

EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN FOSFATADA Y DENSIDAD DE SIEMBRA DE TRÉBOL BLANCO EN LA RELACIÓN GRAMÍNEA-LEGUMINOSA EN UN PAJONAL DE PUNA HÚMEDA

EFFECT OF PHOSPHATE FERTILIZATION AND SEEDING DENSITY WHITE CLOVER ON THE GRASS-LEGUME RATIO IN A HUMID PUNA GRASSLAND

Javier A. Orellana^{1,2,3}, Lucrecia Aguirre^{1,4} y Enrique R. Flores^{1,4}

Resumen

La introducción de leguminosas exóticas (*Trifolium repens*) en pajonales de puna húmeda mejora la calidad forrajera, demandando un manejo agronómico adecuado para evitar que la leguminosa exceda límites y afecte la integridad del ecosistema natural. El objetivo fue determinar la influencia de la fertilización fosfatada y densidad de siembra (leguminosa) sobre la proporción gramínea – leguminosa, en un pajonal dominado por *Festuca dolichophylla* y *Calamagrostis vicunarium*, durante dos años, a partir de los porcentajes de sobrevivencia, establecimiento y cobertura relativa de trébol blanco, en un área experimental ubicada en la Región Huancavelica de Perú (4 500 msnm). Se utilizó el DCA con arreglo factorial 3x2, con tres dosis de fósforo (0, 15 y 30 g de roca fosfatada) y dos densidades de siembra (20 y 40 semillas por hoyo). La mejor respuesta a la fertilización se obtuvo con la aplicación de 15 g de roca fosfatada por hoyo. La densidad de siembra con la que se obtuvieron los mejores resultados en términos de porcentaje de cobertura del trébol en la pradera nativa fue de 20 semillas por hoyo. Los patrones de cobertura de trébol blanco variaron con la época, con mayores proporciones en la época lluviosa que en la época seca observándose un incremento de la presencia del trébol con los años lo cual no excedió en promedio la relación gramínea leguminosa recomendable. Los ensayos se realizaron en ausencia del pastoreo, factor determinante del balance gramínea – leguminosa. Se recomienda examinar las interacciones entre densidad de siembra y fertilización bajo diferentes esquemas de pastoreo en el balance gramínea – leguminosa y la integridad del ecosistema.

Palabras clave: fertilización, densidad, trébol blanco, pradera natural, ecosistema.

Abstract

The introduction of exotic legumes (*Trifolium repens*) in humid Puna grasslands improves forage quality and soil nutritional status. The objective was to determine the influence of phosphate fertilization and seeding density (legume) on the grass-legume ratio in a grassland dominated by *Festuca dolichophylla* and *Calamagrostis vicunarium*, during two years, based on the percentages of survival, establishment and relative cover of white clover. The experimental area was located in the Huancavelica region of Peru (4 500 masl). A completely randomized design with a 3x2 factorial arrangement was used, with three doses of phosphorus (0, 15 and 30 grams of rock phosphate) and two planting densities (20 and 40 seeds per hole). The best response to fertilization was obtained with the application of 15 g of rock phosphate per hole. The seeding density with which the best results were obtained in terms of percentage cover of clover in the native prairie was 20 seeds per hole. The white clover cover patterns varied with the season, with higher proportions in the rainy season than in the dry season, which did not exceed on average the recommended grass-legume ratio (70:30). The trials were conducted in the absence of grazing, a determining factor in the grass-legume balance. It is recommended to examine interactions between sowing density and fertilization under different grazing schemes on the grass-legume balance and ecosystem integrity.

Key words: fertilization, density, white clover, natural grassland, ecosystem.

Introducción

Los pastizales cubren un tercio de la superficie terrestre, proporcionan un conjunto de productos y servicios ecosistémicos agregando valor a la economía (Flores, 2016; Bengtsson *et al.*, 2019). Los pajonales altoandinos abarcan una superficie de seis millones de hectáreas, constituyéndose en el tipo de vegetación dominante por sobre los céspedes de puna, arbustales y bofedales (Yaranga, 2019; Lima *et al.*, 2020).

La producción primaria de los pastizales está sujeta a factores limitantes, como la deficiencia de nitrógeno y fósforo, fluctuaciones extremas de temperatura y humedad del suelo (Jaurena *et al.*, 2016; Trillo *et al.*, 2020). La composición florística de los pajonales está dominada por gramíneas y con el avance de la madurez y el advenimiento de la estación seca su valor nutricional desciende rápidamente por debajo de niveles considerados críticos para la producción animal

(Flores, 1993; Van Saun, 2014; Yaranga, 2019; Trillo *et al.*, 2020).

La introducción de leguminosas exóticas como el trébol blanco ha sido considerada como una estrategia efectiva para mejorar la calidad del forraje, el estatus nutricional del suelo (Chapman & Caradus, 1997; Argote *et al.*, 2013) y producción primaria de pasto (González *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2020). El trébol blanco es una leguminosa de crecimiento rastrero con presencia de estolones, que ha demostrado tener una alta capacidad adaptativa al clima y suelo predominante en el ecosistema de puna, cumpliendo el rol de mejorar el contenido de proteína en la dieta animal y a su vez suministrar cantidades significativas de nitrógeno al suelo fijado en sus nódulos radiculares, ya que se trata de las leguminosas de mayor capacidad de fijación simbiótica de este elemento (Bonnet *et al.*, 2011; Argote *et al.*, 2013; Ventura *et al.*, 2022); sin embargo, la implementación de esta estrategia no está libre de limitaciones; así, los niveles de nitrógeno, fósforo y azufre son bajos (Wilcox, 1984; Zarría & Flores, 2015) y los riesgos relativos al potencial desplazamiento de las especies nativas por especies exóticas está siempre presente con las consecuencias ecológicas que esto implica, como la pérdida de la biodiversidad y estabilidad del sistema ecológico (Jaurena *et al.*, 2016).

Existe una interacción positiva entre el nitrógeno y el fósforo; así, los pastizales que recibieron nitrógeno y fósforo produjeron mayor cantidad de biomasa que cuando recibieron solo fósforo o nitrógeno (Del Pino *et al.*, 2016; Moir *et al.*, 2016). La capacidad de la leguminosa para prosperar en una asociación con praderas nativas depende de su morfología, fisiología, fertilidad de suelo, densidad de siembra, distanciamiento entre golpes, nivel de abonamiento, entre otros (Cucho, 2003; Jaurena *et al.*, 2016; Cutillas *et al.*, 2017; González *et al.*, 2017; Lima *et al.*, 2020).

Con la finalidad de mejorar la productividad y calidad de los pastizales Altoandinos, el presente estudio tuvo como objetivo determinar la influencia de la fertilización fosfatada y la densidad de siembra de *Trifolium repens* sobre la proporción gramínea - leguminosa en un pajonal de puna húmeda de condición regular dominado por *Festuca dolichophylla* y *Calamagrostis vicunarum*.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en un pastizal de condición regular dominado por *Festuca dolichophylla* y *Calamagrostis vicunarum*, ubicado en la Comunidad de Cachimayo, Región de Huancavelica, Perú (12°50' 44.0" S 75°07'41.7" W) a una elevación de 4 100 – 4 500 msnm, clasificada como pajonal de puna húmeda (MINAM, 2019). El estudio se llevó a cabo durante los años 2018 y 2019, la temperatura media anual mínima es de -3 °C y la máxima de 12 °C, la precipitación anual mínima promedio de 650 y 700 mm y máxima de 1 150 y 1 200 mm, respectivamente (SENAMHI, 2020). La

textura del suelo es franco arcilloso, ligeramente ácido (pH = 5.16) con 14.65% de materia orgánica en los primeros horizontes del suelo, fósforo 12.8 ppm, potasio 227 ppm, azufre 20.79 ppm y capacidad de intercambio catiónico 38.40.

La especie introducida fue trébol blanco (*Trifolium repens*), cultivar Huía con un distanciamiento entre golpe de 0.5 m (Lima *et al.*, 2020). Previo a la siembra, las semillas fueron inoculadas con *Rhizobium leguminosarum* (Ratera *et al.*, 2011; Lima *et al.*, 2020) y para la fertilización se utilizó roca fosfatada Bayóvar al momento de la siembra.

Tratamientos experimentales

Los tratamientos resultaron de la combinación de dos factores, (a) densidad de siembra de 20 y 40 semillas por hoyo definido como un área circular de 10 cm de diámetro y (b) fertilización fosfatada (0, 15 y 30 g por hoyo), dando lugar a seis tratamientos. Los tratamientos fueron asignados al azar en parcelas de 20 m², cada tratamiento tuvo tres réplicas, haciendo un total de 18 parcelas distribuidas en un área de 600 m². Calles de un metro de ancho dividían las parcelas, reduciendo al mínimo el potencial del efecto de borde. Las densidades de siembra de 20 y 40 semillas por hoyo utilizadas representan, aproximadamente, 0.56 y 1.13 kg·ha⁻¹, respectivamente. Los niveles de fertilización fueron calculados a partir del análisis fisicoquímico de muestras de suelo tomadas a profundidades de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm, resultando en una dosis de 200 y 400 kg·ha⁻¹, equivalentes a 15 y 30 g de roca fosfatada por hoyo, lo que representa entre 4 a 8 g de fósforo por golpe en abonamiento de fondo.

Variables de estudio

Los parámetros evaluados en el presente estudio fueron sobrevivencia, establecimiento y cobertura relativa de trébol blanco; además, se registraron los datos de temperatura y humedad del suelo cada dos meses, durante más de dos años (804 días), usando un geotermómetro de esfera y un TDR 300 FIELDSCOUT, respectivamente. El estudio inició el 17 de noviembre del 2017 y finalizó el 30 de enero del 2020. La sobrevivencia y establecimiento fueron estimadas por conteo manual. El porcentaje de sobrevivencia expresa la proporción de plántulas vivas con respecto al total de semillas sembradas, la evaluación se realizó a los 46 días después de la siembra. El porcentaje de establecimiento expresa la proporción de plántulas establecidas, con respecto al total de plantas vivas, la evaluación se efectuó a los 93 días después de la siembra. La cobertura relativa del trébol fue estimada mediante el área foliar en términos de porcentaje que ocupa la proyección horizontal del grupo de plantas de trébol blanco en relación con la unidad de superficie total de la unidad experimental (20 m²). Se procedió a medir la cobertura relativa debido a la complejidad de la distribución de su población y la dificultad de su registro en forma individual. Las evaluaciones se realizaron en periodos secos y

lluviosos por un lapso de dos años. Se calculó el área foliar en m² utilizando la Fórmula 1 del área (MINAM, 2015).

$$AF = 3.1416 \left(\frac{DP}{2} \right)^2$$

Fórmula 1

Donde:

AF: área foliar del trébol blanco.

DP: diámetro promedio de expansión foliar de trébol blanco.

Π: 3.1416.

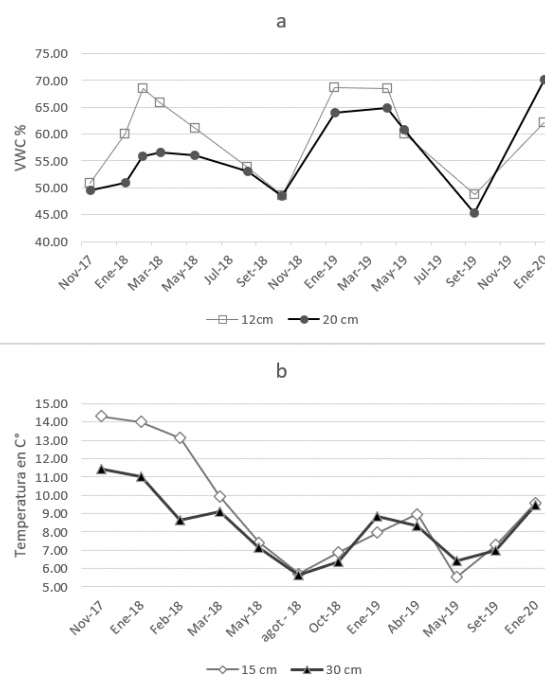
Análisis estadístico

El diseño experimental utilizado para el análisis estadístico fue completamente al azar con arreglo factorial 2 x 3 (densidad de siembra y cantidad de fertilizante). Todos los datos fueron sometidos a la prueba de Shapiro-Wilk para contrastar la normalidad del conjunto de datos y a la prueba de Bartlett para homogeneidad de varianza y comprobar la idoneidad del modelo. La prueba de Duncan fue usada para la evaluación de promedios ($p \leq 0.05$). Las pruebas estadísticas fueron procesadas empleando el software SAS v.9.4 (SAS, 2013).

Resultados y discusión

Temperatura y humedad del suelo a dos profundidades

La temperatura y humedad del suelo son parámetros que influyen significativamente en el establecimiento, crecimiento y productividad de las plantas en el ecosistema. La temperatura del suelo en el área de estudio mostró características típicas de un clima semifrío (MINAM, 2019). La temperatura más baja registrada en agosto de 2018 al finalizar la época seca (Figura 1), a una profundidad de 30 cm fue de 5.61 °C, mientras que a 15 cm de profundidad fue de 5.69 °C. Por otro lado, la temperatura más alta se registró en noviembre de 2017 durante la época de lluvias, alcanzándose valores de 11.40 °C a 30 cm de profundidad y 14.31 °C a 15 cm de profundidad. El contenido volumétrico de agua (VWC) del suelo está influenciado por los regímenes de lluvias, relativamente fijos: época de lluvias (septiembre-abril) y un periodo de seca (mayo-agosto). Durante el estudio se observó que el mes de enero del 2019 presentó los mayores valores de VWC en el suelo, con 68.6% a una profundidad de 12 cm y 64% a 20 cm de profundidad (Figura 1), mientras que los valores más bajos se registraron en el mes de septiembre del 2019 con 48.8 y 45.2% VWC a 12 y 20 cm de profundidad, respectivamente.



VWC: Contenido volumétrico de agua.

Figura 1. Variaciones en la humedad (a) y temperatura (b) del suelo a dos profundidades.

Los valores de temperatura del suelo registrados a 15 y 30 cm de profundidad durante la época de lluvias se encuentran dentro de los rangos mínimos necesarios para el inicio del proceso de mineralización de la materia orgánica, que ocurre usualmente cuando la temperatura alcanza 10 °C. Es importante destacar que el inicio de este proceso va relacionado con el crecimiento y desarrollo de la planta, siendo característico en este tipo de ecosistemas la baja tasa de descomposición de la materia orgánica, resultando en un alto grado de almacenamiento de materia orgánica y energía (Hunt *et al.*, 2020; Ledo *et al.*, 2020). La temperatura promediada reportada de 10.64 y 9.23 °C a 15 y 30 cm de profundidad durante la época de lluvias podría favorecer una asociación simbiótica exitosa con *Rhizobium*-leguminosa; temperaturas más bajas como 8 °C reducen en un 25% el desarrollo nodular y la fijación de nitrógeno en comparación con 15 y 22 °C (Fernández-Pascual *et al.*, 2002). Estudios en *Trifolium subterraneo* reportan que temperaturas bajas (11 a 19 °C) reducen el proceso de infección de las raíces y a 7 °C se paraliza el proceso (Tang, 1986; Hunt *et al.*, 2020). Así mismo, los valores de temperatura del suelo encontrados en la época seca a 15 y 30 cm de profundidad (6.65 y 6.36 °C, respectivamente) están por debajo de los valores mínimos requeridos para el inicio del proceso de descomposición de la materia orgánica y es posible que el proceso simbiótico *Rhizobium*-leguminosa se inhiba o reduzca seriamente, trayendo como consecuencia que la actividad

específica de los nódulos se vea afectada negativamente (Hunt *et al.*, 2020; Ledo *et al.*, 2020).

La humedad es otro factor que actúa sobre la población microbiana del suelo, en consecuencia, sobre el proceso de descomposición de la materia orgánica. Altos contenidos de humedad afectan el proceso de respiración de los microorganismos y de las raíces, debido a que el aire (O₂ y CO₂) es desplazado por el agua, interfiriendo con el rol que desempeña el oxígeno en la generación de energía (ATP) para el crecimiento y desarrollo de las raíces y de la microbiota del suelo (Fernández-Pascual *et al.*, 2002). Los valores de humedad registrados durante la estación lluviosa en el presente estudio estuvieron en el rango de 60 a 70%, considerado adecuado para la actividad de los microorganismos descomponedores, por lo que la acción del fósforo y del nitrógeno no habría estado limitada en el suelo. En contraste, durante la época seca el mínimo y máximo contenido volumétrico de agua en el suelo a 12 cm de profundidad fue de 48.5 y 61.1%, respectivamente, mientras que a 20 cm de profundidad fue de 45.2 y 60.8%. Estos valores están ligeramente por debajo del nivel óptimo (65%) sugerido por Fernández-Pascual *et al.* (2002).

Bajos niveles de humedad afectan negativamente la fijación biológica de nitrógeno, disminuyendo la respiración y la actividad específica de los nódulos, así como también la actividad de la nitrogenasa, la glutamina sintetasa y la glutamato deshidrogenasa (Tang, 1986; Tenelanda *et al.*, 2018). La baja humedad en la época seca tiene influencia significativa sobre la fauna edáfica. Tenelanda *et al.* (2018), durante la estación húmeda, observaron más organismos sobre discos de hojas colocados en bolsas de descomposición, que durante la estación seca; encontrando que, entre el 25 y 45% de los discos de hojas fueron consumidos al terminar el periodo de lluvias, mientras que en 5 meses de la estación seca solamente del 2 al 6% de los tejidos de hojas desaparecieron, resultado que sugiere que en la estación húmeda, la velocidad de descomposición de la materia orgánica sería mayor y, en consecuencia, la disponibilidad de nutrientes también.

Respuesta a la fertilización fosforada

La adición de elementos minerales en cantidades apropiadas contribuye al establecimiento y desarrollo de las plantas. El trébol blanco respondió de forma positiva a la mayor disponibilidad de fósforo en el suelo, elemento que se encontró en niveles considerados bajos (12.8 ppm) en el área de investigación. Los valores promedios del porcentaje de sobrevivencia a los 46 días después de la siembra evidenciaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Tabla 1), los tratamientos que recibieron 30 y 15 g de roca fosfatada mostraron mejor desempeño 91.54 y 91.44%, respectivamente.

Tabla 1. Efecto de la dosis de fósforo sobre porcentaje de sobrevivencia, establecimiento y cobertura vegetal.

Niveles P (g de RP/hoyo)	Sobrevivencia (%)	Establecimiento (%)	Cobertura vegetal trébol (%)	Cobertura pradera natural (%)
0	89.36 b	77.5 b	4.22 c	95.78 a
15	91.44 a	85.54 a	23.82 a	76.18 c
30	91.54 a	86.02 a	14.18 b	85.82 b

Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí, según la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$). RP: Roca fosfatada.

Los valores promedios del porcentaje de establecimiento a los 93 días después de la siembra mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Tabla 1), registrándose una respuesta positiva a la incorporación de roca fosfatada, superando el 85% de establecimiento; mientras que, al no recibir fósforo se tuvo 77.5% de establecimiento. Los valores promedios de cobertura relativa del trébol blanco, al final de dos años de evaluación, mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) (Tabla 1). Los tratamientos que recibieron roca fosfatada alcanzaron mayor cobertura; con las dosis de 15 y 30 g de roca fosfatada se tuvieron 23.82 y 14.18% de cobertura relativa de trébol blanco, respectivamente, sin perjuicio significativo de la vegetación nativa, de 76.18 y 85.82% de cobertura, respectivamente (Tabla 1). Los porcentajes más bajos de cobertura observados con la aplicación de 30 g de roca fosfatada sugieren que esta cantidad habría sobrepasado los máximos niveles requeridos por el trébol (Moir *et al.*, 2016).

Los porcentajes de sobrevivencia muestran el efecto favorable a la adición de fósforo. Es probable que este resultado se deba a una mayor disponibilidad de fósforo en la solución suelo, mejorando diversos procesos fisiológicos, como la absorción de nutrientes y agua por las raíces de las plántulas. Resultados similares fueron reportados por Boschi *et al.* (2016) en estudios realizados en el campo experimental del Instituto Nacional de Semillas en Barros Blancos, Uruguay, en el que valores de comportamiento germinativo fueron: para trébol blanco de 93.6%, para trébol rojo de 92.1% y para alfalfa de 91.9%. Respuestas favorables, en el comportamiento germinativo, también fueron reportados por Vallejos *et al.* (2021) en estudios realizados en la provincia de Santa Cruz, Cajamarca, Perú, en tres pisos altitudinales, en donde valores de comportamiento germinativo observados en *Trifolium repens*, cultivares Huía, Legacy, Ladino y Weka correspondieron al 81, 89, 58 y 70%, respectivamente, mientras que para el *Trifolium pratense*, cultivares Tuscan, Americano y Relish, valores de 98, 68 y 90%, respectivamente.

El establecimiento del trébol también fue favorecido con la fertilización. Los valores hallados del

porcentaje de establecimiento en el presente estudio son ligeramente mayores a los reportados por Boschi *et al.* (2016) con valores de sobrevivencia acumulada, a los 104 días de la siembra, para *Trifolium repens* de 63%, para *Trifolium pratense* de 63%, para *Lotus corniculatus* de 56%, y para *Medicago sativa* de 69%. Los valores de sobrevivencia más altos observados estarían revelando que el trébol blanco es una especie que se adapta rápidamente a las condiciones del lugar de estudio.

En relación a los valores hallados de cobertura relativa, son mayores a lo reportado por Lima *et al.* (2020) quienes, en un estudio realizado a 4 200 msnm en la Región Pasco, Perú, reportan valores de expansión foliar de 54.30 cm² (1.75% de cobertura vegetal) sin fertilización fosforada y de 99.00 cm² (3.19% de cobertura vegetal), con fertilización fosfatada (80 kg·ha⁻¹ de fosfato diamónico). Estas coberturas más elevadas del trébol blanco podrían haber sido influenciadas por las características fisicoquímicas del suelo del área de estudio, ya que los niveles de humedad y temperatura del suelo están dentro de los rangos óptimos (Arguello, 1991; Hunt *et al.*, 2020; Ledo *et al.*, 2020), lo que favorece su crecimiento y desarrollo, así como el establecimiento óptimo de la simbiosis *Rhizobium*-leguminosa (Hunt *et al.*, 2020; Huamán *et al.*, 2021).

La fertilización fosfatada habría mejorado la disponibilidad de este elemento en el suelo, ya que en el área de estudio se determinó un pH ligeramente ácido de 5.16 a 15 cm y 5.25 a 30 cm de profundidad, parámetro que interviene en la forma de presentación del elemento, como lo reportan Rajan *et al.* (1991), quienes al someter la roca fosfórica de Bayobar (Perú) a compuestos ácidos como el citrato de amonio neutro, ácido cítrico al 2% y ácido fórmico al 2%, con valores de 2.3, 6.6 y 9.8 (P soluble, % de la roca), estimularían una rápida incorporación del fósforo en el metabolismo de nutrientes, transporte y almacenamiento de energía (ATP). Las parcelas que no recibieron fósforo habrían absorbido menores cantidades de este elemento, por lo que la sobrevivencia habría sido menor (Boschetti *et al.*, 2004; Oliveira, 2012).

Respuesta a la densidad de siembra

La densidad de siembra, un factor importante en la instalación de especies exóticas de alta productividad, debe garantizar el número mínimo de plantas establecidas capaces de competir exitosamente por nutrientes en el suelo y alcanzar altos rendimientos. La densidad de siembra mostró efectos significativos en el porcentaje de sobrevivencia ($p \leq 0.05$), observándose los valores más altos al utilizar 40 semillas por golpe, con 91.97% de sobrevivencia a los 46 días de la siembra (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto de la densidad de siembra sobre porcentaje de sobrevivencia, establecimiento y cobertura vegetal.

Densidad (semillas/hoyo)	Sobrevivencia (%)	Establecimiento (%)	Cobertura vegetal trébol (%)	Cobertura pradera natural (%)
20	89.58 b	80.89 b	16.05 a	83.95 a
40	91.97 a	85.15 a	12.10 a	87.90 a

Promedios con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí, según la prueba de Duncan ($p \leq 0.05$).

Los porcentajes de establecimiento a los 93 días después de la siembra también fueron superiores al utilizar 40 semillas por golpe ($p \leq 0.05$), con un 85.15% de establecimiento; dicho porcentaje garantizaría la cantidad mínima de plántulas, incrementando la probabilidad de éxito en la producción de biomasa forrajera. En contraste, el porcentaje de cobertura relativa de trébol blanco al final de dos años de evaluación reveló que, a pesar de no existir diferencias en la cobertura relativa del trébol, ambas densidades de siembra no superaron el 30% de cobertura vegetal (Tabla 2). La cobertura vegetal de especies nativas se redujo a un 83.95% cuando la densidad de siembra fue 20 semillas, lo que sugiere que, en condiciones de clausura de praderas y ausencia de pastoreo, el trébol blanco se encuentra en proporción adecuada con las gramíneas (70 – 30) cumpliendo el rol de mejorar el contenido de proteína en la dieta animal y a su vez suministrar cantidades significativas de nitrógeno al suelo fijado en sus nódulos radiculares, ya que se trata de las leguminosas de mayor capacidad de fijación simbiótica de este elemento (Bonnet *et al.*, 2011; Ventura *et al.*, 2022). Faltaría por investigar cómo interactúan el fósforo y la densidad de siembra en condiciones de pastoreo y determinar el rol de la intensidad de corte y el nitrógeno en el crecimiento y desarrollo del trébol blanco en ecosistemas naturales.

Un buen establecimiento requiere de un número mínimo de plantas que hagan posible una tasa de crecimiento adecuada del cultivo y lograr buenos rendimientos forrajeros, las densidades de siembra en leguminosas van desde los 2 a 24 kg·ha⁻¹, teniendo en consideración algunos factores como latencia, forma de siembra, si va como monocultivo o mixto (Zarza *et al.*, 2013; Ventura *et al.*, 2022). En experimentos realizados en Sudamérica en implantación de mezclas perennes de larga duración, en las cuales incluyeron al trébol blanco en combinación con gramíneas (*Dactylis glomerata*, *Festuca arundinacea*, entre otras), las densidades de siembra fueron de 0.5 a 3 kg·ha⁻¹, reportándose el mayor número de plantas en densidades más altas; así mismo, en todas las densidades hay un incremento del número de plantas con el tiempo, debido al tipo de

crecimiento rastrero del trébol blanco (Zarza *et al.*, 2013). Estas densidades son similares a las utilizadas por Lima *et al.* (2020), quienes realizaron estudios en la Región Pasco, Perú, reportando valores positivos de cobertura vegetal.

Interacción fertilización fosforada, época y año de evaluación

Los patrones de respuesta al abonamiento fosforado de la cobertura del trébol blanco variaron conforme la época y los años de evaluación (Figura 2), siendo mayor con los años. Máximas coberturas fueron alcanzadas en la época lluviosa. Los máximos niveles de respuesta al fósforo se obtuvieron con dosis intermedias pero la magnitud de la respuesta varió dependiendo de la época. La cobertura de trébol fue en aumento conforme el periodo de evaluación iba en aumento. Al final del segundo año la proporción de leguminosa se incrementó, llegando a 42.82%, superando el porcentaje recomendado (30 por ciento). Este resultado evidencia que el crecimiento del trébol blanco es dinámico y acorde a ciertos factores ambientales y otros como el estatus nutricional e hídrico del suelo (Jaurena *et al.*, 2016; Ventura *et al.*, 2022).

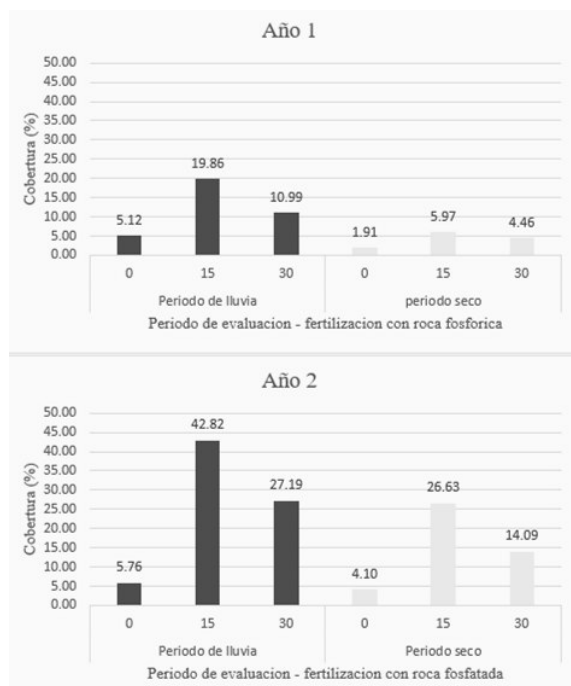


Figura 2. Variación en la cobertura vegetal de trébol blanco en los tratamientos experimentales por efecto de la dosis de abonamiento en el periodo de lluvia y seco durante dos años.

La introducción de trébol blanco en praderas nativas podría resultar en un incremento de la proteína en la dieta de los animales y fijación de cantidades significativas de nitrógeno al suelo, sin embargo, desde una perspectiva ecológica habría que prestar atención a

la variación en el tiempo del porcentaje de trébol blanco en la pradera natural mediante el manejo de la dosis de siembra, distanciamiento y abonamiento para evitar que la leguminosa exótica supere el porcentaje recomendado (30 por ciento) y así evitar el perjuicio de la vegetación nativa por los riesgos que la aplicación de esta tecnología representa para el ecosistema en términos de pérdida de la biodiversidad, estabilidad e integridad (Cucho, 2003; Argote *et al.*, 2013). Se recomienda examinar el rol del pastoreo prescrito en el control del balance gramínea – leguminosa que la literatura ha establecido referencialmente como 70-30 a fin de evitar impactos negativos en la salud animal y del ecosistema.

Conclusiones

La aplicación de fósforo incrementó los porcentajes de sobrevivencia, establecimiento y cobertura del trébol blanco. Al aplicar 15 g de roca fosfatada por hoyo, sugiriendo que esta sería la dosis máxima recomendable.

La densidad de siembra recomendable, en términos de porcentaje de cobertura del trébol en la pradera nativa, fue de 20 semillas por hoyo, equivalente a 0.56 kg/ha, según se obtuvieron los mejores resultados.

Los patrones de cobertura de trébol blanco variaron con la época, con mayores proporciones en la época lluviosa que en la época seca observándose un incremento de la presencia del trébol con los años la cual no excedió en promedio la relación gramínea leguminosa recomendable.

Literatura citada

Argote G., Aguirre L. & Flores E. 2013. Frecuencia de *Trifolium amabile* Kunth (Fabaceae) en dos sitios del altiplano de Puno, Perú. *Ecología Aplicada*, 12(1–2): 83–89. <https://doi.org/10.21704/rea.v12i1-2.441>.

Arguello H. 1991. La descomposición de la materia orgánica y su relación con algunos factores climáticos y microclimáticos. *Agronomía Colombiana*, 8(2): 384–388. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/viewFile/21129/22095>.

Bengtsson J., Bullock J.M., Egoh B., Everson C., Everson T., O'Connor T., O'Farrell P.J., Smith H.G. & Lindborg R. 2019. Grasslands — more important for ecosystem services than you might think. *Ecosphere*, 10(2): e02582. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2582>.

Bonnet O., Hagenah N., Hebbelmann L., Meuret M. & Shrader A.M. 2011. Is hand plucking an accurate method of estimating bite mass and instantaneous intake of grazing herbivores? *Rangeland Ecology & Management*, 64(4): 366–374. <https://doi.org/10.2111/REM-D-10-00186.1>.

Boschetti N.G., Quintero C.E. & Befani M.R. 2004. Dinámica de las fracciones de fósforo en el suelo en una pastura fertilizada. *Revista Científica Agropecuaria*, 8(1): 65–71. http://ns1.fca.uner.edu.ar/rca/Volumenes%20Anteriores/Vol%20Ante%208/rca_8_1_pdf/65_71.pdf.

- Boschi F., Latorre P., Saldanha S., Machado J., Bentancor O. & Moure S. 2016. Importancia de las semillas duras en leguminosas forrajeras producidas en Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 20(2): 43-50. http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482016000200007&lng=es&tlng=es.
- Chapman D.F. & Caradus J.R. 1997. Effects of improved, adapted white clover (*Trifolium repens* L.) germplasm on the productive properties of a hill pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 40(2): 207–221. <https://doi.org/10.1080/00288233.1997.9513240>.
- Cucho H.C. 2003. Ecología del trébol blanco (*Trifolium repens*) en la zona de transición al Parque Nacional Huascarán. (No. F40 C8-T). Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en producción animal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.
- Cutillas P.P., Barberá G.G. & García C.C. 2017. Efectos de las variables ambientales en la estimación de materia orgánica del suelo a escala regional en un ambiente semiárido (región de Murcia, España). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 2017(75): 175–191. <https://doi.org/10.21138/bage.2497>.
- Del Pino A., Rodríguez T. & Andión J. 2016. Production improvement through phosphorus fertilization and legume introduction in grazed native pastures of Uruguay. *The Journal of Agricultural Science*, 154(2): 347–358. <https://doi.org/10.1017/S002185961500101X>.
- Fernández-Pascual M., de María N. & de Felipe M.R. 2002. Fijación biológica del nitrógeno: factores limitantes. *En: CCMA-CSIC (Ed) Segundas Jornadas Científicas Sobre Medio Ambiente Del CCMA-CSIC - Ciencia y Medio Ambiente*. 195–202. <http://hdl.handle.net/10261/128283>.
- Flores E. 1993. Naturaleza y uso de los pastos naturales. *Manual de Producción de Alpacas y Tecnología de sus Productos*. Publicación Conjunta Entre La Universidad Nacional Agraria, Proyecto de Transferencia y Tecnología (TTA) y La Agencia Para El Desarrollo Internacional de Los Estados Unidos de Norteamérica.
- Flores E. 2016. Cambio Climático: Pastizales altoandinos y seguridad alimentaria. *Revista de Glaciares y Ecosistemas de la Montaña*, 1(1): 73–80. <https://doi.org/10.36580/rgem.i1.73-80>.
- González A.P.R., Dumalaso V., Rosenthal J., Skuhrovec J. & Latzel V. 2017. The role of transgenerational effects in adaptation of clonal offspring of white clover (*Trifolium repens*) to drought and herbivory. *Evolutionary Ecology*, 31(3): 345–361. <https://doi.org/10.1007/s10682-016-9844-5>.
- Huamán-Carrión M.L., Espinoza-Montes F., Barrial-Lujan A.I. & Ponce-Atencio Y. 2021. Influencia de la altitud y las características del suelo en la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico de los pastos naturales altoandinos. *Scientia Agropecuaria*, 12(1): 83–90. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.010>.
- Hunt J.R., Celestina C. & Kirkegaard J.A. 2020. The realities of climate change, conservation agriculture and soil carbon sequestration. *Global Change Biology*, 26(6): 3188–3189. <https://doi.org/10.1111/gcb.15082>.
- Jaurena M., Lezama F., Salvo L., Cardozo G., Ayala W., Terra J. & Nabinger C. 2016. The dilemma of improving native grasslands by overseeding legumes: Production intensification or diversity conservation. *Rangeland Ecology and Management*, 69(1): 35–42. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2015.10.006>.
- Ledo A., Smith P., Zerihun A., Whitaker J., Vicente-Vicente J.L., Qin Z., McNamara N.P., Zinn Y.L., Llorente M., Liebig M., Kuhnert M., Dondini M., Don A., Diaz-Pines E., Datta A., Bakka H., Aguilera E. & Hillier J. 2020. Changes in soil organic carbon under perennial crops. *Global Change Biology*, 26(7): 4158–4168. <https://doi.org/10.1111/gcb.15120>.
- Lima N., Aguirre L. & Flores E. 2020. Estrategias para mejorar los pastizales altoandinos: el rol del trébol y la fertilización con fósforo. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(2): e17840. <https://doi.org/10.15381/rivep.v31i2.17840>.
- MINAM. 2015. Guía de inventario de la flora y vegetación. MINALM (Ministerio del Ambiente). Perú. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12082/07_guia-a-de-flora-y-vegetacion.pdf?v=1530548605.
- MINAM. 2019. Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú - Memoria Descriptiva. MINAM (Ministerio del Ambiente). Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>.
- Moir J., Jordan P., Moot D. & Lucas D. 2016. Phosphorus response and optimum pH ranges of twelve pasture legumes grown in an acid upland New Zealand soil under glasshouse conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(2): 438–460. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162016005000038>.
- Oliveira L.B.D. 2012. Dinâmica do fósforo em ecossistema de pastagem natural submetido à aplicação de fontes de fosfato. *Dissertação de Mestrado como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo*. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), Santa Maria (Brasil). <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/5543>.
- Rajan S.S., Fox R.L., Saunders W.M. & Upsdell M. 1991. Influence of pH, time and rate of application on phosphate rock dissolution and availability to pastures. *Fertilizer Research*, 28: 85–93. <https://doi.org/10.1007/BF01048859>.
- Ratera C., De la Puente J.L. & Tiver N.S. 1977. Respuestas de diversas leguminosas a la inoculación, cal y microelementos en varios suelos del centro y suroeste de España. *Pastos*, 7(1): 86–101. <http://polired.upm.es/index.php/pastos/article/view/642/641>.
- SAS. 2013. *Base SAS 9.4 Procedures Guide: Statistical Procedures*, Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. <https://support.sas.com/documentation/cdl/en/procstat/66703/PDF/default/procstat.pdf>.
- SENAMHI. 2020. *Precipitación total anual, según departamento, 2015 a 2020*. SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). Perú.
- Tang M. 1986. Factores que afectan la simbiosis leguminosa-rhizobium. *Pastos y Forrajes*, 9(3): 193–209. <https://payfo.ihatuey.cu/index.php?journal=pasto&page=article&op=view&path%5B%5D=1489>.
- Tenelanda D., Crespo P. & Mosquera G. 2018. Umbrales en la respuesta de humedad del suelo a condiciones meteorológicas en una ladera Altoandina. *Maskana*, 9(2): 53–65. <https://doi.org/10.18537/mskn.09.02.07>.

- Trillo F., Núñez J., Aguirre L., Barrantes C. & Flores E. 2020. Comparación de indicadores autoecológicos en dinámica de crecimiento de *Festuca dolichophylla* (Presl, 1830) y *Festuca humilior* (Nees & Meyen, 1841). Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 31(3): e18743. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/18743>.
- Vallejos L., Alvarez W., Paredes M., Saldanha S., Guillén R., Pinares C., Bustíos J. & García R. 2021. Comportamiento productivo y valor nutricional de siete genotipos de trébol en tres pisos altitudinales de la sierra norte del Perú. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú, 32(1): e17690. <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v32i1.17690>.
- Van Saun R.J. 2014. Feeds for Camelids. In: Cebra Ch., Anderson D.E., Tibary A., Van Saun R.J. & Johnson L.W. (Eds.) Llama and Alpaca Care: Medicine, Surgery, Reproduction, Nutrition, and Herd Health. 80-91. First Edition (Issue 1). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-2352-6.00010-9>.
- Ventura-Ríos J., Maldonado-Peralta M., Cruz-Hernández A., Joaquín-Cancino S. & Rojas-García A.R. 2022. Growth analysis of white clover (*Trifolium repens* L.) and indirect methods to estimate its forage yield. Agrociencia, 56(3): 2799: 1-11. <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/2799>.
- Wilcox B. 1984. The Puna - high elevation grassland of the Andes. Rangelands, 6(3): 99-101. <http://hdl.handle.net/10150/638504>.
- Yaranga R. 2019. Ecosistemas de pastizal altoandino. Centro de Investigación en Alta Montaña (CIAM) / Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Zarria M. & Flores E. 2015. Inventario y estrategias de mejora de los pastizales de los sistemas de producción de alpacas en la sierra central. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Producción Animal. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2080>.
- Zarza R., Calistro E. & Martínez E. 2013. Importancia de la implantación en las pasturas perennes. Reunión Técnica: El éxito productivo de una pastura con leguminosas perennes comienza en su implantación. La Estanzuela, Colonia, Uruguay. Serie Técnica Actividades de Difusión 711. INIA. 1-9. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/6728/1/ad-711.p.1-9-ZARZA.pdf>.

¹ Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales / Universidad Nacional Agraria La Molina.

² Departamento Académico de Zootecnia / Facultad de Zootecnia / Universidad Nacional del Centro del Perú.

³ jorellana@uncp.edu.pe.

⁴ Departamento de Producción Animal / Facultad de Zootecnia / Universidad Nacional Agraria La Molina.