforo

Strategies to improve High Andean rangelands: the role of clover and phosphorous fertilization

Nila Lima Molina^{1,3}, Lucrecia Aguirre Terrazas^{1,2}, Enrique Flores Mariazza^{1,2}

RESUMEN

Un estudio de campo fue conducido para evaluar el impacto de la fertilización fosforada y la introducción del trébol blanco (*Trifolium repens*) en praderas naturales dominadas por *Festuca dolichophylla* (festuca). El área de estudio estuvo ubicada a 4500 msnm, en el sector Ayaracra, región Pasco, la cual corresponde a la eco región Puna del Perú. El diseño experimental fue factorial 2x2x5 en bloques con dos niveles de fósforo (0 y 80 kg/ha), dos distanciamientos entre puntos de siembra (0.5 y 1.0 m) y cinco épocas climáticas de crecimiento. Se evaluó la altura de planta, expansión foliar, vigor (volumen, altura), peso de la planta (g/m²), número de cabezas florales (inflorescencias), grado de nodulación, contenido de nitrógeno en la hojas y tallos de festuca y contenido de nitrógeno en el suelo con presencia de trébol. La fertilización con fósforo (80 kg/ha) y el distanciamiento de siembra (0.5 m) mostraron un efecto significativo en la altura, expansión foliar y grado de nodulación del trébol. En la festuca, la fertilización fosforada mostró una mejora significativa en el volumen y altura de planta, el distanciamiento de siembra de 0.5 m mejoró el número de inflorescencias, y el distanciamiento a 1 m mejoró la altura. La precipitación (durante el pico de lluvia) favoreció la respuesta de expansión foliar y altura de planta del trébol y festuca.

Palabras clave: trébol blanco, festuca, pastizales, fertilización

¹ Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

² Departamento de Producción Animal, Facultad de Zootecnia, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

³ E-mail: quillaurpi@gmail.com

Recibido: 12 de junio de 2019

Aceptado para publicación: 8 de mayo de 2020

Publicado: 22 de junio de 2020

ABSTRACT

A field study was conducted to evaluate the impact of phosphorous fertilization and the introduction of white clover (*Trifolium repens*) in native grasslands dominated by *Festuca dolichophylla* (fescua). The study area was located at 4500 m of altitude in the Ayaracra sector, Pasco region, which corresponds to the Puna ecoregion of Peru. The experimental design was a 2x2x5 factorial in blocks with two levels of phosphorus (0 and 80 kg/ha), two distances between clump seeding gaps (0.5 and 1.0 m) and five climatic seasons. Plant height, foliar expansion, vigor (volume, height), plant weight (g/m²), number of flowering heads (inflorescences), degree of nodulation, nitrogen content in the leaves and stems of fescue were evaluated and nitrogen content in the soil where white clover was present. Phosphorus fertilization (80 kg/ha) and planting spacing (0.5 cm) showed a significant effect on the clover height, foliar expansion and degree of nodulation. In *F. dolichophylla*, phosphorous fertilization showed a significant improvement in plant volume and height, planting spacing of 0.5 cm improved the number of inflorescences and spacing at 1 m improved height. Precipitation (during the rain peak) favored the response of foliar expansion and plant height.

Key words: white clover, fescue, mountain rangelands, fertilization

INTRODUCCIÓN

La puna, una región montañosa que se extiende a lo largo de los Andes peruanos, alberga más de 14 millones de hectáreas de pastizales de vegetación nativa, dominada mayormente por pajonales y en menor proporción por arbustales y bofedales. Estas pasturas constituyen la principal fuente de alimentación para más del 80% de la ganadería extensiva del Perú (Flores, 2016). El desarrollo de la ganadería en esta región, a pesar de su importancia económico-ecológica, no está libre de limitaciones, pues los suelos son pobres en nitrógeno y fósforo (Wilcox, 1984) y las gramíneas, componente principal de los pajonales, no solo son pobres en estos elementos, sino que con el avance de la madurez, estos elementos caen por debajo de los niveles críticos estimados para la nutrición animal (Kalinowski *et al.*, 1970).

Las manejadores de pastizales han enfatizado dos estrategias para compensar por la deficiencia de nitrógeno y fósforo en el

suelo: la fertilización mineral y la fijación de nitrógeno a través de la introducción de leguminosas mejoradas. La fertilización con nitrógeno incrementa la productividad aérea y la eficiencia en el uso del agua (Elliot y Abbott, 2003), así como el contenido de nitrógeno en las plantas y la dieta de los animales; sin embargo, esta estrategia es costosa y puede generar efectos negativos en el ecosistema, a nivel de la composición florística (Aydin y Uzun, 2004) y en el complejo agua-suelo (Monaghan *et al.*, 2005). La introducción de leguminosas como tréboles exóticos constituye una práctica efectiva para mejorar las condiciones de nitrógeno en el suelo y mejorar la calidad de la oferta forrajera para el ganado (Rumbaugh *et al.*, 1981), en tanto que el fósforo estimula el desarrollo radicular, el crecimiento de las plantas y la fijación del nitrógeno por las leguminosas (Quintero *et al.*, 1997). Con base a esto, se necesita dilucidar el efecto que estos elementos tendrían en el establecimiento y desarrollo de leguminosas en asociación con gramíneas nativas (Argote y Halanoca, 2004).

Hay una interacción entre el fósforo y el nitrógeno. Pastizales que recibieron fosforo y nitrógeno produjeron más forraje que aquellos que recibieron solo nitrógeno o fósforo (Black y Wight, 1972); es más, los incrementos en la disponibilidad de estos elementos en el suelo atenúan el efecto negativo que podría tener la aplicación de solamente nitrógeno en la aparición de malezas y la reducción en la proporción de leguminosas en la comunidad vegetal (Aydin y Uzun, 2004). El presente estudio tuvo como propósito evaluar el efecto de la fertilización fosforada en el establecimiento y desarrollo del trébol blanco (*Trifolium repens*) sembrado a diferentes distanciamientos y examinar el efecto de estos factores sobre el vigor y contenido de nitrógeno de la planta clave *Festuca dolichophylla*, una gramínea matorral dominante en pajonales de la puna húmeda de la sierra central del Perú.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en un pastizal de condición regular localizado a 4200 msnm en una zona de topografía ligeramente ondulada y colinada en la región Pasco, localidad Ayaracra. El ecosistema corresponde a un pastizal alto andino clasificado según Holdridge (1987) como páramo muy húmedo – subalpino tropical (Pmh – SaT). Los suelos del área de estudio son profundos y tienen influencia volcánica y glacial. La temperatura media anual máxima es de 13.9 °C y la media anual mínima de -4.2 °C, con un promedio anual de 6.7 °C. El promedio de precipitación anual es de 1191.8 mm, siendo diciembre-marzo los meses con mayor precipitación, y junio-agosto los de menor precipitación. El rango de evapotranspiración es de 5.6-61.2 mm (promedio mensual: 34.8 mm).

El área de estudio abarcó una superficie de 160 m², dominada por una asociación de *Festuca dolichophylla* y *Calamagrostis vicuniarum*, con una larga historia de pastoreo mixto de vacunos y ovinos. El análisis de

la caracterización realizado en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria, Lima, reveló un contenido de nitrógeno de 0.66%, materia orgánica 12.25%, fosforo 5.5 ppm, calcio 13.47mg/100 g y un pH de 4.9.

Tratamientos

Los tratamientos fueron la combinación factorial de dos niveles de fósforo (0 y 80 kg/ha) y dos distanciamientos de siembra entre golpes (0.5 y 1.0 m). Se utilizó el trébol blanco variedad Huía, previamente inoculada con *Rhizobium leguminosarum*, y sembrada a una profundidad no mayor de 2 cm, a razón de 20 semillas por golpe (hoyos), lo que aproximadamente representa 0.223 kg/ha y 0.564 kg/ha para los tratamientos de distanciamiento entre golpes de 1.0 y 0.5 m respectivamente. El fosfato diamónico (18% de N, 46% de P₂O₅) fue utilizado como fuente de fertilizante fosforado. Los tratamientos fueron asignados al azar en parcelas de 20 m², donde los bloques (2) correspondieron a las réplicas espaciales de los tratamientos. Para minimizar el efecto de borde se dejó una franja de 0.5 m entre parcelas.

Los parámetros evaluados durante el establecimiento y crecimiento del trébol blanco fueron la altura de la planta (cm) y la expansión foliar (cm²), definida esta última como el área de suelo cubierta por el trébol. Los muestreos se llevaron a cabo en cinco periodos estacionales: final de lluvias (abril), seca (junio), transición (octubre), inicio de lluvias (diciembre) y pico de lluvia (marzo).

Para estimar la contribución del trébol blanco se determinó el estado de nitrógeno de la gramínea (festuca), el número y diámetro de los nódulos (Campillo *et al.*, 2003), así como el contenido de nitrógeno en el suelo (%) por el método de Kjeldahl. Los parámetros evaluados en la gramínea clave (festuca) fueron altura y volumen, número de cabezas florales (inflorescencias), biomasa aérea de la planta (g/m²) durante el último

Cuadro 1. Respuesta del trébol blanco (*Trifolium repens*) y festuca (*Festuca dolichophylla*) a la fertilización fosforada

| Variables | Fósforo (kg/ha) | | Significancia |
|-------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| | 0 | 80 | |
| Trébol blanco | | | |
| Altura (cm) | 3.90 ^b | 6.30 ^a | 0.0001 |
| Expansión foliar (cm ²) | 54.30 ^b | 99.0 ^a | 0.0019 |
| Nódulos (n) | 14.70 ^b | 17.81 ^a | 0.05 |
| Diámetro de nódulos (mm) | 1.90 ^b | 2.36 ^a | 0.02 |
| Nitrógeno en suelo (%) | 0.63 | 0.67 | 0.31 |
| Gramínea clave | | | |
| Cabezas florales (n) | 51.0 | 56.0 | 0.053 |
| Altura (cm) | 41.0 ^b | 46.80 ^a | 0.032 |
| Volumen (cm ³) | 137.17 ^b | 230.60 ^a | 0.034 |
| Biomasa aérea (g/m ²) | 1140.8 ^b | 2314.2 ^a | 0.004 |
| Nitrógeno en tallos (%) | 0.98 | 1.05 | 0.72 |
| Nitrógeno en hojas (%) | 1.40 | 1.70 | 0.37 |

^{a,b} Letras diferentes dentro de líneas indica diferencia significativa ($p < 0.05$)

mes de la estación lluviosa (marzo), usando cuadrantes de 1 m² y balanzas (precisión 0.1 g) y porcentaje de nitrógeno en plantas. El contenido de nitrógeno en el tallo y hojas de festuca se obtuvo utilizando el método Kjeldahl. Tres muestras de suelo y vegetación por parcela fueron tomadas al azar haciendo un total de 24 muestras experimentales que se utilizaron para estimar el contenido de nitrógeno.

Diseño Experimental

El análisis de datos se basó en un diseño de bloques al azar con arreglo factorial (2x2x5) donde los factores fueron dos niveles de fósforo, dos distanciamientos de siembra y los muestreos se realizaron en cinco periodos estacionales. Todos los datos fueron evaluados previamente usando la prueba de Bartlett para determinar la homogeneidad de las variancias. El programa SAS v. 9.2,

2007, fue utilizado para el análisis de variancia y la prueba de Duncan para determinar diferencias entre medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Respuesta a la Fertilización Fosforada

La aplicación del fósforo tuvo un efecto significativo sobre la altura y expansión foliar de la leguminosa ($p < 0.01$), lo que sugiere que la incorporación de fósforo estimuló el crecimiento y desarrollo del trébol blanco (Cuadro 1). La expansión foliar del trébol incrementó significativamente de 54.3 a 99.0 cm², lo que muestra que el trébol respondió positivamente a la mayor disponibilidad del fósforo, elemento que se encontraba en niveles considerados bajos (5.5 ppm) en el área de investigación. El fósforo es un nutriente esencial para los procesos metabólicos en

las leguminosas, particularmente para el crecimiento del sistema radicular y consecuentemente de la expansión del área foliar (Rivera, 2004; Vallejos, 2009). Las leguminosas tienen un mayor requerimiento de fósforo que las gramíneas (Ozanne *et al.*, 1969), de modo que la mayor disponibilidad de este elemento tuvo un rol determinante en la mejora de la altura y expansión foliar del trébol blanco. Estudios realizados por Rivera (2004) en la sierra central del Perú, región en la cual el fósforo representa una limitación de la producción primaria, reportó incrementos en la cobertura foliar del trébol de 11 a 25% al adicionar 80 y 160 kg/ha de P_2O_5 .

La fertilización fosforada estimula su pronta incorporación en las plantas para el metabolismo de nutrientes y almacenamiento de energía (Nielsen y Eiland, 1980; Stewart y Tiessen, 1987). Por otro lado, las condiciones de concentración de materia orgánica, temperatura y humedad del suelo del área de estudio (Flores *et al.*, 2005), se encontraban dentro de rangos que favorecen la absorción de este elemento (Domínguez, 1984; Muslera y Ratera, 1991). En contraste, el trébol en las áreas que no recibieron fósforo mostró menor crecimiento, probablemente por el menor desarrollo radicular y, en consecuencia, capacidad de absorción de agua y nutrientes disminuida. Cucho (2003) y Argote *et al.* (2013) encontraron en pastizales de zonas altoandinas del centro y sur del Perú porcentajes de cobertura foliar similares a los encontrados en el presente estudio cuando el factor limitante fue el fósforo.

La fertilización fosforada influyó favorablemente ($p < 0.05$) sobre el número y diámetro de nódulos (Cuadro 1), lo que revela que el fósforo tuvo un efecto positivo sobre la nodulación y en consecuencia sobre la fijación de nitrógeno y síntesis de proteína (Phillips, 1980; Picone y Zamuner, 2002; Moser y Jennings, 2007). El mayor número y diámetro de los nódulos podría deberse en parte a un mayor desarrollo radicular, lo cual habría favorecido un incremento en la absor-

ción y utilización de nutrientes (Phillips, 1980; Pahuara y Zuñiga, 2002; Vallejos, 2009). Apreciaciones visuales de las plantas de trébol que recibieron fósforo presentaron nódulos con una coloración más rosada, lo cual sugiere la presencia de mayor concentración de leghemoglobina que es un buen indicador de fijación efectiva del nitrógeno molecular (Xiaobin *et al.*, 2008). En adición, las condiciones de humedad (70.9%), materia orgánica (4.1%) y temperatura media del suelo (13.9 °C), prevalentes en el área de estudio (Flores *et al.*, 2005), habrían contribuido a estimular las reacciones químicas y actividad microbiana, la descomposición de la materia orgánica y mineralización de las formas orgánicas del nitrógeno, así como la actividad funcional de las raíces y la absorción de los nutrientes (Wedin y Russelle, 2006; Jin *et al.*, 2008;). Sin embargo, el pH del área de investigación (4.9) pudo haber restringido el grado de nodulación por cuanto la infección del microsimbionte en la mayoría de las leguminosas no ocurre cuando el pH del suelo es inferior a 5.

La adición de fósforo incrementó significativamente ($p < 0.05$) la altura y volumen (vigor) y la biomasa de la gramínea clave (festuca); sin embargo, no se observó similar efecto en el número de cabezas florales (Cuadro 1). Este comportamiento de distribución de energía hacia el vigor y biomasa de la festuca es consistente con la estrategia de sobrevivencia de una especie perenne, debido a que estas aseguran su permanencia en la comunidad a través de la reproducción asexual más que la sexual (Lloyd, 1980; Ricklefs, 1990).

La deficiencia de fósforo que usualmente presentan los suelos de puna limita la fijación de nitrógeno en las leguminosas y el crecimiento, tanto de leguminosas como de gramíneas que forman parte de la comunidad vegetal. Por lo tanto, la adición de fósforo y su mayor disponibilidad se correlaciona positivamente con el rendimiento de las leguminosas así como de las gramíneas (Lamas

et al., 1997), lo que mejora la síntesis y almacenamiento de energía y mejora el vigor de las plantas (Domínguez, 1984; Ayemi *et al.*, 2017). El estudio reveló un aumento significativo de la biomasa aérea de festuca en respuesta a la fertilización fosforada (2314 kg MS/m² vs 1140 kg MS/m²; $p < 0.01$; Cuadro 1), lo que indica que el fósforo es un elemento clave para el éxito de la asociación gramínea - leguminosa en los suelos altoandinos, al incrementar las tasas de crecimiento y, consecuentemente, la acumulación de biomasa (Rivera, 2004; Vallejos, 2009). Por otro lado, el porcentaje de nitrógeno en el suelo y en los tallos y hojas de festuca no mostraron un efecto significativo a la fertilización (Cuadro 1).

La interacción de fósforo por estación del año fue significativa ($p < 0.01$) para la altura y la expansión foliar (Figura 1). Ambas variables muestran las mayores diferencias durante el pico de lluvia (marzo), lo que corrobora la importancia del fósforo y la disponibilidad de agua en el crecimiento y desarrollo de las plantas; resultados similares fueron reportados por Moreno (2001) y Rivera (2004). La variable que respondió en mayor magnitud durante el de pico de lluvia fue la expansión foliar, con un incremento de 54% en comparación con las parcelas que no recibieron la fertilización fosforada.

Respuesta al Distanciamiento de Siembra

Las plantas sembradas a un distanciamiento de 0.5 m tuvieron mayor altura, expansión foliar y número de nódulos en comparación con aquellas sembradas a 1.0 m ($p < 0.05$), en concordancia con el trabajo de Escobedo (1993). El menor distanciamiento entre plantas podría haber influido en una mayor cantidad de fertilización fosforada por unidad de área, sobre todo porque fue aplicado directamente a los hoyos durante la siembra (Cuadro 2). La relación inversa entre el número de nódulos por planta y la distancia de siembra puede deberse a una mejor capacidad de sintetizar proteínas (Lamas *et al.*, 1997), lo cual podría ser favorecido por un

mayor contenido de nitrógeno en el suelo (0.73 vs 0.58% para distanciamiento de 0.5 y 1.0 m, respectivamente).

Los tréboles sembrados a 0.5 m tuvieron mayor número de nódulos comparado con tréboles sembrados a 1.0 m, posiblemente debido a una mayor fijación de nitrógeno atmosférico por parte de las bacterias simbióticas de *Rhizobium* y una mayor transferencia de nitrógeno entre el suelo y festuca (Phillips, 1980; Stypinski, 1993); sin embargo, esta tendencia favorable para el número de nódulos no se presentó para el diámetro de los nódulos (Cuadro 2).

Se observó una asociación positiva entre plantas sembradas a menor distanciamiento con el porcentaje de nitrógeno en tallos y hojas de festuca (Cuadro 2). El contenido de nitrógeno promedio en tallos y hojas de festuca incrementó en 0.29% a un distanciamiento de siembra de 0.5 m comparado con el distanciamiento de 1 m, indicando la probable existencia de mayores niveles de fijación de nitrógeno y transferencia efectiva del nitrógeno al suelo y a las plantas (Barea *et al.*, 1983). Esto es particularmente importante en época de seca, dado que el contenido de nitrógeno en gramíneas nativas cae rápidamente por debajo de los niveles críticos (1.1%) requeridos en las plantas para el consumo animal (Flores, 1999). La introducción del trébol permitiría un mejor manejo en los pastizales desde el punto de vista nutricional, si se considera la relación positiva entre la ingesta del forraje y el contenido de nitrógeno en la planta (Argote *et al.*, 2013). No se observaron incrementos significativos en la biomasa aérea de festuca (Cuadro 2), pero se encontraron incrementos significativos ($p < 0.05$) en el número de cabezas florales de festuca cuando los tréboles fueron sembrados a un distanciamiento de 0.5 m. El número de cabezas florales indica la capacidad reproductiva de las plantas, lo que podría estar influenciada por el efecto de la fertilización fosforada y el estado de nitrógeno en el suelo (Campillo *et al.*, 2003).

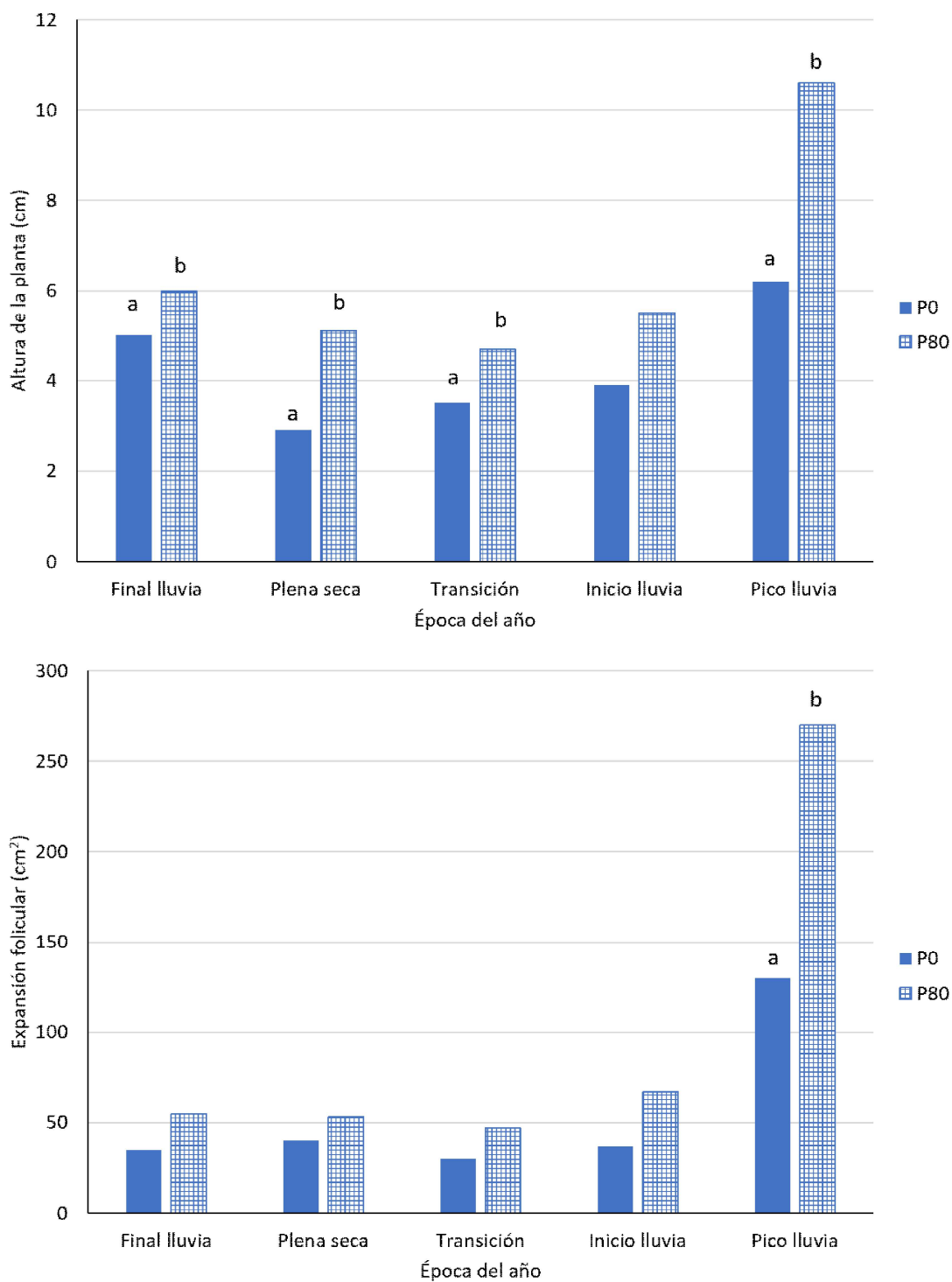


Figura 1. Altura de planta (superior) y expansión foliar (inferior) del trébol blanco (*Trifolium repens*) en respuesta a la fertilización fosforada (fosfato diamónico [(0 y 80 kg/ha)] en un pastizal de la zona altoandina peruana

Cuadro 2. Efecto del distanciamiento de siembra sobre el comportamiento del trébol blanco (*Trifolium repens*) y festuca (*Festuca dolichophylla*)

| Variables | Distanciamiento | | Significancia |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| | 0.5 m | 1.0 m | |
| Trébol blanco | | | |
| Altura (cm) | 5.6 ^a | 4.6 ^b | 0.015 |
| Expansión foliar (cm ²) | 91.9 ^a | 61.4 ^b | 0.023 |
| Nódulos (n) | 19.1 ^a | 13.43 ^b | 0.001 |
| Diámetro de nódulos (mm) | 2.13 | 2.16 | 0.870 |
| Nitrógeno en suelo (%) | 0.73 | 0.58 | 0.349 |
| Gramínea clave | | | |
| Cabezas florales (n) | 58 ^a | 50 ^b | 0.023 |
| Altura (cm) | 43.30 ^b | 44.55 ^a | 0.032 |
| Volumen (cm ³) | 178.50 | 189.30 | 0.069 |
| Biomasa aérea (g/m ²) | 1870.00 | 1585.00 | 0.433 |
| Nitrógeno en tallos (%) | 1.13 | 0.9 | 0.319 |
| Nitrógeno en hojas (%) | 1.65 | 1.30 | 0.377 |

Se observa la influencia de los periodos estacionales sobre la altura y expansión foliar de los tréboles (Figura 2). La mayor altura de los tréboles fue alcanzada durante el pico de lluvia; sin embargo, no se observó diferencia estadística para altura de planta entre los dos distanciamientos de siembra. De otro lado, el menor distanciamiento de siembra resultó en un incremento significativo ($p < 0.05$) para la expansión foliar del trébol durante la estación de pico de lluvia con un área foliar de 250 cm² a 0.5 m comparado con un área de 150 cm² a un distanciamiento de siembra de 1 m. Estas respuestas son esperadas por el impacto benéfico de la mayor disponibilidad de agua y nutrientes, así como por temperaturas más cálidas que estimulan el desarrollo y crecimiento de las plantas (Argote *et al.*, 2013).

CONCLUSIONES

- La fertilización fosforada (80 kg/ha) y el menor distanciamiento de siembra entre golpes (0.5 m) incrementó la altura, expansión foliar, número y tamaño de nódulos por planta de trébol blanco (*Trifolium repens*) como resultado de una mayor disponibilidad de fósforo y absorción por las plantas.
- La introducción del trébol blanco acompañada de fertilización fosforada (80 kg/ha) mejoró la altura, volumen y biomasa aérea de *Festuca dolichophylla*, mientras que el menor distanciamiento de siembra (0.5 m) influyó favorablemente al desarrollo de un mayor número de inflorescencias.

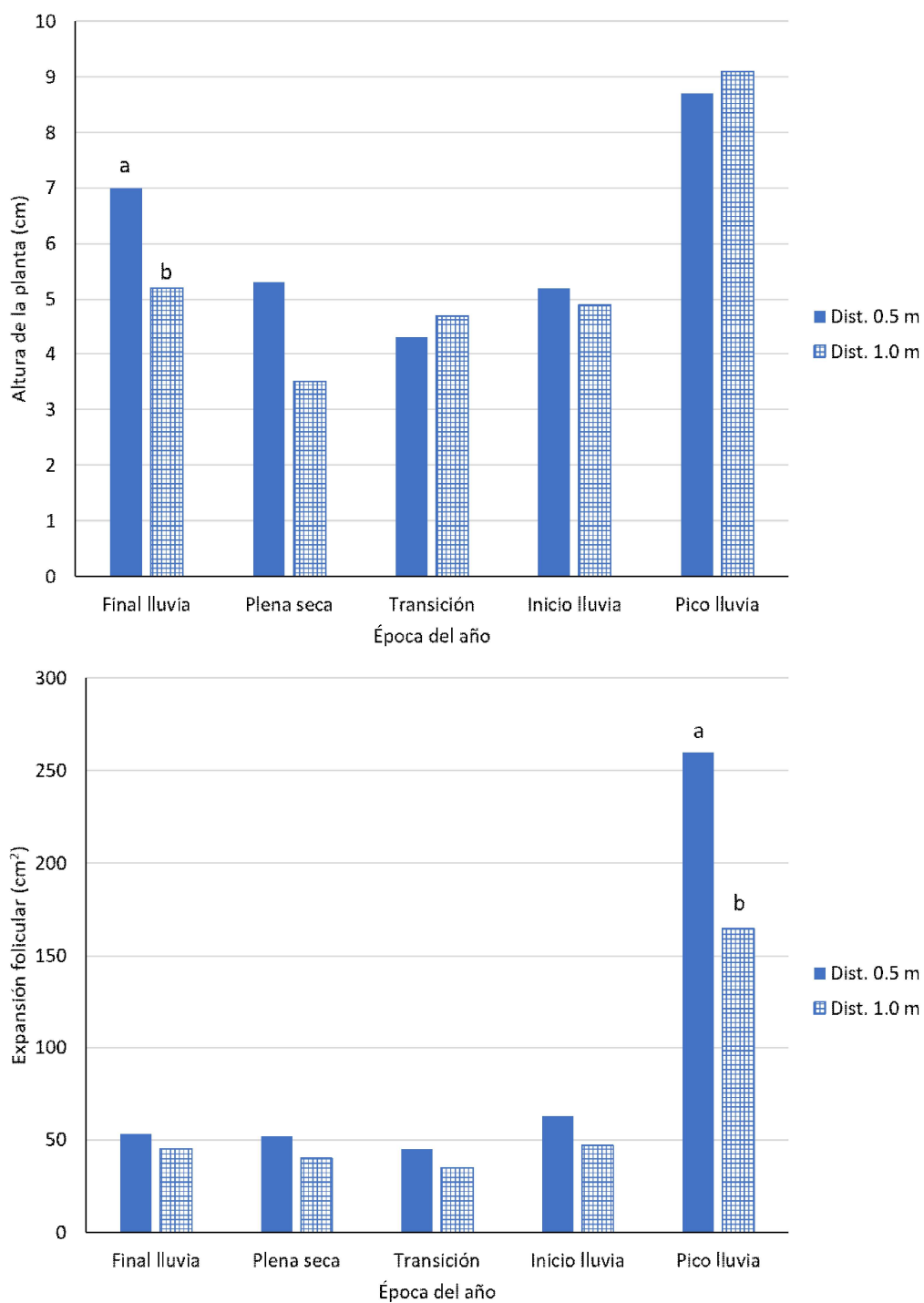


Figura 2. Altura de planta (superior) y expansión foliar (inferior) del trébol blanco (*Trifolium repens*) en respuesta a dos distanciamientos de siembra (0.5 y 1 m) en un pastizal de la zona altoandina peruana

- La precipitación fue un factor crucial en la magnitud de la respuesta de las plantas, habiendo una mayor respuesta durante la época de lluvia, tanto para la expansión foliar como para la altura de planta del trébol en comparación con la época seca.

LITERATURA CITADA

1. **Argote G, Aguirre L, Flores E. 2013.** Frecuencia de *Trifolium amabile* kunth (Fabaceae) en dos sitios del altiplano de Puno, Perú. *Ecología Aplicada* 12: 83-89.
2. **Argote G, Halanoca M. 2004.** Cultivo de trébol blanco. *Boletín N° 02-2004*. Puno, Perú: Estación Experimental Illpa, INIA.
3. **Aydin I, Uzun F. 2004.** Nitrogen and phosphorus fertilization of rangelands affects yield, forage quality and the botanical composition. *Eur J Agron* 21: 8-14. doi: 10.1016/j.eja.2004.08.001
4. **Ayemi T, Singh D, Fatmi U. 2017.** Effect of NPK on plant growth, flower quality and yield of *Gerbera (Gerbera jamesonii L.)* cv. Ruby Red under naturally ventilated polyhouse condition. *Int J Curr Microbiol App Sci* 6: 1049-1056.
5. **Barea JM, Azcon-Aguilar C. 1983.** Mycorrhizas and their significance in nodulating nitrogen-fixing plants. *Adv Agron* 36: 1-54.
6. **Black AL, Wight JR. 1972.** Nitrogen and phosphorus availability in a fertilized rangeland ecosystem of the Northern Great Plains. *J Range Manage* 25: 456-460.
7. **Campillo R, Urquiaga C, Pino N, Montenegro B. 2003.** Estimación de la fijación biológica de nitrógeno en leguminosas forrajeras mediante la metodología del 15N. *Agr Tec* 63: 169-179. doi: 10.4067/S0365-28072003000200006
8. **Cucho H. 2003.** Ecología del trébol blanco (*Trifolium repens*) en la zona de transición al Parque Nacional Huascarán (No. F40 C8-T). Tesis de Maestría. Lima, Perú: Univ. Nacional Agraria La Molina. 67 p.
9. **Domínguez A. 1984.** Fertilización. 2° ed. España: Mundi Prensa. 233 p.
10. **Elliot DE, Abbott RJ. 2003.** Nitrogen fertilizer use on rainfed pasture in the Mt Lofty rangers. Pasture mass, composition and nutritive characteristics. *Aust J Exp Agric* 43: 553-577.
11. **Escobedo F. 1993.** Efectos de la fertilización nitrogenada en tres leguminosas forrajeras sobre la fijación de nitrógeno atmosférico (N₂) determinado mediante la técnica del isótopo trazador 15N (No. F04 E8-T). Tesis de Maestría. Lima, Perú: Univ. Nacional Agraria La Molina. 194 p.
12. **Flores ER. 1999.** Tambos alpaqueros y pastizales. II: Mejoramiento de praderas naturales. Proyecto especial tambos alpaqueros. *Boletín Técnico LUP N° 12*. Lima, Perú.
13. **Flores ER. 2016.** Cambio climático: pastizales y seguridad alimentaria. *INAIGEM* 1: 73-80.
14. **Flores ER, Cruz J, Ñaupari J. 2005.** Utilización de praderas cultivadas en secano y praderas naturales para la producción lechera. *Boletín Técnico*. Lima, Perú: Univ. Nacional Agraria La Molina. 10 p.
15. **Holdridge L. 1987.** Ecología basada en zonas de vida: San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 216 p.
16. **Jin X, Wang S, Zhou Y. 2008.** Microbial CO₂ production from surface and subsurface soil as affected by temperature, moisture, and nitrogen fertilisation. *Soil Res* 46: 273-280. doi: 10.1071/SR07144
17. **Kalinowski J, Gómez G, Beeson C. 1970.** Interrelaciones suelo-planta-nutrición. Composición química de algunas gramíneas forrajeras del altiplano del Departamento de Puno. *Anales Científicos* 8: 30-49.
18. **Lamas M, Prieto G, Bodrero M, Udaquiola S, Lotano J. 1997.** Resultados preliminares de ensayos de fertilización fosforada en soja [*Glycine max*

- [L] Merr] realizados en el sur de Santa Fe. Efecto sobre la producción de materia seca, la concentración foliar y el rendimiento. *Rev Fac Agronomía* 17: 297-303.
19. **Lloyd D. 1980.** Sexual strategies in plants. *New Phytol* 86: 69-79.
 20. **Monaghan R, Paton R, Smith L, Drewry J, Littlejohn R. 2005.** The impacts of nitrogen fertilisation and increased stocking rate on pasture yield, soil physical condition and nutrient losses in drainage from a cattle grazed pasture. *N Z J Agr Res* 48: 227-240. doi: 10.1080/00288233.2005.9513652
 21. **Moreno J. 2001.** Efecto de la fertilización fosforada en la tasa de crecimiento y producción de forraje de la asociación rye Grass-trébol en la zona altoandina. Tesis de Maestría. Lima, Perú: Univ. Nacional Agraria La Molina. 81 p.
 22. **Moser E, Jennings J. 2007.** Grass and legume structure and morphology. In: *Forages. The science of grassland agriculture.* p 15-36.
 23. **Muslera E, Ratera C. 1991.** Praderas y forrajes. Producción y aprovechamiento 2° ed. Madrid: Mundi-Prensa. 702 p.
 24. **Nielsen JD, Eiland F. 1980.** Investigations on the relationship between P-fertility, phosphatase activity and ATP content in soil. *Plant Soil* 57: 95-103.
 25. **Pahuara D, Zúñiga D. 2002.** Efecto del fósforo sobre la población microbiana en suelos con pasturas en la zona altoandina de Junín. *Ecología Aplicada* 1: 57-64.
 26. **Phillips A. 1980.** Efficiency of symbiotic nitrogen fixation in legumes. *Ann Rev Plant Physio* 31: 29-49.
 27. **Picone L, Zamuner E. 2002.** Fósforo orgánico y fertilidad fosfórica. *Informaciones Agronómicas Cono Sur* 16: 11-15.
 28. **Quintero CE, Boschetti NG, Benavidez RA. 1997.** Efecto residual y refertilización fosfatada de pasturas implantadas en Entre Ríos (Argentina). *Cienc Suelo* 15: 1-5.
 29. **Ricklefs RE. 1990.** *Ecology.* 3rd ed. New York, USA: WH Freeman. 561 p.
 30. **Rivera V. 2004.** Efecto de los diferentes niveles de fertilización fosforada, en la producción forrajera de la asociación rye grass-trébol en la SAIS Túpac Amaru-Junín. Tesis de Maestría. Lima, Perú: Univ. Nacional Agraria La Molina. 67 p.
 31. **Rumbaugh M, Johnson D, Van A. 1981.** Forage diversity increases yield and quality, *Utah Sci* 42: 114-117.
 32. **Stewart JWB, Tiessen H. 1987.** Dynamics of soil organic phosphorus. *Biogeochemistry* 4: 41-60.
 33. **Stypinski P. 1993.** The effects of white clover on chemical composition and nutritive value of companion grasses in grass/clover mixtures. In: Frame J (ed). *White clover in Europe: state of the art.* REUR Technical Series 29. Rome: FAO. p 295-324.
 34. **Vallejos A. 2009.** Efecto de la fertilización fosforada y frecuencia de pastoreo sobre el valor nutritivo de la dieta y el comportamiento ingestivo de las vacas Holstein en pasturas de ryegrass-trébol en Cajamarca. Tesis Doctoral. Lima, Perú: Univ. Nacional Agraria La Molina. 142 p.
 35. **Wedin D, Russelle M. 2006.** Nutrient cycling in forage production systems. In: Barnes RG, Nelson CJ, Moore KJ, Collins M (eds). *Forages. The science of grassland agriculture.* p 137-148.
 36. **Wilcox B. 1984.** The puna – high evolution grassland of the Andes Peru. *Rangelands* 6: 99-101.
 37. **Xiaobin J, Wang S, Zhou Y. 2008.** Microbial CO₂ production, from surface and sub face soil as a effected by temperature moisture, and nitrogen fertile. *J Soil Res* 1461: 32 73-280.
 38. **Zarria MR, Flores ER. 2016.** An ecological site approach to select range improvement practices on Andean rangelands. In: 2016 Canada International Rangeland Congress. Saskatoon, Canada.