

RENDIMIENTO Y VALOR NUTRITIVO DE LEGUMINOSAS HERBÁCEAS NATIVAS DE MÉXICO CON POTENCIAL FORRAJERO EN EL TRÓPICO SECO

YIELD AND NUTRITIONAL VALUE OF HERBACEOUS LEGUMES NATIVE TO MEXICO WITH FORAGE POTENTIAL IN THE DRY TROPICS

Federico Francisco-Martínez¹, Juan de Dios Guerrero-Rodríguez^{1*}, Silvia López-Ortiz², Ernesto Aceves-Ruiz¹, José I. Olvera-Hernández¹ y José A. Méndez-Espinosa¹

¹Colegio de Postgraduados (CP), Campus Puebla, Santiago Momoxpan, San Pedro Cholula, Puebla, México. ²CP, Campus Veracruz, Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México.

*Autor para correspondencia (rjuan@colpos.mx)

RESUMEN

En el trópico seco mexicano existen diversas especies herbáceas nativas utilizadas para la alimentación de rumiantes, de las que poco se conoce sobre su producción de forraje y calidad nutricional, que pueden integrarse a sistemas de producción como especies cultivadas; entre estas especies se encuentran *Crotalaria incana* L., *Cassia obtusifolia* L. (McVaugh, 1987) y *Senna uniflora* (Mill.) H. S. Irwin & Barneby (leguminosas herbáceas anuales), las cuales se evaluaron productiva y nutricionalmente en dos experimentos de campo durante 2016 y 2017 en un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. Los cortes de forraje se realizaron cada 10 días en 2016 y cada 15 días en 2017. Se evaluó la producción de materia seca (MS) de hoja y tallo, altura de planta, fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), lignina, digestibilidad *in vitro* (DIVMS) y proteína cruda (PC). La máxima acumulación de MS en el ciclo 2016 ocurrió 50 días después de la emergencia de plántulas (dde) para *C. obtusifolia* (17,241 kg ha⁻¹) y 70 dde para *C. incana* y *S. uniflora* (17,604 y 13,981 kg ha⁻¹, respectivamente). En 2017, las máximas acumulaciones ocurrieron a los 70 dde para *S. uniflora* (8292 kg ha⁻¹), a los 120 días para *C. obtusifolia* (17,027 kg ha⁻¹) y a los 135 días para *C. incana* (9680 kg ha⁻¹), respectivamente. La DIVMS, tanto en 2016 como 2017, fue diferente entre especies ($P \leq 0.0001$); en *C. obtusifolia* fue 91.9 y 94.4 %, respectivamente, mientras *C. incana* y *S. uniflora* tuvieron 88.7 y 86.5 % en 2016, y 90.4 y 87.3 % en 2017. Las especies difirieron en PC ($P \leq 0.0001$), *C. incana* tuvo 27.4 y 21.9 % en dichos ciclos, *C. obtusifolia* y *S. uniflora* tuvieron 22.1 y 21.8 % en 2016, y 11.2 y 13.4 % en 2017, respectivamente. En conclusión, *C. obtusifolia* y *C. incana* mostraron el mejor comportamiento productivo y nutritivo, aunque las tres especies pueden contribuir en cantidad y calidad a la alimentación de rumiantes.

Palabras clave: *Cassia obtusifolia*, *Crotalaria incana*, *Senna uniflora*, digestibilidad, producción de forraje.

SUMMARY

In the Mexican dry tropics there are several native herbaceous species used for feeding ruminants, of which little is known about their forage production and nutritional quality, which can be integrated into production systems as cultivated species; among these species are *Crotalaria incana* L., *Cassia obtusifolia* L. (McVaugh, 1987) and *Senna uniflora* (Mill.) H. S. Irwin & Barneby (annual herbaceous legumes) which were evaluated productively and nutritionally in two field experiments during 2016 and 2017 in a completely

randomized experimental design with four replications. Forage cuts were carried out every 10 days in 2016 and every 15 days in 2017. Dry matter production (DM) of leaf and stem, plant height, neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber (ADF), lignin, *in vitro* digestibility (IVDMS) and crude protein (CP) were measured. The maximum accumulation of DM in the 2016 cycle occurred at 50 days after seedling emergence (dase) for *C. obtusifolia* (17,241 kg ha⁻¹) and 70 dase for *C. incana* and *S. uniflora* (17,604 and 13,981 kg ha⁻¹, respectively). In 2017, maximum accumulations occurred at 70 dase for *S. uniflora* (8292 kg ha⁻¹), 120 days for *C. obtusifolia* (17,027 kg ha⁻¹) and 135 days for *C. incana* (9680 kg ha⁻¹), respectively. The IVDMS was different ($P \leq 0.0001$) in both 2016 and 2017; in *C. obtusifolia* it was 91.9 and 94.4 %, respectively, while *C. incana* and *S. uniflora* had 88.7 and 86.5 % in 2016 and 90.4 and 87.3 % in 2017. The species were different in CP ($P \leq 0.0001$), *C. incana* had 27.4 and 21.9 % in those cycles, *C. obtusifolia* and *S. uniflora* had 22.1 and 21.8 % in 2016 and 11.2 and 13.4 % in 2017, respectively. In conclusion, *C. obtusifolia* and *C. incana* showed the best productive and nutritional performance, although, the three species can contribute in quantity and quality to ruminant feeding.

Index words: *Cassia obtusifolia*, *Crotalaria incana*, *Senna uniflora*, digestibility, forage production.

INTRODUCCIÓN

El sistema de alimentación de rumiantes en agostaderos del trópico seco mexicano se basa en el aprovechamiento del forraje de los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo (Alatorre-Hernández *et al.*, 2018; Hernández *et al.*, 2001), donde predominan principalmente leguminosas nativas; no obstante, en los últimos dos estratos, la disponibilidad de materia seca (MS) en las plantas forrajeras se ve limitada debido a la mayor altura de las plantas (Ouédraogo-Koné *et al.*, 2006) y a la presencia de espinas en una gran proporción de las especies presentes (Pennington *et al.*, 2009), como fue mencionado por Guerrero-Rodríguez *et al.* (2021), donde pueden abundar especies arbóreo-arbustivas como *Acacia cymbispina*, *Mimosa polyantha*, *A. farnesiana* y *A. millibekii*.

Durante la estación lluviosa hay un aumento considerable en la producción de biomasa del estrato herbáceo, la cual difiere de acuerdo con las especies que lo componen en un sitio determinado (Ngwa *et al.*, 2000); de este modo, dicho estrato se vuelve importante para la alimentación de rumiantes, los cuales llegan a dedicar alrededor del 80 % de su tiempo de pastoreo (Feldt *et al.*, 2017; Ouédraogo-Koné *et al.*, 2006). Dentro de esta diversidad florística se encuentran las especies forrajeras nativas silvestres *Crotalaria incana* L., *Cassia obtusifolia* L. (McVaugh, 1987) y *Senna lindehimeriana* (Mill.) H. S. Irwin & Barneby, presentes en la Mixteca Poblana (CONABIO, 2009), y que podrían formar parte de los sistemas de alimentación de rumiantes en la región.

Pocos estudios se han realizado en relación con la acumulación de materia seca y calidad nutritiva del forraje de especies leguminosas nativas pertenecientes al estrato herbáceo. En las especies enredaderas herbáceas anuales *Macroptilium atropurpureum*, *M. lathyroides* y *Phaseolus acutifolius*, Alatorre-Hernández *et al.* (2018) reportaron rendimientos de forraje de 3920, 4655 y 2170 kg MS ha⁻¹, contenidos de PC de 15.8, 15.2 y 11.7 % y digestibilidad de 56.7, 59.6 y 49.4 %, respectivamente, los cuales son modestos en producción y digestibilidad. En el análisis bromatológico de *C. incana* se reportan valores de PC de 23.8 %, 2.9 % de extracto etéreo, 27.1 % de fibra cruda, 36.4 % de extracto libre de nitrógeno y 9.9 % de cenizas (Dougall y Bogdan, 1966), pero se carece de datos productivos de forraje y de su digestibilidad. La información nutricional y productiva de *C. obtusifolia* y *S. lindehimeriana* es nula y se restringe básicamente a su descripción botánica (Carreras *et al.*, 2001; Planchuelo y Carreras 2011). Se hipotetizó que estas últimas tres especies herbáceas presentan características productivas y nutricionales aceptables que las convierten en una opción de forraje para los sistemas de producción; por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el comportamiento productivo a frecuencias periódicas de *C. incana*, *C. obtusifolia* y *S. lindehimeriana* en la Mixteca Poblana, México, para su posterior uso como recurso forrajero local y propiciar la diversificación de la dieta y su enriquecimiento con N proveniente de leguminosas para mejorar la condición corporal de los rumiantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El estudio se realizó en el municipio de Tecmatlán, Puebla, en las coordenadas 18° 07' 23.59" N 98° 18' 31.65" O, de mayo a noviembre en 2016 y de mayo a septiembre

en 2017 en condiciones de temporal. Las propiedades físicas y químicas del suelo en dos sitios de estudio las determinó el Laboratorio de Análisis de Suelo de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y los datos se muestran en el Cuadro 1. En general, el suelo tuvo pH alcalino (> 7.7) y contenido de materia orgánica muy bajo (< 3.1 % en ambos sitios). La concentración de P tuvo un nivel medio y el K se encontró en un nivel alto para el sitio en 2016 y medio en el sitio de 2017. La concentración de Ca y Mg se encontró en un nivel alto para ambos sitios de estudio.

La precipitación y temperaturas en ambos ciclos de estudio fueron contrastantes (Figura 1). En 2016, la precipitación acumulada fue de 410.5 mm, con comienzo de lluvias en julio y las temperaturas máxima y mínima fueron de 38.6 y 16.4 °C, respectivamente. En el ciclo 2017, la precipitación acumulada fue de 679 mm, comenzando a finales de mayo, y las temperaturas máximas y mínimas fueron de 36 y 23 °C, respectivamente, además de presentarse sequía intraestival de cuatro semanas.

Material vegetal y siembra

En el ciclo 2016 se utilizó semilla de *C. incana*, *C. obtusifolia* y *S. uniflora* obtenida de un lote de aumento en temporal en el año 2015 en la comunidad de Santo Domingo Ayotlicha, municipio de Tlapanalá, Puebla, que se había previsto para abastecer la semilla. Dado que la producción obtenida no fue suficiente, se complementó con una colecta a inicios de 2016 en agostaderos, caminos y a orillas del río Mixteco en el municipio de Tecmatlán, Puebla. Ambos municipios de obtención de semilla pertenecen a la región Mixteca. En el ciclo 2017 se utilizó semilla colectada de las parcelas establecidas en el experimento del ciclo 2016. Las semillas con 12 % de humedad permanecieron en un lugar seco y fresco hasta su uso, como fue consignado por Hernández-Guzmán *et al.* (2015).

El suelo se preparó convencionalmente con barbecho y dos pasos de rastra y no se fertilizó. La siembra fue al voleo, actividad que en el ciclo 2016 se realizó el 26 de junio, utilizando 3 g m⁻² por especie. En el ciclo 2017, la siembra de las tres especies se realizó el 25 de mayo usando 5 g m⁻² de semilla de cada especie, cantidad que aumentó con respecto al ciclo anterior en virtud de que en las pruebas preliminares de calidad fisiológica, la germinación fue baja y fue necesario escarificar térmicamente en agua a 70 °C por 3 min y se enjuagó con agua a temperatura ambiente (26 °C). La densidad de población promedio de plantas fue de 40 m⁻² en 2016 y de 70 plantas m⁻² en 2017. La superficie total sembrada fue de 384 m².

Cuadro 1. Resultados del análisis de suelo de los sitios de estudio en los ciclos 2016 y 2017.

Variable	2016	2017
Textura	Arcillosa	Arcillo-limosa
pH	7.73	8.21
Materia Orgánica (%)	3.1	2.3
P (mg kg ⁻¹)	19	17
K (mg kg ⁻¹)	409	165
Ca (mg kg ⁻¹)	2677	2535
Mg (mg kg ⁻¹)	479	424
Na (mg kg ⁻¹)	26	18

Tratamientos

Los tratamientos fueron las tres especies de leguminosas a las que se practicaron cortes con intervalos de 10 días en 2016 y de 15 días en 2017. La emergencia mayor de plántulas en 2016 ocurrió el 21 de julio y posterior a 30 días (20 de agosto) se inició con el primer muestreo y se concluyó 90 días después de la emergencia (dde) (18 de octubre). En 2017 la mayor emergencia de plántulas ocurrió el 6 de junio y el primer muestreo se realizó a los 35 dde (11 de julio); los cortes se prolongaron hasta 155 días. En ese año se modificó el cambio en la frecuencia de corte debido a que la lluvia escaseó y las temperaturas se mantuvieron altas, lo que disminuyó el crecimiento.

Variables medidas

Producción de forraje en base seca

Antes del corte se aleatorizaron los sitios específicos a cortar en cada unidad experimental, tales sitios fueron diferentes en cada muestreo. En un cuadrante de 0.25 m² se cortaron a nivel del suelo las plantas presentes y el material obtenido se colocó en bolsas de papel identificadas (Alatorre-Hernández *et al.*, 2018). Este material se pesó en fresco y posteriormente se secó en una estufa de aire forzado (modelo DOV53A marca Ecoshel, Zapopan, Jalisco, México) a 55 °C por 72 h. El total de la biomasa aérea seca cosechada de cada cuadrante se separó en hoja y tallo con la finalidad de determinar la relación hoja:tallo.

Altura de planta

Esta variable se midió con una cinta métrica en 2016 cada 10 días y en 2017 cada 15 días, la cual se tomó desde la base del suelo hasta el ápice u hoja más alta en 20 plantas seleccionadas al azar.

Fibra insoluble en detergente neutro (FDN), fibra insoluble en detergente ácido (FDA) y lignina

Para cuantificar estas fracciones de la fibra, las hojas secas provenientes de cada muestra en cada especie se pulverizaron en un molino ciclónico (marca Foss Tecator®, Höganäs, Suiza) con malla de 1 mm. La determinación se hizo de manera secuencial, por duplicado, de acuerdo con los protocolos de ANKOM Technology (2006). La cantidad de muestra inicial en FDN fue de 0.5 ± 0.0015 g y para su determinación se utilizó un analizador de fibra (ANKOM 200/220, Macedon, New York, EUA); posteriormente, se cuantificó la FDA en el mismo aparato. La concentración de lignina se determinó con ácido sulfúrico a una concentración de 72 % (ANKOM Technology, 2006).

Digestibilidad *in vitro* de la materia seca

Se determinó por duplicado por el método enzimático pepsina-celulasa en dos etapas, de acuerdo con la metodología propuesta por Clarke *et al.* (1982). Las enzimas utilizadas fueron de Sigma-Aldrich, para lo cual se disolvieron 8.2 g de pepsina (1:10,000 de mucosa de estómago de porcino) en 1.23 L de solución de ácido clorhídrico 0.125 N. La celulasa Onozuka RS de *Trichoderma viride* se disolvió en buffer acetato, 4.1 g de acetato de sodio anhidro y 2.9 mL de ácido acético L⁻¹ de agua destilada. Se utilizaron 0.3 g de MS por muestra y éstas fueron colocadas en bolsas ANKOM F57. La primera etapa fue la digestión de las muestras con pepsina y la segunda etapa fue la digestión de las muestras con celulasa. Cada etapa tuvo una duración de 48 horas en un incubador de digestión orbital (Lumistell, Celaya, Guanajuato, México) a 50 °C y a 80 rpm. La concentración de proteína cruda se cuantificó por el procedimiento micro Kjeldahl (AOAC, 1990).

Análisis estadístico

Los datos se verificaron en términos de homogeneidad de varianza y normalidad; posteriormente, se realizaron análisis de varianza y la prueba de medias por el método de Tukey ($P \leq 0.05$) usando el paquete estadístico SAS versión 9.4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comportamiento productivo

De manera general, en ambos ciclos, las tres especies de leguminosas tuvieron mayor producción de materia seca a mayor edad ($P \leq 0.001$; Cuadros 2 y 3). En el ciclo 2016 se observaron diferencias a 40, 50 y 70 dde, donde la mayor producción de forraje la tuvo *C. obtusifolia* a 70

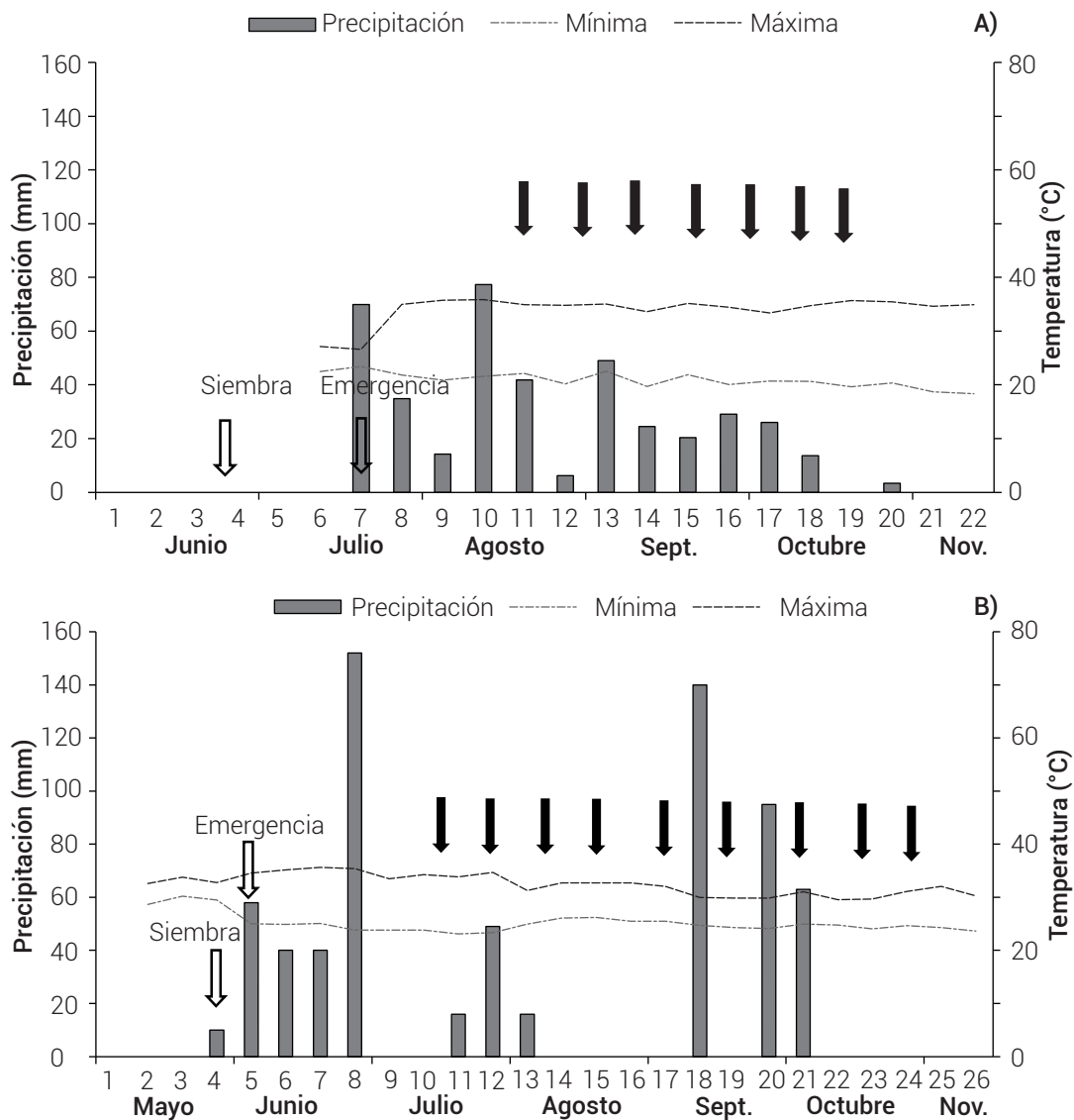


Figura 1. Temperaturas y precipitaciones correspondientes a ambos ciclos de estudio. A) de junio a noviembre de 2016, B) de mayo a noviembre de 2017, en Tecamatlán, Puebla. Las flechas en negro corresponden a las fechas de corte con un periodo de 10 días en A) y de 15 días en B).

dde (17,241 kg MS ha⁻¹) y a partir de ahí su acumulación tendió a disminuir. Por su parte, *C. incana* y *S. uniflora* continuaron acumulando forraje ($P \leq 0.05$), alcanzando su máxima acumulación a 90 dde, (17,605 y 13,981 kg MS ha⁻¹, respectivamente) y a partir de este periodo de tiempo terminaron su ciclo a causa de la nula precipitación.

En el ciclo 2017, la producción de forraje en base seca de *C. obtusifolia* alcanzó su máximo ($P \leq 0.05$) a 140 dde (17,027 kg ha⁻¹); *C. incana* alcanzó su máxima producción de forraje a 155 dde (9680 kg ha⁻¹) y permaneció 15 días más en producción comparado con las otras dos especies. Por su parte, *S. uniflora* tuvo su máxima acumulación

de forraje a 95 dde, y a partir de ese tiempo comenzó a disminuir, diferenciándose al final las tres especies en la magnitud de rendimiento. Gordo y Sanz (2005) en estudios de larga duración (60 años) en varias especies de plantas en la región del Mediterráneo observaron cambios fenológicos dentro y entre especies, relacionados con variables de temperatura, de precipitación y su combinación; estos autores concluyeron que existe gran influencia sobre la fenología por la estación del año y las tendencias climáticas que ocurren en cada momento del año, originando así diferenciación y respondiendo cada especie de manera diferente. Esto se logra notar en las especies aquí estudiadas, ya que tuvieron mayor variación,

Cuadro 2. Variables de producción y calidad de forraje de tres especies nativas de leguminosas herbáceas en la Mixteca Poblana en el ciclo 2016.

Variable	Especie	Muestras en días después de la emergencia						
		30	40	50	60	70	80	90
Materia seca (kg ha ⁻¹)	<i>C. incana</i>	983 a	2394 ab	4270 b	8976 a	8933 b	12336 a	17605 a
	<i>C. obtusifolia</i>	841 a	3329 a	8018 a	9043 a	17241 a	13051 a	13448 a
	<i>S. uniflora</i>	538 a	1440 b	3190 b	7030 a	8479 b	13184 a	13981 a
Hoja (kg ha ⁻¹)	<i>C. incana</i>	606 a	1183 a	1947 b	2819 a	2093 b	2445 b	2323 a
	<i>C. obtusifolia</i>	515 a	1670 a	4194 a	3983 a	6079 a	3719 ab	2561 a
	<i>S. uniflora</i>	364 a	994 a	1989 b	3715 a	3540 ab	4802 a	3591 a
Tallo (kg ha ⁻¹)	<i>C. incana</i>	406 a	1080 ab	1854 b	3760 a	3846 b	5293 a	8196 a
	<i>C. obtusifolia</i>	339 a	1688 a	3859 a	4729 a	8500 a	6988 a	5951 a
	<i>S. uniflora</i>	183 a	555 b	1177 b	2856 a	2889 b	4727 a	4777 a
Altura (cm)	<i>C. incana</i>	43 a	58 a	79 a	91 a	100 a	113 a	112 a
	<i>C. obtusifolia</i>	32 c	44 b	63 b	71 b	73 b	74 c	75 c
	<i>S. uniflora</i>	35 b	46 b	60 c	70 b	76 b	80 b	83 b
PC (g kg ⁻¹)	<i>C. incana</i>	278 a	286 a	302 a	300 a	233 a	264 a	254 a
	<i>C. obtusifolia</i>	233 b	243 b	255 b	240 b	202 b	205 b	168 b
	<i>S. uniflora</i>	207 b	233 b	248 b	222 b	215 ab	205 b	196 b
FDN (g kg ⁻¹)	<i>C. incana</i>	180 ab	229 ab	196 a	197 a	223 a	175 c	224 b
	<i>C. obtusifolia</i>	159 b	206 b	261 a	205 a	215 a	258 b	259 b
	<i>S. uniflora</i>	217 a	270 a	269 a	244 a	230 a	338 a	326 a
FDA (g kg ⁻¹)	<i>C. incana</i>	102 b	129 ab	112 b	125 b	129 b	115 b	138 ab
	<i>C. obtusifolia</i>	92 b	124 b	124 ab	117 b	112 c	118 b	130 b
	<i>S. uniflora</i>	131 a	150 a	141 a	159 a	153 a	150 a	157 a
Lignina (g kg ⁻¹)	<i>C. incana</i>	8 a	9 b	11 b	12 b	18 b	12 a	16 a
	<i>C. obtusifolia</i>	8 a	13 ab	16 a	13 b	17 b	19 a	15 a
	<i>S. uniflora</i>	13 a	16 a	15 ab	20 a	30 a	17 a	21 a
Digestibilidad (g kg ⁻¹)	<i>C. incana</i>	912 b	890 b	899 b	887 b	877 b	882 b	862 b
	<i>C. obtusifolia</i>	935 a	928 a	923 a	916 a	915 a	908 a	907 a
	<i>S. uniflora</i>	892 c	889 b	873 c	853 c	852 c	857 c	837 c

Medias con letras iguales en columna de cada variable no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Cuadro 3. Variables de producción y calidad de forraje de tres especies nativas de leguminosas herbáceas en la Mixteca Poblana en el ciclo 2017.

Variable	Especie	Días al muestreo								
		35	50	65	80	95	110	125	140	155
Materia seca (kg ha ⁻¹)	<i>C. incana</i>	2733 a	2675 a	1221 b	2517 b	3723 b	4597 b	7611 b	9333 b	9680
	<i>C. obtusifolia</i>	3733 a	4975 a	4928 a	5376 a	5029 a	13787 a	14364 a	17027 a	.
	<i>S. uniflora</i>	224 b	664 b	1620 b	2391 a	8292 a	6775 ab	5746 b	3758 c	.
Hoja (kg ha ⁻¹)	<i>C. incana</i>	1893 a	1651 ab	764 a	1780 a	1868 a	2160 a	2260 a	2220 a	1052
	<i>C. obtusifolia</i>	1697 a	2695 a	1472 a	2140 a	2128 a	3164 a	2532 a	1532 a	.
	<i>S. uniflora</i>	112 b	203 b	755 a	1089 a	1963 a	2395 a	1519 a	1104 a	.
Tallo (kg ha ⁻¹)	<i>C. incana</i>	1580 a	1159 a	512 b	1210 b	1669 a	2640 b	3646 b	4285 b	5899
	<i>C. obtusifolia</i>	2106 a	2164 a	3168 a	2848 a	2667 a	8027 a	9253 a	9641 a	.
	<i>S. uniflora</i>	89 b	279 b	735 b	788 b	2991 a	3298 b	2878 b	1600 c	.
Altura (cm)	<i>C. incana</i>	59 a	69 a	71 a	89 a	97 a	104 a	119 a	119 a	119
	<i>C. obtusifolia</i>	48 b	54 b	55 b	71 b	82 b	85 b	91 b	86 b	.
	<i>S. uniflora</i>	49 b	52 b	58 b	67 b	72 c	76 c	81 b	95 b	.
PC (g kg ⁻¹)	<i>C. incana</i>	158 a	222 a	257 a	219 a	192 a	283 a	220 a	220 a	201
	<i>C. obtusifolia</i>	125 a	122 b	159 b	168 ab	107 a	76 b	64 c	78 b	.
	<i>S. uniflora</i>	178 a	130 ab	169 b	127 b	114 a	136 b	108 b	118 b	.
FDN (g kg ⁻¹)	<i>C. incana</i>	211 b	151 b	164 b	195 c	234 c	219 b	278 b	219 b	237
	<i>C. obtusifolia</i>	263 a	240 a	164 b	281 b	318 b	369 a	378 a	285 a	.
	<i>S. uniflora</i>	271 a	245 a	219 a	364 a	401 a	421 a	407 a	281 a	.
FDA (g kg ⁻¹)	<i>C. incana</i>	101 b	92 b	111 b	122 b	106 b	134 a	157 a	132 ab	133
	<i>C. obtusifolia</i>	72 c	63 b	73 c	87 c	81 c	69 b	94 b	97 b	.
	<i>S. uniflora</i>	130 a	140 a	135 a	142 a	158 a	144 a	166 a	151 a	.
Lignina (g kg ⁻¹)	<i>C. incana</i>	21 b	24 b	26 a	21 b	17 b	29 a	28 a	24 b	33
	<i>C. obtusifolia</i>	8 c	8 b	9 b	12 c	11 b	7 b	13 b	13 b	.
	<i>S. uniflora</i>	25 a	25 a	25 a	29 a	44 a	30 a	37 a	42 a	.
Digestibilidad (g kg ⁻¹)	<i>C. incana</i>	929 b	931 b	908 b	900 b	909 b	897 b	876 b	889 a	893
	<i>C. obtusifolia</i>	961 a	967 a	958 a	937 a	942 a	950 a	930 a	910 a	.
	<i>S. uniflora</i>	890 c	882 c	866 c	867 c	873 c	870 c	848 a	888	.

Medias con letras iguales en columna de cada variable no son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

principalmente *C. obtusifolia* y *C. incana* en los tiempos a alcanzar los picos de producción.

En el ciclo de 2017, aunque se tuvo mayor precipitación acumulada y mayor población de plantas, la distribución de la lluvia fue más irregular con respecto al ciclo anterior (Figura 1), ésto afectó negativamente al crecimiento y se presentó mayor competencia entre plantas. Hayano-Kanashiro *et al.* (2012) mencionaron que dentro de las condiciones ambientales que más afectan la producción de cultivos está el estrés hídrico. No obstante, se observó que *C. obtusifolia* mostró alta capacidad de rendimiento en ambas condiciones experimentales, pues su producción de forraje no se vio muy afectada por la sequía; al respecto, Nielsen (2011) mencionó que algunas especies pueden desempeñarse bien en ciertas condiciones de sequía, pero se afectan otros procesos como la reproducción, llenado y producción de semilla. En el presente estudio, las tres especies de leguminosas produjeron forraje en suficiencia con el que se pueden complementar las necesidades de materia seca de rumiantes, los cuales en el ambiente de trópico seco generalmente se encuentran en semi-estabulación en la temporada de escasez de forraje, además de que pueden ser complementarias por presentar diferencias en la acumulación máxima.

Producción de hoja y tallo

La producción de hoja aumentó en función de la edad de las especies, las cuales fueron diferentes en ciertos períodos del crecimiento ($P \leq 0.0001$; Cuadros 2 y 3). En 2016, *C. obtusifolia* tuvo mayor cantidad de hoja ($P \leq 0.05$) a 50 y 70 dde; no obstante, al final del ciclo las tres especies terminaron con cantidades similares ($P > 0.05$), en un intervalo entre 2323 y 3591 kg ha⁻¹. *Cassia obtusifolia* alcanzó su máxima producción (6079 kg MS ha⁻¹) 70 dde; posterior a este tiempo, esta especie tuvo una tendencia a la disminución en producción de hoja. La disminución en la producción de hoja fue diferente para cada especie; *C. incana* alcanzó su pico máximo de producción (2819 kg MS ha⁻¹) a 60 dde; posteriormente, disminuyó, mientras que *S. uniflora* tuvo este comportamiento (4802 kg MS ha⁻¹) a partir de 80 dde.

En el ciclo 2017, el comportamiento en la producción de hoja entre especies fue similar ($P > 0.05$), tanto al inicio como al final del estudio, sólo se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) a 30 dde. En este ciclo, el punto en la disminución de la producción de hoja fue variable para cada especie, *C. obtusifolia* alcanzó su pico máximo (3164 kg MS ha⁻¹) 110 dde, al igual que *S. uniflora* (2395 kg MS ha⁻¹), después de este tiempo ambas especies mostraron una tendencia a disminuir. *Crotalaria incana* mostró disminución en la producción de hoja hasta 140 dde con 2220 kg MS ha⁻¹ y

pudo llegar con producción hasta los 155 dde.

En cuanto a la producción de tallo, la tendencia fue hacia el incremento conforme aumentó la edad de las plantas, presentando diferencias entre ellas ($P \leq 0.0001$; Cuadros 2 y 3). En el ciclo 2016, se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) entre especies a 40, 50 y 70 dde. *Cassia obtusifolia* tuvo los valores más altos (1687, 3858 y 8500 kg MS ha⁻¹, respectivamente) con máxima producción a 70 dde; posteriormente, la tendencia fue hacia la disminución. *Crotalaria incana* y *S. uniflora* mantuvieron un aumento en la producción de tallo hasta los 90 dde; posteriormente, terminaron su ciclo de vida. En el ciclo 2017 se encontraron diferencias entre especies ($P \leq 0.05$) a 35, 65, 80, 110 y 140 dde, donde la especie *C. obtusifolia* tuvo las mayores producciones de tallo.

El contraste que se observó en la producción de hoja y de tallo en ambos ciclos de evaluación se vio influenciado por la cantidad y distribución de la precipitación, mismas que ocasionaron sequía. El estrés hídrico como tal ocasiona cambios en la producción de MS y su repartición en los órganos y tejidos (Bhattacharya, 2021). Estas especies terminan su ciclo productivo al desaparecer las condiciones propicias, principalmente de humedad en el suelo. Se notan también disminuciones en la producción de hoja y mayor producción de tallo en las tres especies, lo cual ha de formar parte de la estrategia de las plantas para persistir hasta completar su ciclo, eliminando parte de la misma hoja para reducir la transpiración y utilización de reservas de los tallos (Seleiman *et al.*, 2021). En ambos ciclos, mientras la producción de hoja disminuía, la producción de tallo se mantenía casi constante, debido principalmente a que los tallos de las especies se desarrollan, se vuelven más gruesos y leñosos y por consiguiente producen altos rendimientos de MS (Macharia *et al.*, 2010). De acuerdo con Zarza *et al.* (2018), la producción de biomasa está relacionada con el ambiente y la calidad del suelo, y disminuye ligeramente al aumentar la densidad de plantas; por tanto, dependiendo de las condiciones hidrotermales, aunado con la calidad del suelo, se presentan cambios en la producción de materia seca de acuerdo con cada especie.

La altura de planta fue diferente entre especies ($P \leq 0.0001$; Cuadros 2 y 3). La especie más alta fue *C. incana*, que alcanzó 113 cm a los 80 dde en 2016 y 119 cm a los 125 dde en 2017, pero posterior a estos tiempos disminuyó. *Cassia obtusifolia* y *S. uniflora* presentaron alturas similares ($P > 0.05$) entre 72 y 94 cm en ambos años. Las diferencias en altura se deben principalmente a la especie. De acuerdo con la descripción botánica, *C. incana* puede medir hasta 140 cm (Planchuelo y Carreras, 2011); en este estudio la altura máxima alcanzada fue de 119 cm. *Cassia*

obtusifolia y *S. uniflora* tienen hábito de crecimiento erecto hasta llegar a una altura determinada; posteriormente, comienzan a desarrollar ramas secundarias similares a la altura del tallo principal. Por las alturas encontradas, el forraje de estas especies es fácilmente accesible para los rumiantes (Dziba *et al.*, 2003; Ouédraogo-Koné *et al.*, 2006).

Calidad nutritiva del forraje de las tres especies leguminosas. Contenido de fibras

De manera general, en ambos experimentos la concentración de FDN tendió a aumentar con la edad de la planta, diferenciándose las especies entre ellas ($P \leq 0.0001$). En el ciclo 2016, las diferencias ($P \leq 0.05$) fueron más notables al inicio (30 y 40 dde) y al final (80 y 90 dde) de la evaluación. La especie con mayor cantidad de FDN fue *S. uniflora*, mientras que *C. incana* tuvo los contenidos de FDN más bajos durante todo el periodo de evaluación, patrón que se mantuvo ($P \leq 0.0001$) en el ciclo 2017.

El contenido de FDA en los dos experimentos también se incrementó ligeramente a medida que las especies maduraban. Las especies fueron diferentes ($P \leq 0.0001$; Cuadros 2 y 3), siendo *S. uniflora* la de concentraciones más altas ($P \leq 0.05$) de FDA en la mayor parte del ciclo 2016, mientras que *C. obtusifolia* y *C. incana* tuvieron concentraciones similares, pero más bajas ($P \leq 0.05$) que *S. uniflora*. En el ciclo 2017, *C. obtusifolia* mostró menores contenidos de FDA ($P \leq 0.05$) con respecto a *C. incana* y *S. uniflora*. A partir de 110 dde *C. incana* y *S. uniflora* mostraron contenidos de FDA similares ($P > 0.05$).

Por su parte, el contenido de lignina en ambos experimentos tuvo una tendencia a incrementar conforme aumentaba la edad de la planta en cada especie. En el ciclo 2016, el contenido de lignina entre especies fue similar ($P > 0.05$) al inicio (30 dde) y al final del ciclo (a partir de 80 dde). Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) a partir del día 20 hasta el día 50. Del día 40 al 50 después de la emergencia *C. incana* mostró menores contenidos de lignina. Del día 50 al 70 *C. incana* y *C. obtusifolia* mostraron contenidos similares ($P > 0.05$). En el ciclo 2017, el contenido de lignina fue diferente ($P \leq 0.0001$) entre especies. *Cassia obtusifolia* mostró, en general, las concentraciones de lignina más bajas ($P \leq 0.05$), mientras que *S. uniflora* fue la que mayores concentraciones tuvo. Se observó un contraste entre ciclos, en 2016 las concentraciones de lignina fueron más bajas que en 2017.

El incremento en las concentraciones de fibra en las leguminosas a medida que aumenta la edad es ampliamente conocido, éste puede ocurrir dentro de la misma especie, entre cortes, por efectos de la estación y mayormente por diferencias genéticas (Vasiljević *et*

al., 2009). El que *S. uniflora* haya tenido un contenido de FDN, FDA y lignina más altos se debe a que esta especie es de hojas más duras al tacto y tiene tallos más leñosos; sin embargo, estas concentraciones (FDN: 338 y 421, FDA: 159 y 166, lignina: 29.5 y 44 g kg⁻¹ MS en cada ciclo evaluado) se encuentran dentro de los valores reportados para otras especies forrajeras herbáceas; por ejemplo, Mupangwa *et al.* (2006) encontraron un intervalo de 328 a 566 g kg⁻¹ MS de FDN; 282 a 472 g kg⁻¹ MS de FDA y 56 a 106 g kg⁻¹ MS de lignina en las especies *Cassia rotundifolia*, *Lablab purpureus* y *Macroptilium atropurpureum*. García-Ferrer *et al.* (2015) encontraron valores de 473.2 a 741.3 g kg⁻¹ MS de FDN en la época seca y de 548.1 a 714.1 g kg⁻¹ MS de FDN en la época lluviosa en las especies *Cassia rotundifolia*, *Lablab purpureus* y *Macroptilium atropurpureum*. En algunas especies arbóreas como *Azelia africana* y *Daniellia oliveri* se encontraron 521 g kg⁻¹ MS de FDN, 325 g kg⁻¹ MS de FDA y 549 g kg⁻¹ MS de FDN y 324 g kg⁻¹ MS de FDA, respectivamente (Olafadehan y Okunade, 2018). Se puede observar que el contenido de fibras no aumentó considerablemente con la edad de la especie, lo cual se debe a que la composición química fue determinada en las hojas y no en la planta completa y a que los contenidos de fibras en las hojas de leguminosas no cambian bruscamente conforme aumenta la madurez de la planta (Mupangwa *et al.*, 2006).

Digestibilidad *in vitro* de materia seca

De manera general, la digestibilidad *in vitro* de las tres especies en ambos ciclos fue alta, ya que se encontró en un intervalo de 890 a 961 g kg⁻¹ MS al inicio de la evaluación y al finalizar su ciclo los valores fueron entre 848 y 910 g kg⁻¹ MS. Dentro de cada ciclo se encontraron diferencias en la DIVMS entre especies ($P \leq 0.0001$; Cuadros 2 y 3). La especie más digestible fue *C. obtusifolia* y la menos digestible en este estudio fue *S. uniflora*. La tendencia observada de la digestibilidad *in vitro* fue que conforme avanzó la madurez de las especies éstas fueron menos digestibles.

La especie con mayor DIVMS en ambos ciclos fue *C. obtusifolia* con valores de 907 y 910 g kg⁻¹ MS al finalizar su ciclo en 2016 y 2017; sin embargo, todas las especies mostraron valores altos de DIVMS; en este estudio, la especie menos digestible fue *S. uniflora* con valores por encima de 837 g kg⁻¹ MS. Estos resultados, comparados con la DIVMS que presentan otras especies forrajeras, fueron superiores. García-Ferrer *et al.* (2015) encontraron de 538.5 a 801.9 g kg⁻¹ MS en época seca y de 517.5 a 775.9 g kg⁻¹ MS en la época lluviosa para las especies *Cassia rotundifolia*, *Lablab purpureus* y *Macroptilium atropurpureum*. La diferencia observada en la DIVMS se debe principalmente a que en este estudio fueron

evaluadas sólo las hojas, que son las estructuras que más consumen los caprinos. La disminución en la DIVMS está relacionada con el aumento de fibras en las paredes celulares de las hojas al aumentar la edad de la planta, como lo constatan los resultados de FDN, FDA y lignina, mismos que son similares a los de otras investigaciones, como lo mencionan García-Ferrer *et al.* (2015) y Thomas *et al.* (2010).

Proteína cruda

En general, el contenido de proteína cruda en ambos años disminuyó con la edad de la planta. Se encontró una pequeña diferencia en el contenido de PC en ambos años; en 2016 el contenido de PC inició en un intervalo de 207 a 278 g kg⁻¹ MS y al final de la evaluación se observaron concentraciones de 168 a 254 g kg⁻¹ MS. En 2017 este intervalo fue menor e inició con 125 a 178 g kg⁻¹ MS de PC y finalizó con 78 a 201 g kg⁻¹ MS de PC (Cuadros 2 y 3). Las especies fueron diferentes en la concentración de PC ($P \leq 0.0001$). En el ciclo 2016, *C. incana* mostró valores más altos (alrededor de 300 g kg⁻¹MS) con respecto a *C. obtusifolia* y *S. uniflora*. En el ciclo 2017, las especies fueron diferentes ($P \leq 0.0001$), siendo nuevamente *C. incana* la de mayor concentración de PC que alcanzó un máximo de 283 g kg⁻¹. A los 35, 50 y 95 dde se obtuvieron valores similares ($P > 0.05$) de PC en las tres especies.

Las especies *S. uniflora* y *C. obtusifolia* se encuentran en un intervalo de 78 a 233 g kg⁻¹ de PC al fin de su ciclo. Estos resultados son similares a la concentración de CP de otras especies forrajeras herbáceas, tal es el caso de *Cassia rotundifolia*, *Lablab purpureus* y *Macroptilium atropurpureum* cuyos contenidos de PC fueron de 173 a 246 g kg⁻¹ MS, 162 a 254 g kg⁻¹ MS y 191 a 282 g kg⁻¹ MS, respectivamente (Mupangwa *et al.*, 2006), el forraje de soya presentó contenidos de 11 a 23 % de PC (Nielsen, 2011). En ambos ciclos existió la tendencia a disminuir el contenido de PC, ésto se debe principalmente a que una porción de proteína es destinada a la formación de flores y frutos en la edad reproductiva.

CONCLUSIONES

Las especies evaluadas pueden contribuir a la alimentación de rumiantes a nivel regional en la Mixteca Poblana en cantidad y calidad. La calidad nutritiva fue aceptable, con altas concentraciones de proteína cruda, bajos contenidos de fibras y alta digestibilidad. Hubo disminución en la concentración de proteína cruda y digestibilidad *in vitro* conforme la edad de la planta aumentó, mas dicha reducción no fue alta, quedando en niveles aceptables al finalizar el ciclo de vida.

BIBLIOGRAFÍA

- Alatorre-Hernández A., J. D. Guerrero-Rodríguez, J. I. Olvera-Hernández, E. Aceves-Ruiz, H. Vaquera-Huerta y S. Vargas-López (2018) Productividad, características fisicoquímicas y digestibilidad *in vitro* de leguminosas forrajeras en trópico seco de México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 9:296-315, <https://doi.org/10.22319/rmcp.v9i2.4361>
- ANKOM Technology (2006) Operator's Manual ANKOM 200/220 Fiber Analyzer. ANKOM Technology. Macedon, New York, USA. 31 p.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists (1990) Official Methods of Analysis of AOAC International. Vol. 1. 15th edition. K. Helrich (ed.). Association of Official Analytical Chemists. Arlington, Virginia, USA. 1298 p.
- Bhattacharya A. (2021) Dry matter production, partitioning, and seed yield under soil water deficit: a review. *In: Soil Water Deficit and Physiological Issues in Plants*. A. Bhattacharya (ed.). Springer, Singapore. pp:585-702, https://doi.org/10.1007/978-981-33-6276-5_7
- Carreras M. E., A. L. Pascualidades y A. M. Planchuelo (2001) Comportamiento germinativo de las semillas de *Crotalaria incana* L. (Leguminosae) en relación a la permeabilidad de la cubierta seminal. *Agriscientia* 18:45-50.
- Clarke T., P. C. Flinn and A. A. McGowan (1982) Low-cost pepsin-cellulase assays for prediction of digestibility of herbage. *Grass and Forage Science* 37:147-150, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1982.tb01590.x>
- CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (2009) Malezas de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D. F. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/2inicio/home-malezas-mexico.htm> (Abril 2020).
- Dougall H. W. and A. V. Bogdan (1966) The chemical composition of some leguminous plants grown in the herbage nursery at Kitale, Kenya. *East African Agricultural and Forestry Journal* 32:45-49, <https://doi.org/10.1080/00128325.1966.11662090>
- Dziba L. E., P. F. Scogings, I. J. Gordon and J. G. Raats (2003) The feeding height preferences of two goat breeds fed *Grewia occidentalis* L. (Tiliaceae) in the Eastern Cape, South Africa. *Small Ruminant Research* 47:31-38, [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(02\)00234-1](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(02)00234-1)
- Feldt T., O. Antsonantainarivony and E. Schlecht (2017) Feed selection on dry rangelands in southwestern Madagascar: implications for ruminant nutrition in view of ecological and social challenge. *Journal of Arid Environment* 144:81-90, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2017.03.009>
- García-Ferrer L., E. D. Bolaños-Aguilar, J. Ramos-Juárez, M. Osorio A. and L. C. Lagunes-Espinoza (2015) Yield and nutritive value of forage legumes in two seasons and four regrowth stages. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 6:453-468.
- Gordo O. and J. J. Sanz (2005) Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality. *Oecologia* 146:484-495, <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0240-z>
- Guerrero-Rodríguez J. D., A. Bustamante-González, E. Aceves-Ruiz, S. Vargas-López, F. Calderón-Sánchez, E. Pérez-Ramírez y J. I. Olvera-Hernández (2021) Abundancia, producción de materia seca y valor nutricional de leguminosas arbustivas forrajeras del trópico seco. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* Núm. Esp. II:e2881, <https://doi.org/10.19136/era.a8nII.2881>
- Hayano-Kanashiro C., C. Calderón-Vázquez, E. Ibarra-Laclette, L. Herrera-Estrella and J. Simpson (2012) Gene expression and physiological responses in Mexican maize landraces under drought stress and recovery irrigation. *In: Plant Physiology*. P. Stewart and S. Globig (eds.). Apple Academic Press. New York, USA. pp:74-103, <https://doi.org/10.1201/b12221-9>
- Hernández J. S., E. Rodero, M. Herrera, J. V. Delgado, C. Barba and A. Sierra (2001) Goat production in the Mixteca Poblana (Mexico). Description and identification of restrictive factors. *Archivos de Zootecnia* 50:231-239.
- Hernández-Guzmán F. J., A. R. Quero-Carrillo, P. Pérez-Rodríguez, M. Velázquez-Martínez y G. García-de los Santos (2015) Germinación y emergencia de propágulos de pasto en respuesta a pruebas de vigor. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:1519-1532,

- <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i7.546>
- Macharia P. N., J. I. Kinyamario, W. N Ekaya, C. K. K. Gachene, J. G. Mureithi and E. G. Thurania (2010)** Evaluation of forage legumes for introduction into natural pastures of semi-arid rangelands of Kenya. *Grass and Forage Science* 65:456-462, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00764.x>
- Mupangwa J. F., N. T. Ngongoni and H. Hamudikuwanda (2006)** The effect of stage of growth and method of drying fresh herbage on chemical composition of three tropical herbaceous forage legumes. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 6:23-30.
- Ngwa A. T, D. K. Pone and J. M. Mafeni (2000)** Feed selection and dietary preferences of forage by small ruminants grazing natural pastures in the Sahelian zone of Cameroon. *Animal Feed Science and Technology* 88:253-266, [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(00\)00215-7](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(00)00215-7)
- Nielsen D. C. (2011)** Forage soybean yield and quality response to water use. *Field Crops Research* 124:400-407, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.07.007>
- Olafadehan O. A. and S. A. Okunade (2018)** Fodder value of three browse forage species for growing goats. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 17:43-50, <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.01.001>
- Ouédraogo-Koné S., C. Y. Kaboré-Zoungrana and I. Ledin (2006)** Behaviour of goats, sheep and cattle on natural pasture in the sub-humid zone of West Africa. *Livestock Science* 105:244-252, <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2006.06.010>
- Pennington R. T., M. Lavin and A. Oliveira-Filho (2009)** Woody plant diversity, evolution, and ecology in the tropics: perspectives from seasonally dry tropical forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 40:437-457, <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120327>
- Planchuelo A. M. y M. E. Carreras (2011)** Evaluación de la diversidad morfológica en *Crotalaria incana* L. (Fabaceae, Faboideae), una leguminosa silvestre de valor forrajero. *Agriscientia* 28:39-49, <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v28.n1.2783>
- Seleiman M. F., N. Al-Suhaibani, N. Ali, M. Akmal, M. Alotaibi, Y. Refay, ... and M. L. Battaglia (2021)** Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants* 10:259, <https://doi.org/10.3390/plants10020259>
- Thomas D. T., J. T. B. Milton, C. K. Revell, M. A. Ewing, R. A. Dynes, K. Murray and D. R. Lindsay (2010)** Preference of sheep among annual legumes is more closely related to plant nutritive characteristics as plants mature. *Animal Production Science* 50:114-123, <https://doi.org/10.1071/AN09082>
- Vasiljević S., D. Milić and A. Mikić (2009)** Chemical attributes and quality improvement of forage legumes. *Biotechnology in Animal Husbandry* 25:493-504, <https://doi.org/10.2298/BAH0906493V>
- Zarza R., M. Rebuffo, A. La Manna and M. Balzarini (2018)** Plant density in red clover (*Trifolium pratense* L.) pastures as an early predictor of forage production. *European Journal of Agronomy* 101:193-199, <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.10.004>