

Evaluación productiva y composición química de seis genotipos de *Medicago sativa* L. en los Andes del norte de Perú**Productive evaluation and chemical composition of six genotypes of *Medicago sativa* L. in the Andes of northern Peru**

Magali Beatriz Cubas-Leiva¹ <https://orcid.org/0000-0001-8194-9346>, Luis Asunción Vallejos-Fernández¹ <https://orcid.org/0000-0002-9858-642X>, Roy Roger Florián-Lescano¹ <https://orcid.org/0000-0002-9681-9576>, William Leoncio Carrasco-Chilón² <https://orcid.org/0000-0003-4930-6548> y Wuesley Yusmeín Álvarez-García^{1,2} <https://orcid.org/0000-0002-9655-3149>

¹Facultad de Ingeniería en Ciencias Pecuarias, Universidad Nacional de Cajamarca. Av. Atahualpa 1050, Cajamarca 06003, Perú. ²Estación Experimental de Baños del Inca, Programa Nacional de Pastos y Forrajes, Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario, Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Jr. Wiracocha s/n, Baños del Inca, Cajamarca 06004, Perú. Correo electrónico: maga10243@gmail.com, lvallejos@unc.edu.pe, rflorian@unc.edu.pe, wcarrasco@inia.gob.pe, wuesley.alvarez@hotmail.com, walvarez@unc.edu.pe

Resumen

Objetivo: Evaluar el rendimiento, la tasa de crecimiento, la altura de la planta y los contenidos de proteína bruta, ceniza y fibra detergente neutro en seis genotipos de *Medicago sativa* L. en dos pisos altoandinos de los Andes del norte del Perú.

Materiales y Métodos: Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar. Se consideraron las variedades de *M. sativa* (SW10, W450, HORTUS 401, W350, SW8210 y STAMINO 5) como los tratamientos, distribuidos en tres bloques, repetidos en las dos localidades, con un total de 36 unidades experimentales. Se evaluó la composición química, el rendimiento de forraje verde y materia seca, la tasa de crecimiento y la altura de la planta en los seis genotipos y su interacción. El análisis de los indicadores productivos se realizó mediante un análisis de varianza. Además, se realizaron pruebas de correlación de Pearson para determinar la relación entre la altura de la planta y el rendimiento de biomasa.

Resultados: El piso altitudinal I logró 10 241,8 kg/ha/corte de forraje verde y 61 450,6 kg/ha/año, 1 739,9 kg/ha/corte y 10 498 kg/ha/año de materia seca, con la mejor producción. La variedad W-450 tuvo mayor rendimiento promedio de forraje verde (56 963 kg/ha/año) y de materia seca (10 483,9 kg/ha/año). La altura de la planta varió de 22,4 a 35,5 cm y la proteína bruta de 16,7 a 21,2 %. Los registros de ceniza fueron de 9,3 a 12,0 % y la fibra detergente neutro de 24,2 a 32,5 %.

Conclusiones: Todas las variedades mostraron alto potencial para la producción de forraje en las condiciones de ambos pisos altitudinales. Asimismo, las condiciones ambientales fueron determinantes en el desempeño de los diferentes genotipos.

Palabras clave: composición química, interacción genotipo ambiente, leguminosas forrajeras

Abstract

Objective: To evaluate the yield, growth rate, plant height and crude protein, ash and neutral detergent fiber contents in six genotypes of *Medicago sativa* L. and on two high Andean plateaus of northern Peru.

Materials and Methods: A complete randomized block design was used. The *M. sativa* varieties (SW10, W450, HORTUS 401, W350, SW8210 and STAMINO 5) were considered the treatments, distributed in three blocks, repeated in the two localities, with a total of 36 experimental units. The chemical composition, green forage and dry matter yield, growth rate and plant height in the six genotypes and their interaction, were evaluated. The analysis of the productive indicators was done through variance analysis. In addition, Pearson's correlation tests were carried out to find relation between plant height and biomass yield.

Results: The altitudinal plateau I achieved 10 241,8 kg/ha/cut of green forage and 61 450,6 kg/ha/year, 1 739,9 kg/ha/cut and 10 498 kg/ha/year of dry matter, with the best production. The variety W-450 had higher average green forage yield (56 963 kg/ha/year) and dry matter (10 483,9 kg/ha/year). Plant height varied from 22,4 to 35,5 cm and crude protein from 16,7 to 21,2 %. The ash records were from 9,3 to 12,0 % and neutral detergent fiber from 24,2 to 32,5 %.

Conclusions: All the varieties showed high potential for forage production under the conditions of both altitudinal plateaus. Likewise, the environmental conditions were determinant in the performance of the different genotypes.

Keywords: chemical composition, genotype environment interaction, forage legumes

Introducción

Medicago sativa L. es una importante legumbre forrajera en los sistemas agrícolas y ganaderos de

las zonas semiáridas. Se cultiva en todas las regiones del mundo y se adapta a los climas subtropical, templado y seco (Gu *et al.*, 2018). Su importancia se

Recibido: 15/10/2021

Aceptado: 31/01/2022

Como citar este artículo: Cubas-Leiva, Magali Beatriz; Vallejos-Fernández, Luis Asunción; Florián-Lescano, Roy Roger; Carrasco-Chilón, William Leoncio & Álvarez-García, Wuesley Yusmeín. Evaluación productiva y composición química de seis genotipos de *Medicago sativa* L. en los Andes del norte de Perú. *Pastos y Forrajes*. 45:eE7, 2022.

Este es un artículo de acceso abierto distribuido en Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional (CC BY-NC4.0) <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/> El uso, distribución o reproducción está permitido citando la fuente original y autores.

debe a su potencial de producción y valor nutritivo para alimentar el ganado (Álvarez-Vázquez *et al.*, 2018). Requiere gran contenido de nutrientes en el suelo, principalmente de fósforo, que se aloja en las raíces, y que luego el área foliar lo utiliza, con lo que se incrementa el rendimiento de biomasa (Gu *et al.*, 2018; Oñate-Vitteri y Flores-Mariazza, 2019).

Las condiciones climáticas de la zona de montaña o de Los Andes son muy variables, por la marcada estacionalidad de la lluvia y la sequía; además de las variaciones de temperatura durante el día y la noche. Las diferencias entre las estaciones influyen en las condiciones productivas de *M. sativa*, lo que también se evidencia en los genotipos, que tienen una capacidad diferente de adaptación a dichas condiciones (Rivas-Jacobo *et al.*, 2020). Se conoce que las características del ambiente donde se desarrollan los cultivares condicionan el comportamiento productivo de una misma especie (Rebora *et al.*, 2015; Rivas-Jacobo *et al.*, 2020).

Según criterios de Wang *et al.* (2021), la producción continua de cultivares de *M. sativa* afecta la capacidad de almacenamiento de agua y la fertilidad del suelo, específicamente la disponibilidad de fósforo, así como la relación entre el carbono orgánico y el nitrógeno total, a pesar de que se incrementan sus cantidades. Fu *et al.* (2021) plantean que la temperatura y la humedad en el suelo influyen en las estructuras de las comunidades microbianas edáficas y en el rendimiento de *M. sativa*, en el agotamiento de los nutrientes y en la materia orgánica del suelo.

Los contenidos de nutrientes para el cultivo de *M. sativa*, sobre todo de sodio (Na), nitrógeno (N) y potasio (K) son importantes para el rebrote y el desarrollo de los nódulos radiculares de los cultivares (Chen *et al.*, 2020; Elgharably y Benes, 2021).

Esta legumbre forrajera presenta un contenido alto de proteína (17,4 a 20,1 %) y de ceniza (10,4 a 12,3 %), según refieren Srisaikhram y Rupitak (2021). Estos valores de proteína, carbohidratos y fibra se pueden afectar por diferentes condiciones ambientales (Almuhayawi *et al.*, 2021). Por ello, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el rendimiento, la tasa de crecimiento, la altura de la planta y los contenidos de proteína bruta (PB), ceniza y fibra detergente neutro (FDN) en seis genotipos de *M. sativa* y en dos pisos altitudinales (PA) de los Andes del norte del Perú.

Materiales y Métodos

Ubicación del estudio. El experimento se realizó en la provincia de Santa Cruz-Cajamarca, Perú

(latitud 06°48'00" "S", longitud 78°48'00" "W"), desde febrero de 2018 a marzo de 2019, en dos pisos altitudinales (PA). El primero (PA I), con rangos de 2 300 a 2 800 msnm, y el segundo (PA II), ubicado entre 2 801 y 3 300 msnm.

Características del clima. La temperatura del PA I fue de 16 °C y la precipitación anual de 878 mm. En cuanto al PA II, la temperatura promedio fue de 11,8 °C y la precipitación de 795 mm durante los meses de evaluación.

Diseño experimental y tratamientos. Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, con tres repeticiones para evaluar los genotipos. La superficie total empleada en la investigación fue de 108 m². Cada unidad experimental tuvo un área de 6 m² (3 x 2 m). Los seis genotipos de *M. sativa* se distribuyeron al azar en 18 subparcelas en cada PA. Los tratamientos de este experimento fueron las seis variedades de *M. sativa*, provenientes de Nueva Zelanda.

Siembra del experimento. Para la siembra del experimento se determinaron las características de los suelos. Los valores de pH⁺ fueron extremadamente ácidos (4,2-4,3), con un contenido de materia orgánica de medio a alto. Para el caso del fósforo, se encontraron valores bajos (P = 5,2-10,4 ppm) y alto contenido de potasio (K = 507-738 ppm). En estas condiciones, se aplicaron 2,5 t de cal dolomita/ha, con la finalidad de neutralizar la acidez del suelo para la instalación de los cultivares de *M. sativa*. Esta práctica se realizó un mes antes de la instalación, al voleo. Previa a la siembra, se fertilizó con superfosfato triple y cloruro de potasio, para lograr la proporción de 0-350 – 80 kg/ha de N – P₂O₅ – K₂O, respectivamente. El riego por aspersión se aplicó en función de las necesidades de la planta, y de acuerdo con la disponibilidad, cada 15 días aproximadamente, teniendo en cuenta que fuera el mismo día en ambos PA.

La siembra se realizó en marzo de 2018, de forma manual, al voleo. Después de 55 días, se hizo el corte de establecimiento para controlar las plantas arvenses y favorecer el macollamiento del cultivo. Posteriormente, tuvieron lugar los cortes de aprovechamiento o de cosecha, en función de la aparición del rebrote, cuando se encontraba en estado fenológico de inicio de la floración, para aprovechar mejor la disponibilidad de forraje y la calidad nutricional. Las labores de deshierbe se realizaron en cada corte, con la finalidad de evitar la competencia por los nutrientes entre *M. sativa* y las arvenses.

Muestras. Se recolectaron 18 muestras de pasitos por cada PA. Las mediciones de la altura de la

planta se realizaron antes de cada corte, y fueron determinantes para el momento de la cosecha, así como el control del estado fenológico en el que se encontraban los cultivares. En el PA I, se realizaron seis cortes durante todo el período de evaluación. En cambio, en el PA II solamente se lograron tres. En cada muestreo por parcela, se tomaron 400 g de *M. sativa* y se utilizó una balanza de precisión (H.W. KESSELL, S.A., Alemania) en el campo. Las muestras se enviaron al laboratorio para su análisis respectivo.

Composición química. Se evaluó la composición química de las seis variedades: análisis de PB, de acuerdo con AOAC 984.13 (AOAC, 2012), la grasa total o extracto etéreo por AOAC 920.39 (AOAC, 1990) y la ceniza, según AOAC 942.05 (AOAC, 2000) (Thiex *et al.*, 2012). Además, se analizó la FDN por el método de Van Söest (1991) en el laboratorio de suelos, aguas y forrajes de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca-Cajamarca.

Altura de la planta. Se realizaron evaluaciones de la altura, desde el nivel del suelo (2 cm) hasta la altura máxima del cultivar en el cuadrante en cada unidad experimental. Se usó una regla metálica de 70 cm. Se tomaron tres mediciones de altura en cada cuadrante, y se utilizó el promedio para la comparación estadística.

Rendimiento productivo. Se determinó con el corte de *M. sativa* en los cuadrantes de 30 x 30 cm (0,09 m²). Las muestras de forraje se colocaron en bolsas plásticas y se identificaron con un lapicero de tinta indeleble por cada cultivar. Las muestras (400 g) se colocaron en cajas refrigerantes y se transportaron al laboratorio para determinar MS y nutrientes, según el análisis de Weende y Van Söest.

Tasa de crecimiento: La tasa de crecimiento se calculó con relación a la biomasa obtenida durante el período de evaluación, de acuerdo con la fórmula:

$$\text{Tasa de crecimiento (kg de MS/ha/día)} = \frac{\text{Biomasa total (kg de M/ha/año)}}{\text{Número de días evaluados}}$$

Se registró así la cantidad de MS/ha en un día, aproximadamente.

Análisis estadístico. Se realizó la validación del cumplimiento de los supuestos de homogeneidad de varianza mediante la prueba de *Kolmogórov-Smirnov* y la normalidad de los datos (*Levene*). Se comparó la composición química entre variedades. Sin embargo, los indicadores productivos de rendimiento de forraje verde (FV) y MS (biomasa), tasa de crecimiento y altura de la planta en los seis genotipos y su interacción, se realizó mediante un análisis de varianza. Se aplicó el análisis de los efectos

principales aditivos y los modelos de interacción multiplicativa (AMMI), propuestos por Hongyu *et al.* (2014). Se usó la plataforma RStudio (Versión 1.4.1717) de R Project (R Core Team, 2020). Además, se realizaron pruebas de correlación de Pearson para ver la relación entre la altura de la planta y el rendimiento de biomasa. Para la comparación de medias se utilizó la prueba de comparación de rangos múltiples de Duncan ($p < 0,05$).

Resultados y Discusión

Comportamiento productivo. El PA I ($p < 0,05$) presentó mejor rendimiento (FV y MS), altura de la planta y tasa de crecimiento que el PA II (tabla 1). Ello puede que se deba al número diferente de cortes que se obtuvieron en cada PA. No se encontraron diferencias significativas para la interacción entre el PA y las variedades de *M. sativa* en los indicadores rendimiento, altura de la planta y tasa de crecimiento. Los informes de FV por corte fueron inferiores a los registrados por Castro-Bedriñana *et al.* (2019), quienes encontraron cifras de 18 700 a 33 400 kg de FV/ha/corte con la variedad Aragón, a una altitud de 3 250 msnm. Estas diferencias se pueden deber a la densidad y la época de siembra, el abonamiento y la altitud estudiada.

La variedad W 450 mostró mejor rendimiento de MS en un año, con 10 483,9 con respecto a la variedad Stamino 5 (6 215 kg/ha/año). Los valores de W 450 fueron similares a los obtenidos por Álvarez-Vázquez *et al.* (2018), quienes señalan que en la producción de biomasa influyen las condiciones ambientales, especialmente la época del año. Sin embargo, se lograron resultados inferiores a los de Rojas-García *et al.* (2016), quienes señalaron 20 275 kg de MS/ha/año, y a los de Sánchez-Gutiérrez *et al.* (2017), que alcanzaron cifras de 4 507,8 kg de MS/ha/corte.

En cuanto al rendimiento de FV (kg/ha/corte), los mejores cultivares ($p < 0,05$) fueron W 450, W 350, SW 10, SW 8210 y Hortus 401. El rendimiento de MS por corte en cada PA no mostró diferencias significativas. Se obtuvo en cada uno la misma cantidad de biomasa por corte. Sin embargo, el rendimiento por año fue mayor en el PA I, lo que puede que se deba al mayor número de cortes.

La tasa de crecimiento en el PA I fue mayor (28,7 kg de MS/ha/día) que en el PA II (16,76 kg de MS/ha/día), debido probablemente a las mejores condiciones climáticas (Rebora *et al.*, 2015; Rivas-Jacobo *et al.*, 2020). La variedad W 450 alcanzó el mayor rendimiento (28,7 kg de MS/ha/día en

Tabla 1. Valores promedio del rendimiento de forraje verde, materia seca, altura de la planta y tasa de crecimiento.

Piso altitudinal	Forraje verde, kg		Materia seca, kg		Altura de la planta, cm	Tasa de crecimiento, kg de MS/ha/día
	Año	Corte	Año	Corte		
PA I	61 450,6 ^a	10 241,8 ^a	10 498 ^a	1 739,9	31,5	28,8 ^a
PA II	24 833,3 ^b	8 277,8 ^b	6 116,3 ^b	2 038,8	28,3	16,8 ^b
Variedad						
W 450	56 963 ^a	12 126,5 ^a	10 483,9 ^a	2 402,3 ^a	31,4 ^a	28,7 ^a
SW 10	44 056 ^{ab}	9 200,6 ^{ab}	8 588,2 ^{abc}	1 891,9 ^{abc}	35,5 ^a	23,5 ^{abc}
SW 8210	42 148 ^{ab}	8 753,1 ^{ab}	7 765,6 ^{abc}	1 713,1 ^{bc}	33,4 ^a	21,3 ^{abc}
W 350	48 815 ^{ab}	10 327,2 ^{ab}	9 627,7 ^{ab}	2 177,9 ^{ab}	30,8 ^{ab}	26,4 ^{ab}
Stamino 5	30 814 ^b	6 543,2 ^b	6 215,4 ^c	1 409,7 ^b	26,0 ^{bc}	17,0 ^c
Hortus 401	37 000 ^b	8 608,0 ^{ab}	7 161,4 ^{bc}	1 770,2 ^{abc}	22,4 ^c	19,6 ^{bc}
EE ±	4 250,4	590	624,38	113,68	1,15	1,71
Valor - P	0,037	0,037	0,031	0,034	<0,001	0.043

Letras diferentes en cada columna muestran diferencias significativas (Duncan test, $p < 0,05$).

PA I: rangos de 2 300 a 2 800 msnm, PA II: rangos entre 2 801 y 3 300 msnm

promedio) y fue estadísticamente similar a SW 10, SW 8210 y W 350. Para la siembra de estos genotipos, se deben considerar condiciones similares a las de este estudio.

La altura de la planta fue mayor en el PA I, lo que confirma que entre los 2 300 y 2 800 msnm, las condiciones climáticas son más favorables para el crecimiento de *M. sativa*. Al respecto, se determinó que la altura de la planta tuvo una relación moderada y positiva con la tasa de crecimiento y la producción de forraje verde por corte ($r = 0,68$). Esto es importante para establecer la acumulación de biomasa aérea y ajustar el rendimiento.

Para la altura de la planta, los valores fueron inferiores a los informados por Rojas-García *et al.* (2016), quienes en un estudio registraron cifras de 42,0 a 53,0 cm. Estos autores compararon cinco variedades diferentes a las evaluadas en este trabajo. También fueron inferiores a los valores señalados por Oñate-Vitteri y Flores-Mariazza (2019), que obtuvieron de 50,2 a 78,0 cm, en una investigación desarrollada a 2 754 msnm.

Efecto de la variabilidad entre el genotipo y el ambiente. Se determinó la variabilidad para la producción de FV, MS, tasa de crecimiento y altura de la planta (tabla 2). En la variabilidad para la producción de FV anual, 76 % correspondió al medio ambiente o PA, 15 % a las variedades (genotipo) y 9 % a la interacción entre las variedades con los PA. Esto resultó determinante para explicar que las variedades de *M. sativa* lograron diferentes

resultados para el número de cortes. En el PA I se obtuvo mayor número de cosechas, lo que demostró la superioridad del PA I (2 300-2 800 msnm).

La altura de la planta respondió mejor al genotipo sembrado en las parcelas. Esto puede manifestar que las variedades expresan sus características particulares de tamaño y altura de aprovechamiento. De igual forma, la tasa de crecimiento se afectó por el medio ambiente. Esto corrobora que los rendimientos de biomasa acumulada diariamente en las seis variedades de *M. sativa* presentaron mejor respuesta entre 2 300-2 800 msnm.

Composición química. Los contenidos de PB entre los cultivares fueron similares, y estuvieron entre 16,7 y 21,2 %. Estos resultados son muy aceptables para la alimentación del ganado lechero en la zona altoandina. No obstante, fueron inferiores a los reportes de Capacho-Mogollón *et al.* (2018), Contreras *et al.* (2019) e Ison *et al.* (2020), y se asemejan a lo obtenido por Alonzo Griffith y Paniagua Alcaraz (2010), quienes encontraron valores de 20,0 % con diferentes dosis de calcáreo en los suelos. La concentración más baja de ceniza correspondió al cultivar SW 10. La FDN varió de 23,1 a 32,5 %. El mayor contenido ($p < 0,001$) correspondió a la variedad SW 10. Por el contrario, las variedades que aportaron la menor concentración de FDN fueron W 450, Hortus 401 y W 350.

Se determinó que no hubo diferencias estadísticas para la composición química entre los dos PA. La variedad W 450 fue la que tuvo mejor respuesta productiva, debido a que logró el menor valor de

Tabla 2. Variabilidad para el rendimiento de forraje verde, materia seca, altura de la planta y tasa de crecimiento, %.

Fuente de variación	Forraje verde		Materia seca		Altura de la planta	Tasa de crecimiento
	Año	Corte	Año	Corte		
Medio ambiente (PA)	75,7	20,6	61,4	12,8	10,2	61,4
Genotipo (variedades)	15,4	56,0	26,7	63,4	82,3	26,7
Interacción (genotipo x ambiente)	8,91	23,4	11,9	23,9	7,4	11,9

Tabla 3. Composición química de seis genotipos de *M. sativa* en los Andes del norte del Perú, %.

Genotipo	Proteína bruta	Ceniza	Fibra detergente neutro
SW 10	16,7	9,3 ^b	32,5 ^a
SW 8210	21,2	11,4 ^a	26,8 ^b
W 450	19,7	10,6 ^{ab}	23,1 ^d
W 350	18,8	11,4 ^a	25,2 ^{bcd}
Stamino 5	19,6	11,6 ^a	25,4 ^{bc}
Hortus 401	20,8	12,0 ^a	24,2 ^{cd}
EE ±	0,711	0,278	0,772
Valor - P	0,760	0,025	<0,001

Letras diferentes en cada columna muestran diferencias significativas (Duncan $p < 0,05$).

FDN. Ello muestra que es un genotipo que podría tener mejores indicadores de digestibilidad y aporte nutricional para los animales, y el que mejor se adaptaría a las condiciones climáticas que corresponden al presente estudio.

Conclusiones

Todas las variedades mostraron alto potencial para la producción de forraje en las condiciones de ambos pisos altitudinales. Asimismo, las condiciones ambientales fueron determinantes en el desempeño de los diferentes genotipos.

El mayor rendimiento de forraje y tasa de crecimiento correspondió al PA I. Los cultivares W 450, SW 10, SW 8210 y W 350 obtuvieron el mejor rendimiento en los dos PA. Los contenidos de proteína variaron entre 16,7 y 21,2 %, los de ceniza y fibra neutra detergente de 9,3 a 12,0 y de 23,1 a 32,5 %, respectivamente.

Agradecimientos

Se agradece al Programa Nacional de Innovación Agraria-PNIA, a la Asociación de Productores Agropecuarios Pucará, El Trébol de Santa Cruz, Cajamarca y al Proyecto de Apoyo de Nueva Zelanda al sector lechero peruano, por el apoyo logístico en el desarrollo de esta investigación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses entre ellos.

Contribución de los autores

- Cubas-Leiva, Magali Beatriz. Concepción del trabajo de investigación, desarrollo de la fase experimental, preparación de muestras para el laboratorio, secado y análisis de laboratorio.
- Vallejos-Fernández, Luis Asunción. Concepción del trabajo de investigación, desarrollo de la fase experimental y gestión de fondos para el análisis de muestras.
- Florián-Lescano, Roy Roger. Concepción del trabajo de investigación y desarrollo de la fase experimental.
- Carrasco-Chilón, William Leoncio. Redacción del manuscrito y concepción del trabajo de investigación.
- Alvarez-García, Wuesley Yusmein. Contribuyó a la escritura del proyecto y revisión de la base de datos; además de realizar el análisis estadístico, la tabulación de datos y la búsqueda de la literatura y revisión final del manuscrito.

Referencias bibliográficas

- Almuhayawi, M. S.; Hassan, A. H. A.; Al Jaouni, S. K.; Alkhalifah, D. H. M.; Hozzein, W. N.; Selim, S. *et al.* Influence of elevated CO₂ on nutritive value and health-promoting prospective of three genotypes of Alfalfa sprouts (*Medicago sativa*). *Food Chem.* 340:128147, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128147>.
- Alonzo-Griffith, L. A. & Paniagua-Alcaraz, P. L. Efectos de dosis de calcáreo sobre el comportamiento

- productivo y calidad de la alfalfa. *Investig. Agrar.* 12 (1):35-39. <https://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/17>, 2010.
- Álvarez-Vázquez, P.; Hernández-Garay, A.; Mendoza-Pedroza, S. I.; Rojas-García, A. R.; Wilson-García, Claudia Y. & Alejos-de la Fuente, J. I. Producción de diez variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) a cuatro años de establecidas. *Agrociencia.* 52 (6):841-851. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000600841&lng=en&tln-g=es, 2018.
- AOAC. *Ash of animal feed. Official methods of analysis.* 17th ed. Gaithersburg, USA: Association of Official Analytical Chemists, 2000.
- AOAC. *Fat (crude) or ether extract in animal feed. Official methods of análisis.* 15th ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists, 1990.
- AOAC. *Nitrogen in meat. Kjeldahl method. Official methods of analysis.* 19th ed. Virginia, USA: AOAC International, 2012.
- Capacho-Mogollón, A. E.; Flórez-Delgado, D. F. & Hoyos-Patiño, J. F. Biomasa y calidad nutricional de cuatro variedades de alfalfa para introducir en Pamplona, Colombia. *Cien. Agri.* 15 (1):61-67, 2018. DOI: <http://doi.org/10.19053/01228420.v15.n1.2018.7757>.
- Castro-Bedriñana, J.; Chirinos-Peinado, Doris & Lara-Schwartz, Percy. Evaluación del compost de guano de pollo en el rendimiento y calidad nutricional de la alfalfa en la sierra central del Perú. *Rev. investig. vet. Perú.* 30 (4):1562-1568, 2019. DOI: <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i4.15756>.
- Chen, S.; Li, Xiang; Liu, Xin; Wang, N.; An, Qi; Ye, Xi M. *et al.* Investigation of chemical composition, antioxidant activity, and the effects of alfalfa flavonoids on growth performance. *Oxid. Med. Cell. Longev.* 2020:8569237, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8569237>.
- Contreras, J. L.; Cordero, A. G.; Curasma, J.; Thimothée, J. A. & Del-Solar, J. Environmental influence on the nutritional value of alfalfa (*Medicago sativa* L.) in peruvian Andes. *Compend. cienc. vet.* 9 (1):7-14, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18004/compend.cienc.vet.2019.09.01.07-14>.
- Elgharably, A. & Benes, Sharon. Alfalfa biomass yield and nitrogen fixation in response to applied mineral nitrogen under saline soil conditions. *J. Soil Sci. Plant.* 21:744–755 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00397-6>.
- Fu, B.; Li, Z.; Gao, Xueqin; Wu, L.; Lan, Jian & Peng, W. Effects of subsurface drip irrigation on alfalfa (*Medicago sativa* L.) growth and soil microbial community structures in arid and semi-arid areas of northern China. *Appl. Soil Ecol.* 159:103859, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2020.103859>.
- Gu, Y.-J.; Han, C.-L.; Fan, J.-W.; Shi, X.-P.; Kong, M.; Shi, X.-Y. *et al.* Alfalfa forage yield, soil water and P availability in response to plastic film mulch and P fertilization in a semiarid environment. *Field Crops Res.* 215:94-103, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.010>.
- Hongyu, K.; Garcia-Peña, Marisol; Araujo, L. B. de & Dias, C. T. dos S. Statistical analysis of yield trials by AMMI análisis of genotype×environment interaction. *Biometrical Letters.* 51 (2):89-102, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2478/bile-2014-0007>.
- Ison, K. A. D.; Benvenutti, M. A.; Mayer, D. G.; Quigley, S. & Barber, D. G. Maximising lucerne (*Medicago sativa*) pasture intake of dairy cows: 2—the effect of post-grazing pasture height and mixed ration level. *Animals, Basel.* 10 (5):904, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10050904>.
- Oñate-Viteri, W. & Flores-Mariazza, E. Comportamiento agronómico de tres variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con diferentes dosis de fertilización fosfatada. *Pastos y Forrajes.* 42 (2):125-132. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942019000200125&lng=es&tln-g=es, 2019.
- R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing.* Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/index.html>, 2020.
- Rebora, Cecilia; Barros, A.; Ibaguren, Leandra; Bertona, Alejandra; Antonini, C. & Arenas, F. Efecto del grado de reposo invernal de alfalfa (*Medicago sativa* L.) sobre el rendimiento de heno en el oasis norte de Mendoza. *Rev. FCA UNCUIYO.* 47 (2):43-51. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/RFCA/article/view/3302>, 2015.
- Rivas-Jacobo, M. A.; Herrera-Haro, J. G.; Hernández-Garay, A.; Vaquera-Huerta, H.; Alejos-de-la-Fuente, J. I. & Cadena-Villegas, S. Yield of five varieties of lucerne during four years of evaluation. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 11 (n. spe24):141-152, 2020. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i24.2365>.
- Rojas-García, A. R.; Hernández-Garay, A.; Cansino, S. J.; Maldonado-Peralta, María de los Á.; Mendoza-Pedroza, S. I.; Álvarez-Vázquez, P. *et al.* Comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7 (8):1855-1866. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000801855&lng=es&tln-g=es, 2016.
- Sánchez-Gutiérrez, R. A.; Servin-Palestina, M.; Gutiérrez-Bañuelos, H. & Serna-Pérez, A. Eficiencia en el uso del agua de variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con sistema de riego subsuperficial. *Rev. mex. de cienc. pecuarias.* 8 (4):429-435, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i4.4255>.

- Srisaikham, Supreena & Rupitak, Quanjai. A preliminary study on growth, yield and nutritive value of four varieties of alfalfa and the utilization of alfalfa dehydrated pellets in a total mixed ratio in meat goat diet. *CMUJ. Nat. Sci.* 20 (1):e2021003, 2021. DOI: <https://doi.org/10.12982/CMUJNS.2021.003>.
- Thiex, Nancy J.; Novotny, L. & Crawford, A. Determination of ash in animal feed: AOAC official method 942.05 revisited. *J. AOAC Int.* 95 (5):1392-1397, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5740/jaoac-int.12-129>.
- Van Soest, P. J.; Robertson, J. B. & Lewis, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74 (10):3583-3597, 1991. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Wang, Linlin; Xie, J.; Luo, Zhuzhu; Niu, Y.; Coulter, J. A.; Zhang, R. *et al.* Forage yield, water use efficiency, and soil fertility response to alfalfa growing age in the semiarid Loess Plateau of China. *Agric. Water Manag.* 243:106415, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106415>.