

ADAPTACIÓN DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS EN UN SISTEMA SILVOPASTORIL PARA OVINOS EN CLIMA TEMPLADO

ADAPTATION OF TREE LEGUMES IN A SILVOPASTORAL SYSTEM FOR SHEEP IN A TEMPERATE CLIMATE

María Guadalupe Josefina Nuncio Ochoa¹, Alek Fernando Pérez Olivera¹, Benjamín Gómez Ramos^{1,2}, Verónica Trujillo Pahuá¹, Isaías de Jesús Díaz Maldonado¹, Javier Oviedo Boyso², Vicente Salinas Delgado¹, Rafael María Román Bravo²

¹Instituto Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Morelia, km. 6,5 Carretera Morelia-Salamanca, Col. Los Angeles, Morelia, Michoacán, México.

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán, México.

Email: benjamin.gr@vmorelia.tecnm.mx

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo original

Recibido:
22/03/2024

Aceptado:
19/08/2024

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista
ESPAMCIENCIA
15(2):7-15

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i2.482

Resumen

El objetivo fue evaluar durante un periodo de un año, la supervivencia, la producción y el valor nutricional del forraje, de leguminosas arbóreas así como de las gramíneas y arvenses en un sistema silvopastoril. Se estableció un banco de proteína mixto conformado por dos parcelas, en la primera parcela la orientación de plantación fue de Este a Oeste y en la segunda de Norte a Sur, los árboles plantados fueron especies leguminosas: pata de vaca (*Bauhinia forficata*), albizia (*Albizia lebbbeck*), leucaena (*Leucaena leucocephala*) y palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*). Se emplearon tres marcos reales de plantación, con una distancia de 70x70, 90x90, y 110x110 cm, entre árboles. Se contabilizó de manera visual y manual, identificando la especie y su condición vivo de manera binomial (1) o muerto (0). Se utilizó un modelo en tres vías de clasificación con desigual número de repeticiones usando el procedimiento para Modelos Lineales Generalizados del sistema de análisis estadístico, bajo un modelo de efectos fijos. El valor nutricional de las leguminosas arbóreas se mantuvo en un rango del 11 al 18% de proteína. Se observaron diferencias ($p \leq 0,05$) entre tratamientos y la orientación sobre la altura. Hubo efecto ($p \leq 0,05$) sobre el tratamiento, orientación, periodo y las cuatro especies sobre la producción de follaje. Se observaron diferencias ($p \leq 0,05$) de supervivencia de las especies destacando la albizia (*Albizia lebbbeck*). El periodo influyó ($p \leq 0,05$) en la supervivencia de los árboles. Se concluye que la tasa de sobrevivencia para especies de leguminosas arbóreas forrajeras, determinan su capacidad para establecer sistemas silvopastoriles en clima templado subhúmedo en arreglos de bancos de proteína mixtos.

Palabras clave: Banco de proteína mixtos, densidad, supervivencia, especies forrajeras.

Abstract

The objective was to evaluate, over a one-year period, the survival, production, and nutritional value of forage from tree legumes as well as grasses and weeds in a silvopastoral system. A mixed protein bank was established, consisting of two plots: in the first plot, planting orientation was East to West, and in the second, North to South. The planted tree species were leguminous: pata de vaca (*Bauhinia forficata*), albizia (*Albizia lebbbeck*), leucaena (*Leucaena leucocephala*), and palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*). Three planting densities were used, with tree spacings of 70x70, 90x90, and 110x110 cm. Survival was assessed visually and manually by identifying the species and recording their condition as either alive (1) or dead (0). A three-way classification model with an unequal number of repetitions was used, employing the Generalized Linear Models procedure of the statistical analysis system under a fixed effects model. The nutritional value of the tree legumes ranged from 11% to 18% protein. Differences ($p \leq 0.05$) were observed between treatments and orientation regarding height. There was a significant effect ($p \leq 0.05$) of treatment, orientation, period, and species on foliage production. Differences ($p \leq 0.05$) were found in species survival, with albizia (*Albizia lebbbeck*) being notable. The period also significantly influenced ($p \leq 0.05$) tree survival. It is concluded that the survival rate of forage tree legume species determines their capacity to establish silvopastoral systems in a subhumid temperate climate in mixed protein bank arrangements.

Keywords: Mixed protein banks, density, survival, forage species.

INTRODUCCIÓN

Los expertos han reconocido que la ganadería ejerce una creciente presión sobre la tierra, el aire, el agua y la biodiversidad. Por ello es decisivo que promuevan la provisión de servicios ecosistémicos en favor de la protección ambiental. En este contexto, la implementación de tecnologías silvopastoriles ha sido propuesta como una solución efectiva en las últimas décadas. Estas tecnologías han demostrado mejora la eficiencia del uso de la tierra, mitigar los efectos negativos de la producción pecuaria sobre la biodiversidad, los ecosistemas y el calentamiento global. Además, contribuyen a incrementar la eficiencia del ganado al mejorar la calidad del alimento disponible para los animales (Palma-García *et al.*, 2010).

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 (SSP), también han demostrado mediante la eficiencia en la producción de follaje de especies arbóreas que pueden ser una alternativa alimenticia, debido a que diferentes árboles y arbustos tienen un 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).

Es importante el 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). Entre estas los árboles forrajeros son una gran opción, entre los que se encuentran adaptados a climas templados subhúmedo se tienen; *Albizia lebeck.*, *Eysenhardtia polystachya*, *Bauhinia forficata* y *Leucaena leucocephala.*; apreciadas como leguminosas arbóreas con alto potencial forrajero para ser incorporadas a los SSP, ya sea en bancos de proteína o en asociación con otros cultivos (Febles 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 calidad, proveen confort con su sombra a los animales; además, ofrecen beneficios ambientales como la captura de carbono, así como protección y mejora del suelo (Simón, 1997).

Uno de los SSP utilizados para proveer alimento de alta calidad nutricional a los pequeños y grandes rumiantes, 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 entre ellos (Casanova-Lugo *et al.*, 2010).

De acuerdo con Febles y Ruiz (2008), otras características de importancia que deben de presentar los árboles para ser evaluados y poder introducirlos a los sistemas silvopastoriles son; la supervivencia, el crecimiento, la resistencia al ataque de plagas y la aceptación de los animales, como medidas relevantes. A partir de estos criterios es posible inferir la resistencia de estas plantas al estrés ambiental y la facilidad de adaptarse a la presión ambiental estas mediciones requieren ser valoradas en su dimensión espacio-tiempo.

Una de las alternativas para resolver el problema de la alimentación de ganado, es el uso de especies leñosas forrajeras las cuales han demostrado tener buena calidad y poseen características adecuadas para la alimentación de ganado mayor y menor, entre éstas propiedades tenemos: que son variedades de alto valor nutritivo, con alta digestibilidad y palatabilidad para los animales, algunas de estas especies son: leucaena (*Leucaena leucocephala*) albizia (*Albizia lebeck*), palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), y pata de vaca (*Bauhinia forficata*); por lo que se hace necesario realizar estudios para determinar su valor nutricional, la producción de biomasa y sobrevivencia en condiciones climáticas y edafológicas diferentes (Moreno-López, 2005); especialmente en condiciones de clima templado ya que la mayoría de los estudios de establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles se han realizado bajo condiciones de trópico húmedo y seco (Aguirre *et al.*, 2013; Murgueitio *et al.*, 2015 y González-Valdivia *et al.*, 2016). Por lo anterior, el propósito del presente trabajo fue evaluar: la supervivencia, el crecimiento, el desarrollo, la densidad, la orientación de plantación, así como el valor nutricional de las referidas especies arvenses que conforman un banco de proteína mixto en clima templado subhúmedo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

Esta investigación se realizó dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico del Valle de Morelia (ITVM) cuya localización geográfica es al Norte del estado de Michoacán, entre las coordenadas 19° 48' de latitud Norte y 101° 10' de longitud Oeste, a una altura de 1860 m.s.n.m., así como con una dominancia de clima templado, presenta una temperatura que oscila entre los

12°C y 18°C. Los suelos se desarrollan sobre rocas volcánicas, piroclásticas (ignimbritas) que forman tobas con diferentes grados de dureza, descansan sobre fragipán presentando una profundidad variable desde 33 - 95 cm, presentan una textura correspondiente a las arcillas de partícula tipo 1 y 2, teniendo un solo horizonte en aquellos con profundidad mayor a 38 cms (horizonte mollico) y tres horizontes en aquellos con profundidad de 95 cms (horizonte vértico). Presentaron valores de punto de saturación de humedad de 60% lo que sugiere un nivel alto de almacenamiento de agua. La capacidad de campo (CC) está a 18,6% y el punto de marchitez permanente (PMP) a 9,3%, con agua disponible para plantas de 9,3%, la densidad aparente del suelo (DAP) es de 1,09 y la de partículas de 2,3 gramos /cm³, la porosidad del suelo es de 52,2% lo que indica buena aireación de los suelos y el pH es neutro (6,8) lo que favorece la absorción de nutrientes. El contenido de materia orgánica (MO) 1,97% que representa un contenido de carbón orgánico de 1,14%. (Nuncio-Ochoa et al., 2024).

Preparación del terreno

La parcela experimental se estableció en una superficie total de 912 m² que posteriormente se dividió en dos parcelas con diferente orientación, este a oeste de 358 m² y norte a sur de 554 m², en la terraza número 54 ubicada dentro de la unidad de producción ovina y caprina, en un suelo con predominancia de textura arcillosa.

Trazo de parcelas

Se emplearon tres marcos reales de plantación utilizando cinta métrica de 100 m, en donde se consideró una distancia de 70 x 70 cm (T1), 90 x 90 cm (T2) y 110 x 110 cm (T3) entre árbol y árbol, en dos parcelas con diferente orientación, fueron divididas con malla graduada borreguera de acero a una altura de 1,67 m.

Establecimiento del cultivo

Se estableció un banco de proteína mixto, conformado por árboles aproximadamente de un año de edad de las especies leguminosas conocidas como: pata de vaca (*Bauhinia forficata.*), albizia (*Albizia lebeck.*), leucaena (*Leucaena leucocephala*) y palo dulce (*Eysenhardtia polystachya*), a través de la plantación directa a una profundidad de 25 cm con un total de 1153 árboles.

Cuadro 2. Características nutricionales de cuatro especies arbóreas forrajeras y mezcla de gramínea con arvenses del SSP.

Nombre científico	<i>Leucaena leucocephala</i>	<i>Albizia Lebeck</i>	<i>Eysenhardtia polystachya</i>	<i>Bauhinia forficata</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	3249,32	3185,3	3277,02	3087,82	2906,13
Energía Metabolizable kcal/kg	2664,16	2611,45	2531,75	2686,88	2383,78

Tratamientos evaluados

Los tratamientos (Cuadro 1) se conformaron con tres diferentes densidades de plantación, establecidas para determinar la producción de biomasa de las cuatro especies de leguminosas forrajeras por hectárea:

Cuadro 1. Tratamientos evaluados y densidad de siembra.

Tratamiento	Marco real de plantación ¹	Densidad ²
1	70 x 70	20 408
2	90 x 90	12 346
3	110 x 110	8264

¹cms, ²árboles/Ha

Instalación y manejo del sistema de riego

Es vital contar con la disponibilidad de agua para el riego especialmente en época de estiaje para la supervivencia de las plántulas; se adecuaron tomas de agua proveniente de una fuente de abastecimiento permanente, como en este caso se contó con una olla de agua, alimentada mediante el bombeo de pozo profundo, ubicada aproximadamente a 200 m del área de trabajo. Los primeros ocho meses del establecimiento, es decir de enero a agosto 2019, el riego fue manual mediante mangueras y posteriormente en el mes de septiembre del mismo año se diseñó e instaló la infraestructura de un sistema de riego por aspersión con capacidad de un kilogramo de presión, con filtros de anillo, con tubería de PVC hidráulico y 4 aspersores, sistema que facilitó el riego de forma automática, siendo esta alternativa la más adecuada para mantener los riegos necesarios.

Variables evaluadas

Altura de la planta: Se registró la altura en centímetros (cms.), se midió con un flexómetro desde la base de la planta hasta el ápice. Diámetro del tallo: para el grosor de tallo, se midió con un vernier el diámetro en milímetros (mm) a 2 cm, de altura partiendo del nivel del suelo. Número de hojas y número de ramas se cuantificaron de manera visual y análisis bromatológico convencional sobre las variables señaladas en el cuadro 2.

Diseño experimental

Para la comparación de los sistemas de asociación de leguminosas forrajeras en diferentes densidades y orientación (tratamientos) se utilizó un modelo para un experimento a tres vías de clasificación con desigual número de repeticiones usando el procedimiento lineal general del sistema de análisis estadístico (SAS), bajo un modelo de efectos fijos (SAS/STAT, 2012).

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \alpha_j + \beta_k + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

y_{ijk} = una observación de la variable respuesta

μ = media que representa a la población

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

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

β_k = Efecto de la estación $k=1,2$

Error aleatorio asociado a cada observación

$$\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

Las cuatro especies de árboles leguminosos forrajeros (Cuadro 2) utilizadas en el establecimiento de los diferentes arreglos del banco de proteína mixto; *Eysenhardtia polystachya*, *Bauhinia forficata*, *Albizia lebeck* y *Leucaena leucocephala* 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 y Aguirre et al., 2013). Se destaca la *Albizia*, por su mayor contenido de proteína y la *Bauhinia forficata* 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

forrajeros posee una calidad nutricional superior, en comparación con los pastos y que ésta calidad no se afecta tanto por los cambios estacionales, a diferencia de los monocultivos de pastos que reducen dramáticamente su producción de biomasa en condiciones de sequía.

Medias de mínimos cuadrados sobre la altura

Se observaron diferencias ($p \leq 0,05$) en la altura para las plantas; al emplear la densidad de 8264 plantas/hectárea la altura fue mayor obteniendo 91,21 cm y se distinguió (Cuadro 3) significativamente de las densidades restantes; De acuerdo con Páez (1991), la luz influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas de varias maneras, según su calidad, intensidad y duración; el uso de altas densidades de siembra trae consigo problemas relacionados con la competencia dentro del cultivo, por lo que al final del ciclo las plantas tienen un menor crecimiento.

Cuadro 3. Medias de mínimos cuadrados para el tratamiento sobre la altura

Densidad de plantación (Plantas/ha)	$\bar{x} \pm \sigma_p$
20,408	61,62 ± 32 ^a
12,346	91,21 ± 31 ^a
8,264	169,63 ± 27 ^b

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

Se observaron diferencias ($p \leq 0,05$), con respecto a la orientación norte-sur (Cuadro 4) la cual obtuvo 81,64 cm más sobre la altura de la planta que la orientación este-oeste. La orientación norte-sur influyó en el crecimiento de las plantas debido al exceso de humedad del suelo en la orientación este-oeste, probablemente el exceso de humedad afectó directamente el crecimiento radicular inhibiendo el crecimiento de las plantas. Cabe señalar que en la orientación este-oeste se localizó una boca de tormenta razón por la cual presentó mayor humedad por captación de agua de lluvia.

Cuadro 4. Medias de mínimos cuadrados para la orientación sobre la altura

Orientación	$\bar{x} \pm \sigma_p$
Este-oeste	66,67 ± 32 ^a
Norte-sur	148,31 ± 25 ^b

Literales a, b son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$)

El periodo no influyó ($P \geq 0,05$), sobre la altura de las plantas (Cuadro 5). Los periodos en los cuales se llevó a cabo las mediciones de las variables a medir fueron primavera y verano en donde no hay diferencia entre estos dos; sin embargo, datos registrados de la Comisión Nacional del Agua (2020), muestran que en el mes de julio 2019 se obtuvo 178,4 mm, de precipitación más que en el mes de abril del mismo año, mientras que la temperatura promedio entre los dos periodos fue de 22,05°C., Por otra parte Castro-Rivera et al. (2012) indican que la altura de la asociación 40:30:30 (trébol blanco: ovillo: ballico perenne) en verano se obtuvo la

mayor altura (26 cm), que superó en 17, 142 y 137% a las de primavera, otoño e invierno, respectivamente.

Cuadro 5. Medias de mínimos cuadrados para el periodo sobre la altura

Periodo	$\bar{x} \pm \sigma_x$
Abril	131,07 ± 25 ^a
Julio	83,90 ± 26 ^a

Literales *a* son estadísticamente iguales ($P \geq 0,05$)

Medias de mínimos cuadrados sobre el follaje

La densidad baja (8, 264 árboles/ha) influyó ($P \leq 0,05$) con 48% mayor número de follaje (Cuadro 7) en comparación con las densidades media y alta. Según Niñirola (2010), al aumentar la densidad de plantación, se genera una fuerte competencia intraespecífica y una limitada capacidad competitiva.

La orientación norte-sur produjo un 29% más de follaje en las plantas (Cuadro 8) en comparación con la orientación este-oeste. Sin embargo, Ayala-Bermúdez (2012) menciona que la orientación de la siembra debe realizarse de acuerdo con la trayectoria del sol (este a oeste) para evitar el exceso de sombra en los entresurcos. En este estudio, también se observó un aumento en la mortalidad de árboles en la orientación este-oest, este fenómeno se atribuye al exceso de humedad causado por el drenaje de la boca de tormenta, lo cual podría haber afectado negativamente la producción de follaje.

Cuadro 7. Medias de mínimos cuadrados para evaluar la producción de follaje cuatro especies arbóreas forrajeras, da la densidad de siembra/ha.

Plantas/ha	$\bar{x} \pm \sigma_x$
20, 408	43,91 ± 12 ^a
12, 346	65,32 ± 11 ^a
8, 264	102,35 ± 10 ^b

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$)

Cuadro 8. Medias de mínimos cuadrados para la orientación sobre el follaje.

Orientación	$\bar{x} \pm \sigma_x$
Este-Oeste	53,91 ± 12 ^a
Norte-Sur	87,15 ± 9 ^b

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$)

Durante el periodo de primavera, se produjo un 35% más de follaje en las plantas en comparación con el periodo de verano (ver Cuadro 9). Según Chinchilla (2009), en primavera se inicia el crecimiento de las hojas y los vástagos, lo que resulta notable la abundancia del follaje.

Cuadro 9. Medias de mínimos cuadrados para el periodo sobre el follaje

Periodo	$\bar{x} \pm \sigma_x$
Abril	87,93 ± 9 ^a
Julio	53,12 ± 9 ^b

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$)

El promedio de producción de follaje varió entre las especies leñosas estudiadas (Cuadro 10). Las especies de albizia y palo dulce produjeron follaje similar entre sí y un 75,9% más que las otras dos especies. En cambio, pata de vaca y leucaena mostraron una producción de follaje parecida. Esto contrasta con lo encontrado por Fernández (2015), quien observó diferencias significativas ($p > 0,05$) en la producción de follaje de leucaena con un rango de 23,94 a 24,72 hojas por planta.

Cuadro 10. Media de mínimos cuadrados para la especie sobre el follaje

Especie	$\bar{x} \pm \sigma_x$
Pata de cabra	27,76 ± 8 ^a
Albizia	108,14 ± 24 ^b
Leucaena	37,34 ± 14 ^a
Palo dulce	108,88 ± 15 ^b

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$)

Medias de mínimos cuadrados sobre la ramificación

La densidad baja (8264 plantas/ha) mostró una ramificación significativamente mayor ($P \leq 0,05$) en comparación con las densidades media y alta, con un 46% más de ramificaciones (ver Cuadro 11). En contraste, Razz y Clavero (1995), encontraron que el número de ramificaciones de *Gliricidia sepium* no se vio afectado por densidades de 10000, 5000 y 2500 plantas/ha.

Cuadro 11. Medias de mínimos cuadrados para el tratamiento sobre la ramificación.

Plantas/ha	$\bar{x} \pm \sigma_x$
20, 408	5,52 ± 2 ^a
12, 346	5,27 ± 2 ^a
8, 264	12,51 ± 1 ^b

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$)

La orientación no tuvo un efecto significativo ($P \geq 0,05$) sobre la ramificación de las plantas (ver Cuadro 12). En contraste, López-Gómez et al. (2012), encontraron que en el *Neobuxbaumia tetetzo* la orientación hacia el norte mostró una mayor cantidad de ramas, posiblemente porque desde abajo recibe una cantidad de luz inferior al óptimo.

Cuadro 12. Medias de mínimos cuadrados para la orientación sobre la ramificación.

Orientación	$\bar{x} \pm \sigma_x$
Este-Oeste	5,64 ± 2 ^a
Norte-Sur	9,90 ± 1 ^a

Literales *a* son estadísticamente iguales ($P \geq 0,05$)

Los dos periodos evaluados, primavera y verano, no tuvieron un efecto significativo ($P \geq 0,05$) sobre la ramificación de las plantas (ver Cuadro 13). De manera similar, Aldava (2014) indicó que el número de ramas de *Leucaena leucocephala* no se vio afectado a los 30, 60 y 90 días de evaluación.

Cuadro 13. Medias de mínimos cuadrados para el periodo sobre la ramificación.

Periodo	$\bar{x} \pm \sigma_p$
Abril	7,61 ± 1 ^a
Julio	7,92 ± 1 ^a

Literales *a* son estadísticamente iguales ($P \geq 0,05$)

En las cuatro especies evaluadas (ver Cuadro 14) no se encontraron diferencias significativas ($P \geq 0,05$) en la ramificación de las plantas. Es probable que factores como la distancia entre plantas o la presencia de otras gramíneas en el sistema silvopastoril hayan influido (Ramos-Quirarte et al., 2009; Iraola et al., 2012). Por otro lado, Fernández (2015) señala que, a los 90 días, *Leucaena* mostró un mayor crecimiento en combinación con pasto estrella, posiblemente debido a la menor competencia por espacio, humedad y nutrientes proporcionada por el pasto estrella que crece de manera rastrera. Sin embargo, a los 120 y 150 días, no se observaron diferencias en la asociación utilizada sugiriendo que, a medida que aumenta la competencia por estos factores, el crecimiento de las plantas se vuelve similar.

Cuadro 14. Media de mínimos cuadrados para la especie sobre la ramificación

Especie	$\bar{x} \pm \sigma_p$
Pata de cabra	10,12 ± 1 ^a
Albizia	4,61 ± 4 ^a
Leucaena	8,11 ± 2 ^a
Palo dulce	8,23 ± 2 ^a

Literales *a* son estadísticamente iguales ($P \geq 0,05$)

Medias de mínimos cuadrados sobre el diámetro

Las tres diferentes densidades no tuvieron un efecto significativo ($P \geq 0,05$) sobre el grosor de las plantas (ver Cuadro 15). Sin embargo, Anguiano et al. (2012) informan que, en *Leucaena leucocephala*, la densidad alta la variable diámetro del tallo mostró el valor más alto (1,27 cm) en la densidad alta de 80,000 árboles/ha¹ mostró el mayor diámetro del tallo, con un valor de 1,27 cm; En contraste, Ordoñez (2019) encontró que, para moringa oleífera, la mejor densidad de siembra fue la baja, de 5,000 árboles/ha, que mostró el mayor diámetro del tallo de 3,4 cm.

Cuadro 15. Medias de mínimos cuadrados para el tratamiento sobre el diámetro

Plantas/ha ¹	$\bar{x} \pm \sigma_p$
20,408	1,42 ± 0,1 ^a
12,346	1,48 ± 0,1 ^a
8,264	1,74 ± 0,1 ^a

Literales *a* son estadísticamente iguales ($P \geq 0,05$)

Los periodos Abril y julio del no tuvieron un efecto significativo ($P \geq 0,05$) sobre el diámetro basal de las plantas (ver Cuadro 16). Sin embargo, Petit et al. (2011) informan que, en los arreglos asociados, el mayor

diámetro basal de *Guazuma ulmifolia* se observó con *Leucaena leucocephala* en los meses de julio y octubre, durante la época de lluvias.

Cuadro 16. Medias de mínimos cuadrados para el periodo sobre el grosor

Periodo	$\bar{x} \pm \sigma_p$
Abril	1,55 ± 0,1 ^a
Julio	1,55 ± 0,1 ^a

Literales *a* son estadísticamente iguales ($P \geq 0,05$)

La especie palo dulce fue un 0,54% menos gruesa ($P \geq 0,05$) en comparación con pata de cabra, Albizia y leucaena respectivamente (ver Cuadro 17). En cuanto a la orientación Norte-Sur tuvieron un grosor mayor ($P \leq 0,05$), con 0,65 cm más que las orientadas Este-Oeste (Cuadro 18). No se encontró literatura que respalde estos resultados.

Cuadro 17. Medias de mínimos cuadrados para las especies sobre el grosor

Especies	$\bar{x} \pm \sigma_p$
Pata de cabra	1,83 ± 0,1 ^a
Albizia	1,65 ± 0,3 ^a
Leucaena	1,57 ± 0,2 ^a
Palo dulce	1,14 ± 0,2 ^b

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$)

Cuadro 18. Medias de mínimos cuadrados para la orientación sobre el grosor.

Orientación	$\bar{x} \pm \sigma_p$
Este-Oeste	1,22 ± 0,1 ^a
Norte-Sur	1,87 ± 0,1 ^b

Literales *a, b* son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$)

Medias de mínimos cuadrados sobre la supervivencia

En un arreglo de banco de proteína con tres diferentes densidades de plantación, las leguminosas arbóreas no mostraron diferencias significativas ($P \geq 0,05$) en la supervivencia según el marco de plantación (ver Cuadro 19). Estos resultados coinciden con los de Navas et al. (2000), quienes tampoco encontraron diferencias en la supervivencia entre densidades de 10000, 20000 y 40000 plantas/ha.

Cuadro 19. Medias de mínimos cuadrados para la densidad sobre la supervivencia.

Plantas/ha	$\bar{x} \pm \sigma_p$
20,408	75 ± 2 ^a
12,346	72 ± 2 ^a
8,264	78 ± 2 ^a

Literales *a* son estadísticamente iguales ($P \geq 0,05$)

Las dos orientaciones (ver Cuadro 20) no tuvieron un efecto significativo ($P \geq 0,05$) sobre el porcentaje de supervivencia de las plantas.

Cuadro 20. Medias de mínimos cuadrados para la orientación sobre la supervivencia.

Orientación	$\bar{x} \pm \sigma_x$
Este-Oeste	75 ± 2^a
Norte-Sur	$75 \pm 2a$

Literales *a* son estadísticamente iguales ($P \geq 0,05$)

En los análisis de supervivencia de las cuatro especies de leguminosas arbóreas forrajeras (ver Cuadro 21), se destaca la albizia (*Albizia lebbbeck*) como la especie con el mayor porcentaje de supervivencia, con un 31% más que las otras. Por otro lado, la pata de cabra (*Bauhinia forficata*) mostró la menor supervivencia. Según Téllez (1998), la tasa de supervivencia de una especie es crucial para su éxito como planta exótica en condiciones edafoclimáticas extremas. Una alta tasa de supervivencia contribuye directamente a la conservación y recuperación de suelos en áreas deforestadas, tanto en zonas desérticas como húmedas. Por otro lado, Centeno *et al.* (1994) utilizan cuatro parámetros para evaluar la supervivencia en arboles: 80-100% es calificado como “Muy bueno”; 70-80% como “Bueno”; 40-70% como “Regular”, y menos del 40% como “Mala”. Según esta clasificación, de las especies estudiadas, *Bauhinia forficata* y *Leucaena leucocephala* se consideran con una asupervivencia “Regular”, *Eysenhardtia polystachya* se califica como “Buena”, y *Albizia lebbbeck* tiene una supervivencia “Muy buena”.

Cuadro 21. Media de mínimos cuadrados para la especie sobre la sobrevivencia.

Especie	$\bar{x} \pm \sigma_x$
Pata de cabra	55 ± 1^a
Albizia	98 ± 5^b
Leucaena	67 ± 2^c
Palo dulce	79 ± 3^d

Literales *a, b, c y d* son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$)

El periodo de primavera mostró un aumento del 28% en la tasa de supervivencia (según el Cuadro 22) en comparación con el verano y d invierno del mismo año. Este incremento podrá estar relacionado con la coincidencia de la primavera con la temporada de lluvias, que podría haber favorecido las condiciones de supervivencia.

Cuadro 22. Medias de mínimos cuadrados para el periodo sobre la sobrevivencia.

Periodo	$\bar{x} \pm \sigma_x$
Abril	93 ± 2^a
Julio	62 ± 2^b
Enero	69 ± 2^c

Literales *a, b y c* son estadísticamente diferentes ($P \leq 0,05$)

CONCLUSIONES

En conclusión, el déficit hídrico durante la época de estiaje en el altiplano michoacano afecta significativamente la calidad nutritiva y la producción de biomasa de las praderas nativas, lo que lleva a una alimentación deficiente y baja productividad en las unidades de producción ovina y en el Instituto Tecnológico del Valle de Morelia. Para contrarrestar estos efectos, la implementación de bancos de proteína con leguminosas arbóreas forrajeras surge como una solución efectiva. Esta estrategia no solo mejora la cantidad y calidad de la dieta del ganado, sino que también permite aprovechar los recursos disponibles en la propia parcela, contribuyendo a una mayor sostenibilidad y eficiencia del sistema productivo

La *Albizia lebbbeck* y la *Eysenhardtia polystachya* demostraron una mayor producción de follaje en comparación con otras especies. Esto confirma que la utilización de un banco de proteína mixto, compuesto por leguminosas arbóreas forrajeras, mejora la productividad de follaje en los agroecosistemas. La asociación de estas leguminosas arbóreas contribuye significativamente a la optimización de los recursos forrajeros, lo cual puede ser beneficioso para la alimentación del ganado y la sostenibilidad del sistema.

La supervivencia de las cuatro especies de leguminosas forrajeras estudiadas (*Leucaena leucocephala*, *Eysenhardtia polystachya*, *Albizia lebbbeck* y *Bauhinia forficata*) fue destacada y de éstas la *Albizia lebbbeck* mostró mayor adaptación a las condiciones edafoclimáticas y con ello se manifiesta como una especie exótica ampliamente adaptada a la zona de estudio.

La densidad de siembra baja favoreció un mayor número de hojas y ramificación, posiblemente debido a la menor competencia entre las raíces. Sin embargo, el grosor del tallo y la supervivencia de las especies no se vieron afectados por esta variación en la densidad de siembra.

La tasa de sobrevivencia de las especies de leguminosas arbóreas forrajeras determina su capacidad para adaptarse y establecerse en sistemas silvopastoriles, especialmente en arreglos de bancos de proteína mixtos en climas templados subhúmedos.

LITERATURA CITADA

Aguirre-O., J., Loya-O., L., Gómez-D., A., Martínez-G., S., Ulloa-C., R., Escalera-V., F., Valdés-García, Y., Gómez-G., A. y Carmen-Ramírez, R. 2013. La contribución del sector pecuario a la seguridad alimentaria en México (1.a ed.). Fernando-Casanova-Lugo.

- Anguiano, J. M., Aguirre, J. y Palma, J. M. 2012. Establecimiento de *Leucaena leucocephala* con alta densidad de siembra bajo cocotero (*Cocos nucifera*). Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 46(1):103–107. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193024313017.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 ceiba del ganado bovino (Mestizo Cebú) en la UBPC. [TRABAJO DE DIPLOMA]. Repositorio Institucional - Universidad de Holguín.
- Aldava Navarro, J. 2014. Crecimiento de *Leucaena leucocephala* asociada con *Panicum maximum* y *Brachiaria brizantha* en condiciones semicontroladas. [Informe Técnico de Residencia Profesional]. Repositorio Institucional - Instituto Tecnológico de la Zona Maya.
- Casanova-Lugo, F., Ramírez-Avilés, L. y Solorio-Sánchez, F. J. 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>
- Castro-Rivera, R., Hernández Garay, A., Vaquera Huerta, H., de la Paz Hernández Girón, J., Quero Carrillo, A. R., Enríquez Quiroz, J. F. y Martínez Hernández, P. A. 2012. Comportamiento productivo de asociaciones de gramíneas con leguminosas en pastoreo. Revista fitotecnia mexicana, 35(1):87–95. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000100012
- Centeno Solórzano, M., Herrera A., Z. y Guatemala, M. 1994. Inventario nacional de plantaciones forestales en Nicaragua. Serie silvicultura. Nota técnica (Nicaragua), 1(43):23. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=NI2006004734>
- Chinchilla García, A. B. 2009. Catálogo de plantas aplicadas en la arquitectura Guatemalteca. [TRABAJO DE DIPLOMA]. Repositorio Institucional - Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Comisión Nacional del Agua. 2020. Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. Servicio Meteorológico Nacional. Recuperado 16 de septiembre de 2021, de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- Febles, G. y Ruiz, T. E. 2008. Evaluación de especies arbóreas para sistemas silvopastoriles. Avances en investigación agropecuaria, 12(1):4–27. http://bvirtual.ucol.mx/descargables/433_evaluacion_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]. Repositorio Institucional - Instituto Tecnológico de la Zona Maya.
- González-Valdivia, N. A., Casanova-Lugo, F. y Cetzal-Ix, W. 2016. Sistemas agroforestales y biodiversidad. Revista Agroproductividad, 9(9):56–60. <https://core.ac.uk/download/pdf/249320602.pdf>
- Iraola, J., Muñoz, E., García, Y., Hernández, J. L. y Moreira, E. 2012. Intercalamiento de maíz (*Zea mays*) en un sistema silvopastoril de *Brachiaria híbrido* vc. Mulato y *Leucaena leucocephala* vc. Perú. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 46(3):309–314. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193025294014.pdf>
- López-Gómez, V., Zedillo-Avelleyra, P., Anaya-Hong, S., González-Lozada, E. y Cano-Santana, Z. 2012. Efecto de la orientación de la ladera sobre la estructura poblacional y ecomorfología de *Neobuxbaumia tetetzo* (cactacea). Botanical sciences, 90(4):453–457. https://www.researchgate.net/publication/263672327_Efecto_de_la_orientacion_de_la_ladera_sobre_la_estructura_poblacional_y_ecomorfologia_de_Neobuxbaumia_tetetzo_Cactaceae
- Moreno-López, J. C. 2005. Evaluación de la producción de forraje de *Moringa oleifera* (Lam), *Cnidioscolus aconitifolium* (Mill) L.M. Johnst y *Leucaena leucocephala* (Lam) de wit, para banco proteico en Pacora, San Francisco Libre, Managua. [Trabajo de diploma]. Universidad Nacional Agraria Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente.
- Murgueitio, E., Montagnini, F., Somarriba, E., Fassola, H. y Eibl, B. 2015. Sistemas Agroforestales: Funciones productivas, socioeconómicas y ambientales (1.a ed., Vol. 402). CIPAV. <https://www.catie.ac.cr/attachments/article/638/SAF-func-Produc-SocioeconAmb.pdf>
- Navas, A., Patiño, H., Vargas, J. E., & Estrada, J. 2000. Producción de *Gliricidia sepium* (mataratón) en bancos de alta densidad. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado 15 de octubre de 2021, de

- <https://www.fao.org/publications/card/es/c/e26433aa-6028-53c2-9804-b8f8229063d6/>
- National Research Council. 2007. Nutrient Requirements of Small Ruminants: Sheep, Goats, Cervids, and New World Camelids (1.a ed.). The National Academies. <https://www.nap.edu/catalog/11654/nutrient-requirements-of-small-ruminants-sheep-goats-cervids-and-new>
- Norton, B. W. 1994. *The nutritive value of tree legumes* (1.a ed.). R. C. Gutteridge and H. M. Shelton. <https://www.cabi.org/ISC/abstract/19941400417>
- Nuncio-Ochoa, M., Gómez Ramos, B., Bobadilla Soto, E. E., Nahed Toral, J., Arriaga Jordán, C. y Roman Bravo, R. 2024. Análisis de la sostenibilidad en los sistemas de producción ovina en el Altiplano de Michoacán. Revista ESPAMCIENCIA 15(1):1-11. https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i1.420.
- 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]. Repositorio Institucional - Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica.
- Ordoñez Gerónimo, J. M. 2019. *Efecto de la densidad de siembra sobre el crecimiento de Moringa oleífera lam., en suelos gleisoles aplicos*. [Informe Trabajo de titulación]. Repositorio Institucional - Instituto Tecnológico de la Zona Maya.
- Páez, O. 1991. El cultivo de arroz: densidad de siembra, control de malezas y fertilización. FONAIAP Divulga, 36:26–28. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=279375&pid=S0002-192X201100010000200015&lng=es
- Palma-García, J. M., Nahed Toral, J.y Sanginés García, L. 2010. Alternativas para una reconversión ganadera sustentable (1.a ed.). México. Universidad de Colima.
- Petit Aldana, J., Casanova Lugo, F. y Solorio Sánchez, F. 2011. Rendimiento de forraje de *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleífera* asociadas y en monocultivo en un banco de forraje. Revista Forestal Venezolana, 2(54):161–167. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/32522>.
- Ramos-Quirarte, A., Aguirre, A., Medina, R. F., Camarillo, U. F. J. Y López, L. F. 2009. Evaluación de plantas arbóreas asociadas con pastos para sistemas silvopastoriles en la región central de Nayarit. Revista Computadorizada de Producción Porcina, 16(1):59–63.
- Razz, R. y Clavero, T. 1995. Efecto de la densidad de siembra sobre el patrón de crecimiento en *Gliricidia sepium*. Arch. Latinoam. Prod. Anim, 3(1):11–16.
- SAS/STAT Guide for personal computers. 2012. *Statistical Analysis System (SAS) (9.4) [2012]*. SAS/STAT. https://www.sas.com/en_us/software/stat.html
- Simón, 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. <https://biblioteca.ihatuey.cu/link/nuestraspublicaciones/morera.pdf>
- Sosa-Rubio, E. E., Pérez-Rodríguez, D., Ortega-Reyes, L., y Zapata-Buenfil, G. 2004. Evaluación del potencial forrajero de árboles y arbustos tropicales para la alimentación de ovinos. *Técnica Pecuaria en México*, 42(2):129–144. <https://www.redalyc.org/pdf/613/61342201.pdf>
- Téllez, I. 1998. Comportamiento en sobrevivencia, crecimiento y producción de biomasa seca de treinta especies forestales bajo condiciones de la zona desahogada de Azul, La leona, Leon. Facultad de recursos naturales y del ambiente., 1(6)

