

Artículo científico

Comportamiento agronómico de tres variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con diferentes dosis de fertilización fosfatadaAgronomic performance of three alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties with different phosphate fertilization dosesWilson Oñate Viteri¹ y Enrique Flores Mariazza²¹ Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

EC060155, Riobamba, Ecuador

² Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales. Universidad Nacional Agraria, Lima, Perú

Correo electrónico: wilsonovet@yahoo.es

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7533-3481>

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento agronómico de tres variedades de *Medicago sativa* L. con tres dosis de fertilización fosfatada, durante el establecimiento, en la serranía ecuatoriana. El ensayo se realizó en la Estación Experimental Tunshi, ubicada en el cantón Riobamba, provincia de Chimborazo –Ecuador–. Los tratamientos fueron: las variedades de alfalfa como factor A (abunda verde, cuf-101 y sw-8210) y las dosis de fertilización (0, 50, 100 y 150 kg/P/ha) como factor B, frente al ecotipo flor morada (control). Las parcelas experimentales se distribuyeron en un diseño de bloques completamente al azar, con arreglo en parcelas divididas y tres repeticiones; se realizó análisis de varianza y comparación de medias según Tukey. Se registraron diferencias significativas ($p < 0,05$) para la interacción A x B. El porcentaje de emergencia cuando se aplicó 100 kg/P/ha fue de 95,67 % para la var. sw-8210, que difirió significativamente ($p < 0,05$) del ecotipo flor morada sin fertilización (90,33 %). Este ecotipo alcanzó 99,59 % de cobertura aérea y 34,09 % de cobertura basal en el primer corte (110 días), y difirió significativamente ($p < 0,01$) de las variedades introducidas. Flor morada sin fertilización produjo 17,23 y 4,52 t/ha por corte de forraje verde y forraje seco, respectivamente; y superó ($p < 0,01$) a la variedad abunda verde (7,46 y 2,79 t/ha, respectivamente). Se concluye que el ecotipo flor morada presentó mayor rendimiento de forraje verde y seco, y mejor cobertura y altura de la planta sin fertilización fosfatada; asimismo, la cosecha se realizó a los 110 días de la siembra, cuando las plantas presentaron el 10 % de floración.

Palabras clave: ecotipos, emergencia, establecimiento de plantas, rendimiento

Abstract

The objective of this study was to evaluate the agronomic performance of three *Medicago sativa* L. varieties with three doses of phosphate fertilization, during establishment, in the Ecuadorian mountains. The trial was conducted at the Tunshi Research Station, located in the Riobamba canton, Chimborazo province –Ecuador–. The treatments were: the alfalfa varieties as factor A (abunda verde, cuf-101 and sw-8210) and the fertilization doses (0, 50, 100 and 150 kg P/ha) as factor B, compared with the ecotype flor morada (control). The experimental plots were distributed in a completely randomized block design, with split-plot arrangement and three repetitions; variance analysis and mean comparison according to Tukey were carried out. Significant differences ($p < 0,05$) were recorded for the A x B interaction. The emergence percentage when 100 kg P/ha were applied was 95,67 % for the variety sw-8210, which differed significantly ($p < 0,05$) from the ecotype flor morada without fertilization (90,33 %). This ecotype reached 99,59 % of aerial cover and 34,09 % of basal cover in the first cut (110 days), and differed significantly ($p < 0,01$) from the introduced varieties. The ecotype flor morada without fertilization produced 17,23 and 4,52 t/ha per cut of green and dry forage, respectively; and surpassed ($p < 0,01$) the variety abunda verde (7,46 and 2,79 t/ha, respectively). It is concluded that the ecotype flor morada showed higher green and dry forage yield, and better cover and plant height without phosphate fertilization; likewise, the harvest was performed at 110 days after sowing, when the plants showed 10 % of flowering.

Keywords: ecotypes, emergence, plant establishment, yield

Introducción

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una leguminosa forrajera perenne cultivada en todas las regiones del mundo, en climas subtropical, templado y

seco (Liu *et al.*, 2015). Su importancia radica en su potencial de producción, su valor nutricional (Rogers *et al.*, 2014) y su utilización como forraje

verde, heno, ensilado, *pellets* y otros (Milic *et al.*, 2014; Rojas *et al.*, 2017). Es más efectiva que los cultivos anuales para reducir la escorrentía y la erosión del suelo (Fan *et al.*, 2014); sin embargo, el rendimiento y el contenido de nutrientes pueden verse afectados principalmente en suelos salinos (Ensiye *et al.*, 2018). En la actualidad los programas de mejoramiento de la alfalfa se han centrado en el rendimiento y la calidad del forraje, la resistencia a los factores estresantes bióticos y abióticos y la falta de agua (Hawkins y Long, 2018), que es un factor limitante para la producción de cultivos en muchas partes del mundo (Raza *et al.*, 2014).

La encuesta de superficie y producción agropecuaria realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2016) evidenció que en la provincia de Chimborazo –Ecuador–, de las 523 340 ha de uso de suelo, 79 951 ha (15,22 %) se utilizan para pastos cultivados y de ellas 5 250 ha se destinan al cultivo de *M. sativa*, lo que representa el 6,57 %. En Ecuador los ganaderos se dedican únicamente a la producción de forraje verde con el empleo de semillas importadas de los Estados Unidos (Alaska, 2015). Entre los años 2000 y 2013 se importaron más de 1 700 toneladas métricas de semillas de *M. sativa*, de las cuales el 93 % provenían de dicho país (Banco Central del Ecuador, 2014).

Sanz *et al.* (2017) indicaron que el nitrógeno y el fósforo son los principales macronutrientes de las plantas que limitan el crecimiento. Aunque el P es abundante en muchos suelos, su disponibilidad para las plantas es baja. El cultivo de la alfalfa requiere de suelos con pH neutro, textura media a liviana, buen drenaje y profundidad y alta disponibilidad de fósforo, donde esta pueda expresar todo su potencial productivo. En tal sentido, la deficiencia de fosfato es un factor nutricional que limita la producción de las leguminosas, particularmente en suelos ácidos y calcáreos (Martins *et al.*, 2017). Por ello, el análisis químico de la capa arable es imprescindible para conocer la situación particular y orientar los programas de fertilización. Los beneficios de la fertilización fosfatada inicial de la alfalfa se perciben, entre otros, en una mayor formación de nódulos, estímulo del crecimiento inicial, mayor desarrollo de las raíces, mejor competencia con las arvenses y anticipo del primer aprovechamiento. Teniendo en cuenta tales antecedentes, el objetivo de este estudio fue evaluar el comportamiento agronómico de tres variedades de *Medicago sativa* L. con tres dosis de fertilización fosfatada, durante el establecimiento en la serranía ecuatoriana.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en un lote de terreno de la Estación Experimental Tunshi, perteneciente a la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), ubicada en el kilómetro 12 vía a Licto, provincia de Chimborazo; a 79° 40' de longitud oeste y 01° 65' de latitud sur, y a una altitud de 2 754 msnm. La temperatura es de 10 a 20 °C, con una media de 13,6 °C; la precipitación anual varía entre 550 y 800 mm, y la humedad relativa entre 54 y 96 %, con una media de 82 % (INAMHI, 2017).

Caracterización del suelo. El análisis del suelo de la Estación Experimental Tunshi se muestra en la tabla 1. El suelo de este sitio posee pH neutro y bajo contenido de P en la capa arable; su topografía es plana (1,5 % de pendiente) y la estructura es franco arenosa, con un buen drenaje.

Tabla 1. Caracterización del suelo de la Estación Experimental Tunshi.

Indicador	Valor
pH	7,40
MO, %	2,53
N, %	0,33
P, ppm	7,80
K, cmol/kg	0,86
Ca, cmol/kg	9,52
Mg, cmol/kg	3,55
Fe, ppm	6,10
Mn, ppm	7,16
Cu, ppm	9,61

Fuente: Laboratorio de análisis de suelos y fertilizantes de Agrocalidad (2016).

Tratamientos y diseño experimental. Los tratamientos fueron las variedades de alfalfa como factor A (abunda verde, cuf-101 y sw-8210) y como factor B las dosis de fertilización (0, 50, 100 y 150 kg/P/ha), frente al ecotipo alfalfa morada (control), con tres repeticiones; el diseño fue de bloques completamente al azar con arreglo en parcelas divididas, ajustado al siguiente modelo lineal aditivo: $Y_{ijk} = \mu + R_i + A_j + E_A + B_k + A_jB_k + E_B + T_s + E_{ijk}$ Donde:

Y_{ijk} : valor estimado de la variable

μ : media general

R_i : efecto de los bloques (R)

- Aj*: efecto de las variedades de alfalfa (A)
E_A: efecto de la aleatorización de las variedades dentro de los bloques
Bk: efecto de las dosis de fertilización fosfatada (B)
AjBk: efecto de la interacción variedades de alfalfa y fertilización fosfatada (AB)
E_B: efecto de la aleatorización de las dosis de fertilización fosfatada en las variedades de *M. sativa*
Ts: efecto del contraste (*M. sativa* ecotipo morada frente a las interacciones variedades de alfalfa por dosis de fertilización)
Eijk: efecto residual

Procedimiento experimental

Una vez seleccionado el sitio se inició la preparación del suelo, que constó de tres pasos: arado, rastrado y nivelación del terreno; después se delimitaron las parcelas, con un área de 5 x 4 m (20 m²) que fue la unidad experimental, y una separación entre bloques de 1 m²; para el estudio se contó con tres bloques conformados por 13 parcelas (12 para las variedades introducidas y una para el ecotipo flor morada), con un área de 780 m² (39 parcelas).

Se tomó una muestra de suelo para realizar el análisis químico y físico antes de la siembra. Esta se efectuó en diciembre de 2016, a voleo, con semilla certificada para las variedades introducidas y semilla artesanal para el ecotipo flor morada, y se empleó una densidad de 22,73 kg/ha. La fertilización química (0, 50, 100 y 150 kg/P/ha) se aplicó en el momento de la siembra, con superfosfato triple (SFT) como fuente de fósforo.

En el caso de las variedades introducidas, antes de la siembra cada variedad se sorteó aleatoriamente en cada bloque (parcela principal), y en cada variedad de cada bloque (subparcela) se sortearon aleatoriamente las dosis de fósforo. En cambio, en el control la siembra se realizó en la primera parcela de cada bloque.

Las labores culturales fueron homogéneas para todas las unidades experimentales, principalmente el control de arvenses y el riego, que estuvo en correspondencia con las condiciones ambientales de la Estación Experimental Tunshi. Las evaluaciones del establecimiento y crecimiento de los alfalfares se realizaron cada 30 días, hasta el primer corte (110 días). Se evaluaron los siguientes indicadores: porcentaje de emergencia, número de tallos por planta, número de plantas por metro cuadrado, altura de la planta, porcentaje de cobertura aérea y

basal, número y altura de los rebrotes, composición botánica, relación hoja/tallo, producción de forraje verde y de materia seca, y días para la cosecha.

Mediciones

Análisis de suelo. Las muestras de suelo se analizaron en el Laboratorio de Agrocalidad del Ministerio de Agricultura (Agrocalidad, 2016).

Porcentaje de emergencia. Se evaluó el porcentaje de plantas que prendieron y/o emergieron a los 21 días después de la siembra.

Número de plantas. En cada subparcela (variedades), se contó el número de plantas en un cuadrante de 0,5 m², este se expresó en plantas por metro cuadrado.

Número de tallos por planta. Se determinó mediante el conteo manual de cada uno de los tallos de 10 plantas al azar; este indicador se midió para cada tratamiento y se calcularon los promedios.

Cobertura basal (%). La cobertura basal se evaluó con el método del transepto permanente de Parker.

Composición florística. Se calculó la composición florística sobre la base de la cobertura vegetal, en porcentaje.

Relación hoja/tallo. Se utilizaron submuestras de las muestras para rendimiento de forraje. Estas se separaron en componentes morfológicos (hojas y tallos), se secaron y se pesaron, para posteriormente estimar el porcentaje de hojas y el de tallos en la muestra. La relación hoja/tallo se determinó al dividir el rendimiento de hojas entre el rendimiento de tallos.

Altura de la planta (cm). La altura de la planta se tomó como la distancia media comprendida entre la parte basal del tallo hasta el ápice de la hoja (altura de la canopía).

Porcentaje de floración. Esta medición se hizo solo en el ecotipo flor morada, ya que las variedades introducidas no florecieron; se consideró el estado de prefloración cuando el cultivo alcanzó el 10 % de floración.

Número y altura de nuevos rebrotes. La medición se basó en el conteo de los nuevos rebrotes de la corona, después que estos alcanzaron 5-7 cm de altura (Harris, 1978).

Producción de materia seca (t/ha). La producción de forraje verde de cada variedad se expresó en toneladas por corte; para ello se tomó el peso de la muestra verde en un metro cuadrado, y este valor se llevó a su equivalencia en producción de materia seca por hectárea.

Nodulación. Se cavó cuidadosamente alrededor de las raíces, se descubrió la planta y se contaron los nódulos vivos.

Días para la cosecha. En las variedades introducidas se realizó la cosecha cuando las plantas alcanzaron de cuatro a cinco rebrotes nuevos con más de 5 cm de altura, ya que no hubo inducción de la floración; y en el caso de la flor morada, cuando los alfalfares tuvieron el 10 % de floración.

Análisis estadístico. Los resultados se tabularon en una hoja electrónica Excel de Office 2016; y posteriormente se sometieron a análisis de varianza, previa comprobación de los supuestos de homogeneidad de varianza y normalidad. Las comparaciones de medias se hicieron según Tukey ($p < 0,05$) para la interacción AB. Para el procesamiento estadístico se usó el paquete Infostat (Di Rienzo *et al.*, 2017).

Resultados y Discusión

En las tablas 2a y 2b se muestra el comportamiento de los indicadores evaluados.

Emergencia. Los porcentajes de emergencia de las variedades de alfalfa abunda verde, cuf-101 y sw-8210 al aplicar el fosfato variaron entre 92,67 y 95,67 %, y difirieron significativamente ($p < 0,05$) del ecotipo flor morada (90,33 %). Ello coincide con lo informado por Alaska (2015) en esas mismas variedades: entre 94 y 95 % de emergencia. Esto quizá se deba al estímulo del fósforo en el desarrollo radicular, el cual propicia el crecimiento vegetativo inicial más intenso y a largo plazo, cuando se garantiza un buen balance nutricional y de humedad del suelo (Barber, 1980).

Cobertura aérea. El ecotipo flor morada y la variedad sw8210 con 100 y 150 kg/P/ha mostraron los mayores valores en cobertura aérea, que fueron significativamente superiores ($p < 0,01$) a los de las variedades cuf-101 con 0 y 50 kg/P/ha y sw8210 sin fertilización. En el caso de flor morada, ello se debió a que está adaptada a los suelos franco arenosos y a su capacidad de fijación del nitrógeno a través de la interacción con los rizobios presentes (Ohyama, 2017), lo que permite incrementar el área foliar. Además, las raíces del ecotipo flor morada son más profundas que las de las variedades introducidas; por lo tanto, extraen más los nutrientes del suelo para el crecimiento y desarrollo de las plantas, se incrementa el área foliar y, como consecuencia, aumenta la cobertura aérea. En cambio, en la variedad sw8210 con 100 y 150 kg de P/ha hubo un incremento en la cobertura, lo cual

demuestra que el fósforo es necesario para lograr un establecimiento exitoso y un buen desarrollo de las raíces, así como mejor eficiencia de uso del agua y competencia con las arvenses (Sanz *et al.*, 2017); por lo tanto, hubo un mejor aprovechamiento de los nutrientes disponibles en el suelo, y esto favoreció el incremento de la cobertura.

Cobertura basal. La cobertura basal del ecotipo flor morada, la de las variedades sw-8210 y cuf-101 con 150 kg/P/ha y la de la abunda verde con 50, 100 y 150 kg/P/ha no difirieron entre sí; sin embargo, el ecotipo flor morada mostró la mayor cobertura, que difirió significativamente ($p < 0,01$) de las variedades abunda verde sin fertilización, cuf-101 y sw-8210 con 0, 50 y 100 kg/P/ha. Esta mejor cobertura para flor morada sin fertilización se debió a que está adaptada y naturalizada en la serranía del Ecuador, mientras que en las variedades introducidas el fósforo es imprescindible para su cultivo. Según Honghua *et al.* (2017), el suministro de fósforo en los suelos afecta la acumulación de otros nutrientes minerales por parte de las plantas. Si hay un suministro alto de P, también se incrementa la captación de algunos cationes; y una alta concentración de P en los brotes de algunas plantas se acompaña de altas concentraciones de potasio, calcio, magnesio y manganeso (Aziz *et al.*, 2015).

Relación hoja/tallo. La relación hoja/tallo para las variedades de alfalfa introducidas varió entre 1,11 y 1,30, con diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto al ecotipo flor morada (0,96), lo que indica que este último es de menor calidad. Las hojas de alfalfa son los componentes de la planta que presentan mayor valor nutricional y alto potencial de consumo en el momento del corte; por lo tanto, la calidad de esta forrajera puede ser mejorada con cultivares que posean mayor cantidad de hojas.

Lamb y Hans (2014) observaron una relación hoja/tallo mayor en junio (inicios de verano), y la relacionaron con la edad temprana de rebrote; además, la relación hoja/tallo fue menor en las etapas tardías de la floración.

Altura de la planta. La altura de las plantas presentó diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre la flor morada (77,97 cm de altura promedio) y las variedades introducidas con fertilización fosfatada (entre 50,1 y 56,27 cm). Esto posiblemente se deba a que el ecotipo flor morada es una especie naturalizada y posee genes adaptados a las condiciones climáticas y edáficas de la serranía ecuatoriana; además, el establecimiento exitoso de la alfalfa de-

Tabla 2a. Comportamiento agronómico de tres variedades de alfalfa con tres dosis de fertilización fosfatada, frente al ecotipo flor morada.

Variable	Dosis de fósforo, kg/ha												Flor morada	Valor ±EE	Valor -p
	Abunda verde			Cuf-101			Sw-8210								
	0	50	100	150	0	50	100	150	0	50	100	150			
Emergencia, %	94,00 ^a	94,33 ^a	94,00 ^a	92,67 ^a	95,00 ^a	95,33 ^a	95,33 ^a	95,00 ^a	95,33 ^a	93,67 ^a	95,67 ^a	93,33 ^a	90,33 ^b	0,94	0,03
Número plantas/m ²	18,33	19,33	21,33	24,67	17,33	17,67	17,00	20,00	17,67	18,33	17,67	20,67	20,33	1,74	0,18
Número de tallos	8,87	10,50	10,67	13,63	9,90	11,70	9,27	9,57	10,33	12,43	11,80	10,63	11,30	1,03	0,13
Cobertura aérea, %	79,62 ^{bcd}	78,06 ^{bcd}	80,46 ^{bcd}	83,63 ^{bcd}	76,37 ^{cd}	75,66 ^{cd}	77,86 ^{bcd}	78,86 ^{bcd}	73,8 ^d	80,40 ^{bcd}	88,19 ^{abc}	90,38 ^{ab}	99,59 ^a	2,61	0,00
Cobertura basal, %	26,02 ^b	28,23 ^{ab}	28,33 ^{ab}	29,96 ^{ab}	26,59 ^b	27,18 ^b	26,82 ^b	28,96 ^{ab}	24,59 ^b	26,85 ^b	27,78 ^b	29,30 ^{ab}	34,09 ^a	1,14	0,00
Composición florística, %	93,60	94,07	94,50	93,40	94,73	94,43	96,40	93,73	93,73	92,63	95,43	96,20	95,33	1,06	0,39

Letras desiguales en una misma fila difieren significativamente, según Tukey ($p < 0,05$).

EE: error estándar.

Tabla 2b. Comportamiento agronómico de tres variedades de alfalfa con tres dosis de fertilización fosfatada, frente al ecotipo flor morada.

Variable	Dosis de fósforo, kg/ha												Flor morada	± EE	Valor -P
	Abunda verde				Cuf-101				Sw-8210						
	0	50	100	150	0	50	100	150	0	50	100	150			
Relación hoja/tallo	1,16 ^a	1,20 ^a	1,26 ^a	1,30 ^a	1,11 ^a	1,22 ^a	1,17 ^a	1,29 ^a	1,05 ^a	1,11 ^a	1,13 ^a	1,20 ^a	0,96 ^b	0,003	0,04
Altura, cm	54,80 ^b	50,17 ^b	53,77 ^b	55,63 ^b	51,53 ^b	56,27 ^b	48,80 ^b	55,63 ^b	55,63 ^b	56,13 ^b	54,27 ^b	55,63 ^b	77,97 ^a	2,24	0,00
Altura rebrotes, cm	6,67	6,67	5,67	6,33	6,33	6,67	8,33	6,67	5,33	7,00	7,33	8,00	5,33	0,70	0,14
Producción FV, t/ha/corte	7,46 ^b	8,52 ^b	7,87 ^b	9,92 ^b	8,30 ^b	10,32 ^{ab}	10,92 ^{ab}	10,32 ^{ab}	8,25 ^b	11,29 ^{ab}	9,60 ^b	10,51 ^a	17,23 ^a	1,34	0,00
Producción MS, t/ha/corte	2,07 ^b	2,12 ^b	1,95 ^b	2,47 ^b	2,08 ^b	2,48 ^b	2,48 ^b	2,66 ^b	1,90 ^b	2,79 ^b	2,41 ^b	2,61 ^b	4,52 ^a	0,32	0,00
Días a la cosecha	90,0 ^b	90,0 ^b	90,0 ^b	90,0 ^b	90,0 ^b	90,0 ^b	90,0 ^b	90,0 ^b	90,0 ^b	90,0 ^b	90,0 ^b	90,0 ^b	110,0 ^a	2,82	0,03
Número de nódulos/planta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,00	-	-

Letras desiguales en una misma fila difieren significativamente, según Tukey ($p < 0,05$).

EE: error estándar.

pende de la formación de nódulos efectivos por la bacteria *Sinorhizobium meliloti*, y muchos nódulos por planta pueden permanecer ocupados por cepas de rizobios naturalizados presentes en el suelo (Wigley *et al.*, 2015).

Bayas (2003), al utilizar *bokashi*, té de estiércol y biosol como biofertilizantes, obtuvo alturas en la etapa de prefloración de 40,60; 43,14 y 34,71 cm, respectivamente, valores inferiores a los de este estudio; mientras que Chacón (2011), al aplicar abono foliar, registró valores de altura entre 63,35 y 79,63 cm. Similar comportamiento fue reportado por Avci *et al.* (2013) en siete variedades de alfalfa, en dos años de producción y en dos localidades, las que alcanzaron una altura promedio de 66 cm.

Producción de forraje verde. La producción de forraje verde del ecotipo flor morada y la de cuf-101 con 50, 100 y 150 kg/P/ha y sw-8210 con 50 y 150 kg/P/ha fueron significativamente superiores ($p < 0,01$), en comparación con las variedades abunda verde con 0, 50, 100 y 150 kg/P/ha, cuf-101 sin fertilización y sw-8210 con 0 y 100 kg/P/ha. Estos resultados pueden deberse a la inclusión de fósforo en las variedades introducidas, el cual contribuye a mejorar las características químicas del suelo y favorecer el desarrollo y crecimiento de las plantas.

En un estudio realizado en Colombia, la producción de biomasa verde y la mejor calidad nutricional se presentaron en el estadio de botón floral, a los 210 días de la siembra; no se hallaron diferencias significativas entre las variedades de alfalfa para las condiciones ambientales del municipio de Pamplona, por lo que todas (cuf-101, moapa-69, sw-8210 y sw-8718) pudieron introducirse en este agroecosistema (Capacho *et al.*, 2018).

Dichos resultados no coinciden con los de este estudio, ya que en el ecotipo flor morada sin fertilización y en las variedades sw-8210 y cuf-101 con 50, 100 y 150 kg/P/ha se registraron mayores producciones (entre 10 y 17 t/ha por corte).

Por otro parte, es de señalar que la alfalfa tiene altos requerimientos de fósforo; su nivel crítico es de 18 a 20 ppm y, a su vez, produce entre 50 y 70 kg de MS/kg de P_2O_5 en dependencia de la cantidad utilizada, el contenido de nutrientes en el suelo, y el estado y la edad de la pastura (Morón, 2000). Si se aplica el criterio de suficiencia, que se basa en la integración del resultado analítico de P Bray con la cantidad de fósforo requerida para lograr la respuesta en producción de materia seca de la alfalfa por la adición de fósforo, ello implicaría

aplicar la mínima cantidad de fósforo en la siembra, que permita maximizar la rentabilidad (Marino y Echeverría, 2018).

Producción de materia seca. La producción de materia seca mostró diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre la media del tratamiento control y de las tres variedades introducidas con las diferentes dosis de fertilización fosfatada; se obtuvo 4,52 t/ha por corte para la alfalfa flor morada y entre 2,12 y 2,79 t/ha por corte para las variedades introducidas. Ello demuestra que, en la etapa de establecimiento de los alfalfares, las dosis de fertilización no tuvieron efecto en las variedades introducidas, debido posiblemente a la falta de proliferación de los nódulos; ya que esto proporciona energía a través del ATP y, consecuentemente, afecta la producción de la materia seca. Por otra parte, las raíces fibrosas de la alfalfa proliferan en los primeros 20 cm de suelo, y son las que tienen la mayoría de los nódulos que favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas (Barnes y Scheaffer, 1995).

Dammer (2004) evaluó cuatro variedades de esta leguminosa en cuanto a la producción de materia seca por hectárea en el segundo corte, en la época de invierno, y obtuvo 3 869 kg de MS/ha en la variedad moapa 69, seguida por la cuf-101 (3 319,7 kg de MS/ha) y por la sw-8210 (2 393 kg de MS/ha), con valores inferiores a los de la presente investigación.

Por su parte, Plevich *et al.* (2012) informaron una producción de materia seca en el segundo corte de 2 820 kg de MS/ha. Rojas *et al.* (2017) indicaron que el rendimiento de forraje fue contrastante con el número de plantas promedio en cada estación, y que los mayores rendimientos de forraje durante la primavera y el verano se deben a las condiciones de luz y temperatura favorables para el crecimiento de la alfalfa; al respecto, en cinco variedades de alfalfa la tasa de crecimiento, radiación interceptada, índice de área foliar y altura de la planta fueron mayores en primavera-verano (Rojas *et al.*, 2017).

Según Rebuffo (2005), para lograr un buen establecimiento y producción se debe prestar especial atención a la calidad del suelo donde se desea sembrar la alfalfa. El pH del suelo es un factor importante que influye en el crecimiento de esta especie, el cual afecta de forma directa la fijación simbiótica del nitrógeno y la disponibilidad de elementos esenciales como el potasio, el fósforo, el azufre y el boro –nutrientes limitantes en la producción de alfalfa–, aunque pueden

ocurrir otras deficiencias en determinados suelos (Barnes y Scheaffer, 1995). Por otra parte, varios investigadores reportan que el medio ambiente es un factor que influye en la producción y calidad del forraje, por lo que se deben seleccionar materiales que se adapten a las condiciones de manejo, suelo y clima de la región.

Días para la cosecha. Las variedades de alfalfa introducidas fueron cosechadas a los 90 días, lo que difirió significativamente ($p < 0,05$) del ecotipo flor morada que se cosechó en la etapa de floración (110 días). La cosecha de las variedades abunda verde, cuf-101 y sw-8210 se realizó cuando las plantas mostraron nuevos rebrotes con altura entre 5 y 8 cm, ya que no hubo inducción de la floración. Se plantea que el corte oportuno permite cosechar toda la energía que la alfalfa produce; por cada día de retraso después de la floración, su valor nutricional disminuye en 1 %. Por lo tanto, para el ecotipo flor morada se recomienda hacer el corte cuando el 10 % del alfalfar esté en floración, y para las especies introducidas, cuando los rebrotes basales tengan 5 cm de altura. Los cortes frecuentes, antes de la época recomendada, disminuyen las reservas en las raíces, aumentan la susceptibilidad de la planta a las altas temperaturas, y las dejan más expuestas al ataque de enfermedades y, consecuentemente, a una reducción en su rendimiento y densidad. Yunga *et al.* (2015) señalaron que el rebrote depende de las reservas, que se reducen cuando los cortes son frecuentes.

Las variables número de plantas por metro cuadrado, número de tallos por planta, composición botánica y altura de los rebrotes no presentaron diferencias significativas en las variedades sw-8210, abunda verde y cuf-101 con fertilización fosfatada, ni respecto al control; esto se debió a que las condiciones climáticas y edáficas y la genética de los alfalfares se comportaron de forma homogénea (tablas 2a y 2b).

Conclusiones

El ecotipo flor morada, sin fertilización fosfatada, presentó mayor rendimiento de forraje verde y seco y mejor cobertura y altura de la planta; asimismo, su cosecha se realizó a los 110 días después de la siembra, cuando las plantas presentaron el 10 % de floración.

En las variedades abunda verde, cuf-101 y sw-8210 con fertilización fosfatada, los porcentajes de emergencia fueron superiores a los de flor morada y también de mayor calidad, con una mejor relación hoja/tallo; la cosecha se realizó a los 90

días, cuando los alfalfares presentaron rebrotes mayores que 5 cm.

Agradecimientos

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Estación Experimental Tunshi, por las facilidades prestadas para esta investigación.

Referencias bibliográficas

- Agrocalidad. *Análisis químico del suelo de Tunshi*. Ecuador: Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador, Laboratorio de Análisis de Suelos y Fertilizantes, 2016.
- Alaska. *Pastos de clima frío*. Importadora de semillas http://www.imporalaska.com/26-semillas_de_pastos_de_frio.html, 2015.
- Avci, M.; Ozkose, A. & Tamkoc, A. Determination of yield and quality characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.) varieties grown in different locations. *J. Na. Vet. Adv.* 12 (4):487-490, 2013.
- Aziz, T.; Lambers, H.; Nicol, D. & Ryan, M. Mechanisms for tolerance of very high tissue phosphorus concentrations in *Ptilotus polystachyus*. *Plant Cell Environ.* 38:790-799, 2015.
- Banco Central del Ecuador. *Estadísticas de comercio exterior*. Quito. http://www.portal.bce.fin.ec/vto_bueno/comercioexterior.jsp, 2014.
- Barber, S. Nutrient placement. In: *Soil nutrient bioavailability. A mechanistic approach*. John Wiley & Sons, Inc. p. 368-388, 1980.
- Barnes, D. & Scheaffer, C. *Alfalfa. An introduction to grassland agriculture*. 5th ed. Vol. 1, cap. 16. Ames, USA: Iowa State University Press. p. 206-211, 1995.
- Bayas, A. *Té de estiércol, biol, biosol como biofertilizantes en la producción de alfalfa*. Tesis de grado. Riobamba, Ecuador, 2003.
- Capacho, A.; Flórez, D. & Delgado, J. Biomasa y calidad nutricional de cuatro variedades de alfalfa para introducir en Pamplona, Colombia. *Revista Ciencia y Agricultura*. 15:61-67, 2018. DOI: <http://doi.org/10.19053/01228420.v15.n1>.
- Chacón, D. *Evaluación de diferentes niveles de abono foliar en la producción de forraje de Medicago sativa*. Tesis de grado. Riobamba, Ecuador, 2011.
- Dammer, M. *Adaptación de cuatro variedades de alfalfa (Medicago sativa) en la zona de Cananvalle*. Tabacundo. Cayambe, Ecuador, 2004.
- Di Rienzo, J. A.; Casanoves, F.; Balzarini, Mónica G.; González, Laura A.; Tablada, M. & Robledo, C. W. *Infostat. Versión 1.6*. Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=31>, 2017.

- Ensiye, A.; Jamshid, R. & Morteza, Z. Effect of salt stress on the growth and accumulation of alfalfa ions (*Medicago sativa* L.). *J. Plant Nut.* 41 (7):818-831, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1080/01904167.2018.1426017>.
- Fan, J.; Wang, Q.; Malhi, S. & Li, E. Effect of mulch on the storage of water in the soil and its depletion by alfalfa in the Loess Plateau in northwestern China. *Agric. J. Manage. Water.* 138:10, 2014.
- Harris, W. *Defoliation as determinant of the growth, persistence and composition of pasture*. (Ed. J. R. Wilson): CSIRO. p. 67-85, 1978.
- Hawkins, C. & Long, X. Recent progress in alfalfa (*Medicago sativa* L.) genomics and genomic selection. *The Crop Journal.* 6:565-575, 2018.
- Honghua, H.; Peng, Q.; Xia, W.; Chenbin, F.; Jiayin, P.; Hans, L. *et al.* Growth, morphological and physiological responses of alfalfa (*Medicago sativa*) to phosphorus supply in two alkaline soils. *Plant Soil.* 416:565-584, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11104-017-3242-9>.
- INAMHI. *Estación Meteorológica Facultad de Recursos Naturales*: ESPOCH, 2017.
- INEC. *Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua ESPAC 2106. Producción agropecuaria en la provincia de Chimborazo. Ministerio de Agricultura zona III*. Quito: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2016.
- Lamb, J.; Hans, J. & Heathcliffe, R. Growth environment, harvest management and germplasm impacts on potential ethanol and crude protein yield in alfalfa. *Biomass and Bioenergy.* 63:114-125, 2014.
- Liu, D.; Liu, G. & Yang, Z. The effect of sowing and harvesting factors on the yield of hay and the proportion of stem leaves of *Medicago sativa*. *Acta Prataculturae Sinica.* 24:48-57, 2015.
- Marino, M. & Echeverría, H. Diagnóstico de requerimiento de fósforo para alfalfa (*Medicago sativa* L.) en argiudoles. *Jornal Agronomy and Crop Science.* 35 (1):11-24, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31047/1668.298x.v1.n35.20449>.
- Martins, D.; Macovei, A.; Leonetti, P.; Balestrazzi, A. & Araújo, S. La influencia de fosfato, deficiencia en leguminosas. symbiotic N₂ fijación. En: S. Sulieman y L. S. Tran, eds., 2017.
- Milic, D.; Karagic, S.; Vasiljevic, A.; Mikic, B.; Milo & Katic, S. Breeding and improvement of quality traits in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Genetic.* 46:11-18, 2014.
- Morón, A. *Alfalfa. Fertilidad de suelos y estado nutricional en sistemas agropecuarios de Uruguay*: INPOFOS, 2000.
- Ohyama, T. *The role of legume-rhizobium symbiosis in sustainable agriculture. Legume nitrogen fixation in soils with low phosphorus availability: Adaptation and regulatory implication*, 2017.
- Plevich, J.; Delgado, A. & Saroff, C. El cultivo de alfalfa utilizando agua de perforación, agua residual urbana y precipitaciones. *Rev. bras. eng. agrícola ambiental.* 16 (12), 2012. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1415-43662012001200013>.
- Raza, A.; Moghaddam; Gollner, G. J. & Friedel, F. Evaluation of crop system for studying the effect of mulching with lucerne (*Medicago sativa* L.) in Austria. *J. Plant Interactions.* 9 (1):592-598, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1080/17429145.2013.877601>.
- Rebuffo, M. Alfalfa: Principios de manejo del pastoreo. *Revista INIA - No 5.* 43 (1):79-92, 2005.
- Rogers, A.; Lawson, S. & Chandra, K. The limited application of irrigation water does not affect the nutritional characteristics of the Anim Pinchar alfalfa. *Sci.* 54 (10):1635-1640, 2014.
- Rojas, G.; Torres, S.; Joaquín, C.; Hernández, G.; Maldonado, P. & Sánchez, P. Componentes del rendimiento en variedades de alfalfa. *Agrociencia.* 51:697-708, 2017.
- Sanz, S.; Morales, F.; Arrese, I. & Aranjuelo, I. Phosphorus deficiency: An important limiting factor for rhizobial symbiosis. En: S. Sulieman, ed. *Tran LS*, 2017.
- Wigley, K.; Liu, W.; Khumalo, Q.; Brown, D. & Ridgway, H. Effectiveness of three inoculation methods for lucerne (*Medicago sativa* L.) in two Canterbury soils. *New Zealand J. Agric. Res.* 58 (3):292-301, 2015. DOI: <http://doi.org/10.1080/00288233.2015.1028652>.
- Yunga, A.; Ayora, B. & Llaguarima, P. *Manejo y cuidado del cultivo de alfalfa (Medicago sativa L.)*. https://issuu.com/adrianhucuri/docs/cultivar_vivero, 2015.

Recibido el 16 de enero del 2019

Aceptado el 4 de julio del 2019