PRODUCCIÓN Y VALOR NUTRICIONAL DE FORRAJE EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL DE CLIMA TEMPLADO SUBHÚMEDO

[PRODUCTION AND NUTRITIONAL VALUE OF FORAGE IN A SILVOPASTORIL SYSTEM OF TEMPERATE SUBHUMID CLIMATE]

Alek Fernando Pérez-Olivera¹, Benjamín Gómez-Ramos¹, Vicente Salinas-Melgoza¹, José Luis Navarrete Pérez-Negrón¹, María Guadalupe Josefina Nuncio-Ochoa¹, Juana Marcela García-Guzmán¹

¹Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico del Valle de Morelia. Departamento de Ciencias Agropecuarias, Morelia, Michoacán, México.

§Autor para correspondencia: (maria.no@vmorelia.tecnm.mx).

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar la producción y el valor nutricional del forraje, tanto de leguminosas arbóreas como de las gramíneas y arvenses que conforman un banco de proteína mixto en clima templado subhúmedo. Se estableció un banco de proteína mixto conformado por árboles de las especies leguminosas conocida como: pata de vaca (*Bauhinia* sp.), albizia (*Albizia* sp.), leucaena (*Leucaena* sp.) y palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), a través de la plantación directa a una profundidad de 25 cm. Se emplearon tres marcos reales y dos orientaciones de plantación. Las variables evaluadas fueron: la orientación sobre la densidad del follaje, la densidad de siembra sobre la producción de follaje y el valor nutricional de las especies. Los datos fueron analizados con un diseño completamente al azar. No se observaron diferencias de la orientación sobre la producción de follaje (número de hojas). Se observaron diferencias sobre el follaje de las cuatro especies de leguminosas arbóreas analizadas. Hubo diferencias en la densidad de siembra de las arbóreas estudiadas y el valor nutricional de las cuatro leguminosas arbóreas se mantuvo dentro de un rango del 11 al 18% de proteína. El banco de proteína mixto en estudio, confirmó que la asociación de especies arbóreas forrajeras mejora la productividad de follaje del agroecosistema. Las cuatro especies de leguminosas forrajeras estudiadas mostraron valores nutricionales y digestibilidad superiores a la mezcla de gramíneas con arvenses.

Palabras clave: Banco de proteína mixto, leguminosas arbóreas, follaje.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the production and nutritional value of forage, both tree legumes and grasses and weeds that make up a mixed protein bank in a temperate sub-humid climate. A mixed protein bank was established consisting of trees of the legume species known as: cow leg (*Bauhinia* sp.), albizia (*Albizia* sp.), leucaena (*Leucaena* sp.) and sweet stick (*Eysenhardtia polystachya*), through direct planting at a depth of 25 cm. Three real frames and two planting orientations were used. The variables evaluated were: orientation on foliage density, planting density on foliage production and the nutritional value of the species. The data was analyzed with a completely randomized design. No differences in orientation on foliage production (number of leaves) were observed. Differences were observed on the foliage of the four tree legume species analyzed. There were differences in the planting density of the trees studied and the nutritional value of the four tree legumes remained within a range of 11 to 18% protein. The mixed protein bank under study confirmed that the association of forage tree species improves the foliage productivity of the agroecosystem. The four species of forage legumes studied showed higher nutritional values and digestibility than the mixture of grasses with weeds.

Keywords: Mixed protein bank, tree legumes, foliage

INTRODUCCIÓN

Los expertos reconocen que la ganadería ejerce una creciente presión sobre la tierra, el aire, el agua y la biodiversidad, por lo que se debe de adoptar medidas correctivas para fomentar la provisión de servicios ecosistémicos en favor de la protección ambiental, para tal fin, la aplicación de tecnologías silvopastoriles son las alternativas propuestas en las últimas décadas, debido a que han demostrado la mejora de la eficiencia del uso de la tierra, así como el que pueden mitigar los efectos negativos de la producción pecuaria sobre la biodiversidad, los ecosistemas y el calentamiento global, además de incrementar la eficiencia del ganado al mejorar el alimento para los animales (Palma-García *et al.*, 2011; Murgueitio *et al.*, 2012).

Otro de los grandes problemas que afronta la ganadería es la variabilidad de la cantidad y calidad del forraje a través del año, lo que repercute negativamente en los parámetros productivos y reproductivos del ganado y finalmente impacta en la eficiencia productiva del sistema en cuestión; ante esta situación, los sistemas silvopastoriles también han demostrado mediante la eficiencia en la producción de follaje de especies arbóreas, que pueden ser una buena alternativa alimenticia, debido a que diferentes árboles y arbustos tienen un gran potencial nutricional como forraje de calidad, es decir, alto contenido de proteína comparado con las gramíneas y alto rendimiento de biomasa (Sosa-Rubio *et al.*, 2004; López-De Buen *et al.*, 2019).

Por lo tanto, es importante considerar que México posee una gran diversidad ecosistémica con variedad de climas, consecuentemente diversidad y abundancia de especies vegetales adaptadas a las condiciones climáticas de cada región, las cuales tienen un alto valor biológico debido a las características nutricionales y a los diversos beneficios que aportan al ambiente (Sosa-Rubio *et al.*, 2004; López-De Buen *et al.*, 2019). Los árboles forrajeros son una gran opción, por considerar que se encuentran adaptados a climas templados y subhúmedo, entre ellos se tienen a *Albizia* sp., *Eysenhardtia polystachya*, *Bauhinia* sp. y *Leucaena* sp.; apreciadas como leguminosas arbóreas con alto potencial forrajero para ser incorporadas a los sistemas silvopastoriles (SSP), ya sea en bancos de proteína o en asociación con otros cultivos (Febres y Ruiz, 2008).

En cualquiera de sus modalidades los SSP son sistemas agroforestales (SAF), conformados por animales, suelo y por especies herbáceas y leñosas asociadas, las cuales además de proveer de alimento como forraje y frutos de buena calidad, proveen confort con su sombra a los animales, ofrecen beneficios ambientales como la captura de carbono, así como protección y mejora del suelo (Simón, 1997; Murgueitio *et al.*, 2012).

Uno de los SSP utilizados para proveer alimento de alta calidad nutricional a los pequeños y grandes rumiante, es la modalidad de bancos de forrajes mixtos conformados por dos o más especies de leguminosas arbóreas o arbustivas, los estudios realizados se han enfocado a la parte aérea (biomasa foliar) de las plantas, sin embargo, es igualmente importante el estudio de las interacciones entre las especies dentro de estos sistemas, así como entre individuos, que están en función de la disponibilidad de recursos en el medio para su crecimiento, los requerimientos específicos, las características morfológicas de los componentes, la densidad de plantas, el arreglo espacial y el manejo utilizado, son además otros factores muy importantes que pueden influir sobre el grado de interacción (Casanova-Lugo *et al.*, 2010; López-De Buen *et al.*, 2019). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la producción y el valor nutricional del forraje, tanto de leguminosas arbóreas como de las gramíneas y arvenses que conforman un banco de proteína mixto en clima templado subhúmedo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó de noviembre 2018 a noviembre 2019, dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico del Valle de Morelia, la localización geográfica es al Norte del estado de Michoacán, en las coordenadas 19° 48' de latitud norte y 101° 10' de longitud oeste, a una altura de 1,860 msnm, así como una dominancia de clima templado, presenta una temperatura que oscila entre los 12 y 18 °C. El área de trabajo se encuentra en la parte norte de la terraza 54 ubicadas dentro de la unidad de producción ovina y caprina, área total de 5,267.21 m² (0.53 ha). Cuenta con suelos someros con una profundidad en promedio de 35 cm., con una textura arcillosa estos suelos son pobres en materia orgánica. La vegetación residual de la zona, que corresponde a un clima templado está compuesta principalmente por algunas especies de acacias como el huisache, tépame y la uña de gato, con predominancia de pasto estrella africana (*Cynodon plctostachyus*) y arvenses. La zona presenta un déficit hídrico lo cual delimita la producción de forrajes.

Establecimiento del cultivo

Se estableció un banco de proteína mixto conformado por árboles, de las especies leguminosas conocida como: pata de vaca (*Bauhinia* sp.), albizia (*Albizia* sp.), leucaena (*Leucaena* sp.) y palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), a través de la plantación directa a una profundidad de 25 cm. Para ello se emplearon tres marcos reales de plantación en donde se consideró una distancia de 70 x 70 cm entre árbol y árbol, en el segundo 90 x 90 cm y en el tercero de 110 x 110 cm, en dos diferentes orientaciones una de Este a Oeste en de 358 m² y la otra de Norte a Sur de 554 m². Con un total de 1,239 árboles plantados, los cuales tenían una edad aproximada de un año al momento de ser plantados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Tratamientos evaluados, densidad de siembra y orientación.

Marco real de plantación (Tratamiento)	Densidad (árboles/ha)	Orientación
70 x 70	20,408	Este-Oeste
90 x 90	12,346	
110 x 110	8,264	Norte-Sur

Cálculo del tamaño de la muestra

Se determinó el tamaño de la muestra mediante la siguiente fórmula (Aguilar-Barojas, 2005):

$$n = \frac{N Z^2 pq}{d^2 (N - 1) + Z^2 pq}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

N = Tamaño de la población

p = Proporción aproximada del fenómeno en estudio en la población de referencia

q = Proporción de la población de referencia que no presenta el fenómeno en estudio (1-p)

Z = Valor de Z crítico, calculado en las tablas del área de la curva normal. Llamado también nivel de confianza.

d = nivel de precisión absoluta. Referido a la amplitud del intervalo de confianza deseado en la determinación del valor promedio de la variable en estudio.

Diseño experimental

Para la comparación de los sistemas de asociación de la *Leucaena* y gramíneas (tratamientos) se utilizó un diseño experimental completamente al azar con desigual número de repeticiones en el programa (SAS-STAT, 2012).

$$y_{ijk} = \mu + t_i + ort_j + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

y_{ijk} = una observación de la variable respuesta

μ = media que representa a la población

t_i = Efecto fijo del i-esimo tratamiento $i = 1,2,3$

ort_j = Efecto fijo del j-esima orientación $j = 1,2$

ε_{ijk} = Error aleatorio asociado a cada observación $\varepsilon_{ijk} \sim (0, \delta^2)$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La producción de follaje de las cuatro leñosas forrajeras, contabilizada por el número de hojas por árbol (No h/a) no se vio influenciada ($P > 0.05$) por la orientación de la plantación (Cuadro 2). Ayala (2012) indica que la orientación de la siembra debe de efectuarse de acuerdo con la trayectoria del sol (Este a Oeste) a fin de evitar el exceso de sombra entre los entresurcos.

Cuadro 2. Medias de mínimos cuadrados para la orientación sobre la producción de follaje (No h/a).

Orientación	$\bar{x} \pm EE$
Este - Oeste	103 ± 14^{ns}
Norte - Sur	116 ± 11^{ns}

No se observaron diferencias $P > 0.05$ ns.

No obstante, para el promedio de la producción de follaje de las especies leñosas si hubo diferencias entre éstas, para *Albizia* y *Eysenhardtia polystachya* fueron similares entre ellas y superior en un 73.5% al follaje producido por las otras dos especies (Cuadro 3). Por otro lado, *Bauhinia* sp. y *Leucaena* mostraron una producción de follaje similar. Contrariamente a lo encontrado por Fernández (2015) en donde no observó diferencias ($p > 0.05$) en SSP con *Leucaena* obteniendo un rango de 23.94 a 24.72 hojas/planta.

Cuadro 3. Medias de mínimos cuadrados de especies de arbóreas forrajeras sobre el follaje producido (Número de hojas).

Especie	$\bar{x} \pm EE$
<i>Bauhinia</i> sp.	34 ± 8^a
<i>Leucaena</i>	38 ± 16^a
<i>Eysenhardtia polystachya</i>	166 ± 16^b
<i>Albizia</i>	200 ± 34^b

^{a, b, c} Literales son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

De acuerdo con lo observado, Casanova-Lugo *et al.* (2014) reportaron que existen otros factores que puede influenciar los parámetros de crecimiento y producción de forraje de las leguminosas arbóreas, es su asociación con otros árboles forrajeros en el mismo sistema silvopastoril, cuando evaluaron los componentes de la biomasa, en bancos de forraje de *L. leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* y una mezcla de ambas especies, encontrando que existe una mayor proporción de hojas en el forraje de la *Guazuma ulmifolia* (71% del total del forraje) y en los bancos de forraje mixtos (69%) que en los bancos de *L. leucocephala* (64%). Situación por la que se puede inferir que tanto la *Albizia* como la *Eysenhardtia polystachya* mostraron mayor comportamiento en el sistema de banco de proteína mixto.

Por otra parte, la producción de follaje en cuanto a número de hojas, no mostró diferencia entre los arreglos de plantación de 70 x 70 y 90 x 90 (Cuadro 4). Sin embargo, se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) en la producción de follaje entre el arreglo de plantación de 110 x 110, mostrando una diferencia del 46% con respecto a la densidad del 70 x 70. Así mismo, no se observaron diferencias ($P \geq 0.05$) entre el arreglo 90 x 90 con respecto al 110 x 110. Por lo que se puede inferir que los árboles plantados en densidades menores tendrán menor competencia entre estos y se reflejará en una mayor producción de follaje (Niñirola-Campoy, 2010). Fernández (2015) no observó diferencias estadísticas en el número de hojas de leguminosas arbóreas bajo densidades alta y bajas obteniendo en promedio 24.33 hojas/árbol.

Cuadro 4. Medias de mínimos cuadrados para evaluar la producción de follaje (No. de hojas) de tres especies de arbóreas forrajeras, de acuerdo a la densidad de siembra.

(Densidad (árboles/ha))	$\bar{x} \pm EE$
70 x 70	85 ± 15^a
90 x 90	113 ± 14^{ac}
110 x 110	131 ± 12^{bc}

a, b, c Literales son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$).

Características nutricionales de las leguminosas forrajeras, gramíneas y arvenses del banco de proteína mixto y pradera

Las cuatro especies de árboles leguminosas forrajeras utilizadas en el establecimiento de los diferentes arreglos del banco de proteína mixto; *Eysenhardtia polystachya*, *Bauhinia* sp. *Albizia* sp. y *Leucaena* sp. se encuentran entre los rangos de proteína y fibra reportados para las leguminosas arbóreas recomendadas para rumiantes, los cuales varían de 12 al 28% de proteína y fibra menor al 40%; (Norton, 1994; Sosa-Rubio *et al.*, 2004; Aguirre *et al.*, 2013) (Cuadro 5).

Se destaca la *Albizia*, por su mayor contenido de proteína y la *Bauhinia* sp. con el menor contenido de proteína cruda, ésta última en comparación a la composición de la pradera nativa en donde pastorean los ovinos, que es una mezcla de gramíneas con arvenses, se observó con un mayor valor proteico (3.9%). Es importante señalar que, de acuerdo con Norton (1994) las leñosas arbóreas o arbustivas con valores menores al 8% de PC son consideradas deficientes, ya que no proveen el mínimo de los niveles de amonio requerido por los rumiantes.

Por lo tanto, tres de las cuatro especies analizadas presentaron niveles de PC superiores a los requerimientos para ovejas en lactación 12.0%. (National Research Council, 2007). Por otra parte, se destaca el contenido más bajo de proteína de los forrajes analizados (7.5%) y el mayor contenido de fibra con casi el 30% que corresponde a la mezcla de gramíneas con arvenses que conforman el banco de proteína, aunque estos niveles eran de esperarse, es importante resaltar lo mencionado por Sosa-Rubio *et al.* (2004), en donde indican que varios estudios coinciden en que el follaje de los árboles forrajeos posee una calidad nutricional superior, en comparación con los pastos y que ésta calidad no se afecta tanto por los cambios estacionales

(López-De Buen *et al.*, 2019), a diferencia de los monocultivos de pastos que reducen dramáticamente su producción de biomasa en condiciones de sequía.

Cuadro 5. Características nutricionales de cuatro especies arbóreas forrajeras y mezcla de gramínea con arvenses del SSP.

Nombre científico	<i>Leucaena</i> sp.	<i>Albizia</i> sp.	<i>Eysenhsrthtia</i> <i>polystachia</i>	<i>Bauhinia</i> <i>divaricata</i>	Mezcla de gramíneas con arvenses
Materia seca (%)	46.95	47.18	59.10	47.29	53.65
Proteína cruda (%)	17.39	18.36	15.75	11.38	7.52
Extracto etéreo (%)	5.82	4.61	7.73	4.24	4.15
Cenizas (%)	7.01	5.68	7.47	6.91	12.18
Fibra cruda (%)	13.86	17.52	19.72	20.81	20.98
Extracto libre de Nitrógeno (%)	55.92	53.83	49.34	56.66	55.16
Total, de nutrientes digestibles (%)	73.70	72.24	74.33	70.03	65.91
Energía digestible kcal kg ⁻¹	3249.32	3185.3	3277.02	3087.82	2906.13
Energía metabolizable kcal kg ⁻¹	2664.16	2611.45	2531.75	2686.88	2383.78

CONCLUSIONES

El banco de proteína mixto en estudio, confirmo que la asociación de especies arbóreas forrajeras mejora la productividad de follaje del agroecosistema. Las cuatro especies de leguminosas forrajeras estudiadas mostraron valores nutricionales y digestibilidad superiores a la mezcla de gramíneas con arvenses.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Barojas, S. 2005. Fórmulas para el cálculo de la muestra en investigaciones de salud. Salud en Tabasco (en línea). 11(1-2) 333–338. <https://www.redalyc.org/pdf/487/48711206.pdf>.
- Aguirre, O., O. Loya, G. Gómez, C. Ulloa, V.F. Escalera, G.Y. Valdez y R.C. Ramírez. 2013. Los sistemas silvopastoriles intensivos para rumiantes, alternativa de producción animal sustentable en el trópico mexicano. La contribución del sector pecuario a la seguridad alimentaria en México. 1, 205–216. https://www.researchgate.net/profile/Fernando-CasanovaLugo/publication/288824714_La_contribucion_del_sector_pecuario_a_la_seguridad_alimentaria_en_Mexico/links/5684129208ae1e63f1f1c478/La-contribucion-del-sector-pecuario-a-la-seguridad-alimentaria-en-Mexico.pdf.
- Ayala-Bermúdez, W. 2012. Establecimiento de un banco de proteínas mediante la asociación de gramíneas y leguminosas (*Leucaena leucocephala*, glicinia, y hierba de guinea) para la ceba del ganado bovino (Mestizo Cebú) en la UBPC. Resumen extendido de Trabajo de grado, Universidad de Holguín. (Consultado el 18 de marzo de 2022). Disponible en: <https://repositorio.uho.edu.cu/jspui/handle/uho/5857>.
- Casanova-Lugo, F., J. Petit-Aldana, F.J. Solorio-Sánchez y D. Parsons. 2014. Forage yield and quality of *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in mixed and pure fodder banks systems in Yucatan, Mexico. *Agroforestry Systems*. 88(1), 29–39. <https://www.researchgate.net/publication/263111277>. Forage yield and quality of *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in mixed and pure fodder banks systems in Yucatan México.

- Casanova-Lugo, F., L. Ramírez-Avilés y F.J. Solorio-Sánchez. 2010. Efecto del intervalo de poda sobre la biomasa foliar y radical en árboles forrajeros en monocultivo y asociados. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 12(3) 657–665. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93915170023.pdf>.
- Febles, G. y T.E. Ruiz. 2008. Evaluación de especies arbóreas para sistemas silvopastoriles. *Avances en investigación agropecuaria*. 12(001) 1–25. http://bvirtual.ucol.mx/descargables/433_evaluación_de_especies_arboreas.pdf.
- Fernández-Gómez, A.A. 2015. Evaluación de los principales parámetros en crecimiento de área foliar y biomasa producida de *Leucaena leucocephala* asociada con dos diferentes tipos de gramíneas en la zona sur de Quintana Roo. Informe Técnico de Residencia Profesional, Instituto Tecnológico de la Zona Maya. (Consultado el 18 de marzo de 2022). Disponible en: http://www.itzonamaya.edu.mx/web_biblio/archivos/res_prof/agro/agro-2015-2.pdf.
- López-De-Buen, L., E. Aquino-Rodríguez, Y. Maciel-Pérez, C. Ahuja-Aguirre y C. Castillo-Tlapa. 2019. Sobrevivencia de árboles nativos tropicales en un módulo silvopastoril en Veracruz, México. *Revista Agrociencia*. 53(7).
- Murgueta-R, E., O.J. Chara, R.R. Barahona, C.C. Cuartas y R.J. Naranjo. 2014. Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), herramienta de mitigación y adaptación al cambio climático. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* (en línea). 17(3), 501–517. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93935728001.pdf>.
- National Research Council. 2007. Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids. (en línea). 6a ed. Washington, DC: The National Academies Press. (Consultado el 18 de marzo de 2022). doi:10.17226/11654.
- Niñirola-Campoy, D. 2010. Influencia de la densidad de plantación en la producción y calidad de cultivos de berro y canónigo en bandejas flotantes para su producción como baby leaf. Tesis de maestría. Universidad Politécnica de Cartagena. (Consultado el 18 de marzo de 2022). Disponible en: <http://hdl.handle.net/10317/1801>.
- Norton, B.W. 1994. Forage tree legumes in tropical agriculture (en línea). Gutteridge RC: CAB International Wallingford UK. (Consultado el 18 de marzo de 2022). Disponible en: <https://www.cabi.org/ISC/abstract/19941400417>.
- Palma-García, J.M., J. Nahed-Toral y L. Sanginés-García. 2010. Alternativas para una reconversión ganadera sustentable. [en línea]. México, D. F.: Agroforestería Pecuaria en México. https://www.researchgate.net/publication/351062064_Agroforesteria_Pecuaria_en_Mexico_Alternativas_para_una_reconversion_ganadera_sustentable_No_1_Livestock_Agroforestry_in_Mexico_Alternatives_for_a_sustainable_livestock_conversion_No_1.
- SAS/STAT (Nº de versión 9.4). (2012). Windows. Cary, USA.: Statistical Analysis System (SAS) Institute in Company.
- Simon, L. 1997. Resultados obtenidos en la alimentación de bovinos y ovinos con *Albizia lebeck* Benth. VI Encuentro Técnico de la Filial Territorial de ACPA. 1(33), 187–198. [Consultado el 18 de marzo de 2022]. Disponible en: <https://biblioteca.ihatuey.cu/link/nuestraspublicaciones/morera.pdf>.
- Sosa-Rubio, E.E., D. Pérez-Rodríguez, L. Ortega-Reyes y G. Zapata-Buenfil. 2004. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos. *Técnica Pecuaria en México*. 42(2), 124–144. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61342201>.