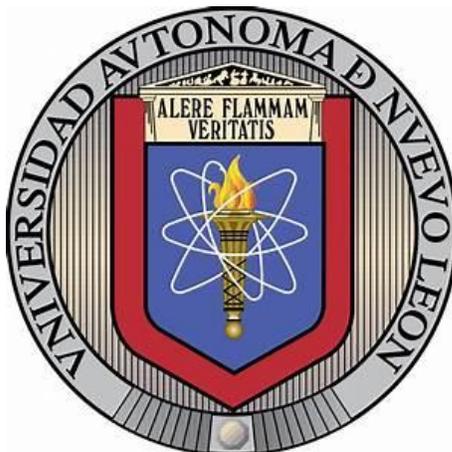


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



AUMENTO EN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS CON PRACTICAS
SILVOPASTORILES

POR:

KARELY ALEJANDRA GARCÍA PULIDO

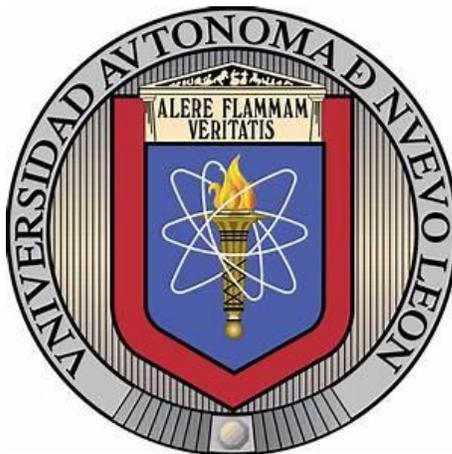
Como requisito parcial para obtener el grado de

MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

Enero, 2025

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



AUMENTO EN LA PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS CON PRACTICAS
SILVOPASTORILES

POR:

KARELY ALEJANDRA GARCÍA PULIDO

Como requisito parcial para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

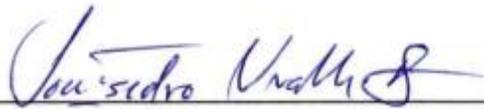
Enero, 2025

AUMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE LOS SUELOS CON PRÁCTICAS
SILVOPASTORILES

Aprobación de tesis



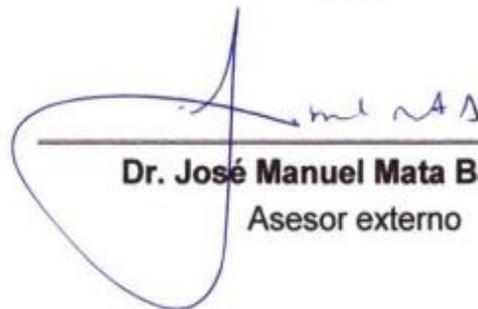
Dr. José Israel Yerena Yamalle
Director



Dr. José Isidro Uvalle Saucedo
Codirector



Dr. Eduardo Alanís Rodríguez
Asesor



Dr. José Manuel Mata Balderas
Asesor externo

Enero 2025

Agradecimientos

Agradezco al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnologías (Conahcyt), por el aporte brindado para la realización de mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma de Nuevo León

A GEMA por el apoyo en la elaboración y reforestación del diseño experimental .

Al Dr. Eduardo Javier Treviño Garza, por la confianza brindada, por su paciencia y sus consejos que fueron de gran importancia en mi formación profesional y personal. Por su gran apoyo en la asesoría y realización de este trabajo, por compartirme sus conocimientos sobre la materia y orientarme.

Al Dr. José Israel Yerena Yamallel por tomar el mando de la dirección en las últimas etapas de la elaboración del trabajo, por su tiempo, dedicación y conocimientos transmitidos.

A los profesores Dr. José Isidro Uvalle Saucedo por su tiempo y transmisión de conocimientos acerca de las materias necesarias para la realización del trabajo

Al Dr. Eduardo Alanís Rodríguez por formar parte de mi comité de tesis.

A mi director externo Dr. José Manuel Mata Balderas, por brindarme su tiempo, apoyarme y orientarme en cada duda que tuviera sobre la realización de este trabajo.

A mis compañeras por apoyarme en todo momento, vivir experiencias inolvidables y darme consejos.

Dedicatorias

A Dios por brindarme la fuerza y la sabiduría para la realización de la tesis, a mis padres por estar presente en cada una de las etapas de la elaboración; a mi padre que siempre estuvo conmigo, en la realización desde cero del diseño experimental por acompañarme a tomar los datos aun y que el clima no presentara las mejores condiciones, a mi madre por siempre estar pendiente de un buen descanso y una buena alimentación.

Índice

| | |
|-----------------------------------|----|
| RESUMEN | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| ANTECEDENTES | 4 |
| JUSTIFICACIÓN..... | 7 |
| HIPÓTESIS | 8 |
| OBJETIVOS | 9 |
| GENERAL:..... | 9 |
| ESPECIFICOS:..... | 9 |
| MATERIAL Y MÉTODOS | 10 |
| Localización | 10 |
| Material y equipo | 11 |
| Descripción de las especies | 13 |
| Ebenopsis ebano..... | 13 |
| Prosopis glandulosa | 13 |
| Senegalia berlandieri | 14 |
| Cordia boissieri | 14 |
| Análisis estadísticos | 18 |
| RESULTADOS | 19 |
| DISCUSIÓN..... | 27 |
| CONCLUSIONES | 30 |
| BIBLIOGRAFÍA | 31 |

Índice de tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Número de individuos plantados por especie. | 17 |
| Tabla 2. Comparación de las alturas y diámetros entre las especies arbóreas. | 25 |
| Tabla 3. Comparación de la altura y diámetro entre <i>Ebenopsis ebano</i> con la asociación a las especies arbustivas y el testigo | 25 |
| Tabla 4. Biomasa total dentro y fuera del área de estudio. | 26 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación del área de estudio..... | 10 |
| Figura 2. Materiales. | 11 |
| Figura 3. Plántulas y herramientas. | 11 |
| Figura 4. Elaboración de cepas. | 12 |
| Figura 5. Área de plantación..... | 12 |
| Figura 6. Área experimental..... | 15 |
| Figura 7. Diseño experimental de la plantación. | 16 |
| Figura 8. Patrón de plantación de las arbustivas y arbóreas. | 16 |
| Figura 9. Herbivoría por fauna silvestre. | 17 |
| Figura 10. Presencia de individuos de conejo..... | 18 |
| Figura 11. Diámetro de la especies arbóreas y arbustivas. | 19 |
| Figura 12. Altura de la especies arbóreas y arbustivas. | 20 |
| Figura 13. Cobertura de la especies arbóreas y arbustivas..... | 20 |
| Figura 14. Altura media de Ebenopsis ebano y su asociación con cada arbustiva (G: guajillo, A: anacahuita)..... | 21 |
| Figura 15. Diámetro medio de Ebenopsis ebano y su asociación con cada arbustiva (G: guajillo, A: anacahuita). | 21 |
| Figura 16. Altura de especies arbóreas. | 22 |
| Figura 17. Diámetro de las especies arbóreas. | 22 |
| Figura 18. Altura de las especies arbustivas. | 23 |
| Figura 19. Diámetro de las especies arbustivas. | 23 |
| Figura 20. Consumo de las especies arbustivas..... | 24 |
| Figura 21. Porcentaje del consumo de las especies..... | 24 |

Lista de símbolos y abreviaturas

SSP : Sistema Silvopastoril.

RESUMEN

Los sistemas silvopastoriles tienen la finalidad de revertir los procesos de degradación provocados en el ambiente por prácticas antropogénicas mal realizadas o por la sobreexplotación de los ecosistemas; cumplen con las características, desde el punto de vista productivo, ecológico, económico y social. Se realizó una plantación de especies arbóreas y arbustivas para incrementar la productividad de los suelos en un predio del ejido La Reforma, perteneciente al municipio de Linares, Nuevo León. El objetivo del estudio fue evaluar el incremento en diámetro y altura de dos especies arbóreas: *Prosopis glandulosa* y *Ebenopsis ebano*, así como la preferencia de consumo de dos especies arbustivas: *Senegalia berlandieri* y *Cordia boissieri* dentro de un sistema silvopastoril. Se monitoreo el crecimiento durante un año, midiendo la altura y el diámetro de los individuos cada dos meses. La especie que mostró mejor adaptación fue *Ebenopsis ebano* con un 35.8% mayor en crecimiento en comparación con *Prosopis glandulosa*. La preferencia de consumo resultó que el ganado vacuno tiene una preferencia hacia la especie *Cordia boissieri* con un 24%, mientras que *Senegalia berlandieri* presento un 20%. La biomasa aérea de los pastos fue superior dentro del área de estudio que el testigo. La implementación de sistemas silvopastoriles en la región resulta de gran ayuda para la restauración de las áreas impactadas por actividades ganaderas, además de que tendrán un área multipropósito para realizar más actividades, obteniendo resultados a corto plazo en cuanto producción de sus tierras.

Palabras clave: *Sistemas silvopastoriles, Ebenopsis ebano, Prosopis glandulosa, Senegalia berlandieri, Cordia boissieri, preferencia de consumo.*

ABSTRACT

Silvopastoral systems have the purpose of reversing the degradation processes caused in the environment by poorly performed anthropogenic practices or by the overexploitation of ecosystems; they comply with the characteristics, from a productive, ecological, economic, and social point of view. A plantation of tree and shrub species was carried out to increase soil productivity on a property in the ejido La Reforma, belonging to the municipality of Linares, Nuevo Leon. The objective of the study was to evaluate the increase in diameter and height of two tree species: *Prosopis glandulosa* and *Ebenopsis ebano*, as well as the consumption preference of two shrub species: *Senegalia berlandieri* and *Cordia boissieri* within a silvopastoral system. Growth was monitored for one year, measuring the height and diameter of the individuals every two months. The species that showed the best adaptation was *Ebenopsis ebano* with 35.8% higher growth compared to *Prosopis glandulosa*. Consumption preference resulted those cattle had a preference for *Cordia boissieri* with 24%, while *Senegalia berlandieri* had 20%. The aerial biomass of the grasses was higher in the study area than the control. The implementation of silvopastoral systems in the region will be of great help for the restoration of areas impacted by livestock activities, in addition will have a multipurpose area to carry out more activities, obtaining short-term results in terms of land production.

Key words: *Silvopastoral systems, Ebenopsis ebano, Prosopis glandulosa, Senegalia berlandieri, Cordia boissieri, consumption preference.*

INTRODUCCIÓN

Los recursos forestales a nivel general son una fuente de servicios, bienes y riqueza, para el hombre, aportan protección, sustento y posibilidad de crecimiento demográfico, además de apertura de tierras de cultivo, obtención de materias primas, entre otras cosas (Velázquez, 2016).

Los sistemas silvopastoriles surgen como respuesta a las necesidades del aumento de la producción animal para los productores ganaderos, anteriormente la producción de animales se veía solo como un sistema económico, actualmente los sistemas silvopastoriles permiten tener, además de este beneficio, un sistema sostenible ambiental y social (Zepeda-Cansino *et al.*, 2016).

Un sistema silvopastoril es una opción de producción animal que combina el ganado con pastos, árboles y arbustos en una mutua interacción por medio de un manejo integral permitiendo que dicha interacción se desarrolle de manera benéfica sobre las especies vegetales y el ganado (Zepeda-Cansino *et al.*, 2016).

Dentro de un sistema silvopastoril se quiere tener una combinación de especies arbóreas que su objetivo principal sea proporcionar sombra al ganado o de igual manera, algún recurso maderable para beneficio del productor, se necesita también el establecimiento de especies forrajeras, llamadas de apoyo que su función es servir como fuente de alimento para el ganado y la introducción de pastos o el desarrollo de los pastos nativos en el sitio como fuente de alimento.

En la actualidad, gracias a la mejora y actualización de la ganadería en términos de producción, competitividad y sus aportes al medio, han hecho que tanto ganaderos como investigadores técnicos agropecuarios despierten interés por las prácticas silvopastoriles (Martínez, 2020).

Se ha demostrado que agregar valores económicos y sociales con el fin de transformar la ganadería a sistemas silvopastoriles en combinación con nuevas técnicas de manejo de animales, agua y suelo, resulta una opción viable a la par de nuevas tecnologías para el desarrollo de dichos sistemas (Martínez, 2020).

ANTECEDENTES

En los últimos años, el cambio climático inducido por causas antropogénicas en conjunto con los procesos naturales ha provocado que se presenten con mayor frecuencia fenómenos como la desertificación. Debido a las necesidades de la población se producen diferentes daños como: la degradación de la cubierta vegetal por la extracción selectiva de especies, la erosión eólica, la salinización incitada por las malas prácticas de cultivo, de igual manera la reducción de materia orgánica en el suelo, el encostramiento y la compactación de este (Alonso, 2011).

Para mitigar los efectos de la degradación es necesario emprender acciones de rehabilitación de ecosistemas y restauración de suelos, ahora bien, la restauración ecológica busca la recuperación de un ecosistema que ha sido degradado por diferentes factores, algunos mencionados anteriormente. Las prácticas de restauración se enfocan en el control de la erosión, la reforestación, la eliminación de las especies invasoras y la maleza, la reintroducción de especies nativas, entre otras (Alonso, 2011).

La responsabilidad de algunos efectos negativos sobre el ambiente se atribuye principalmente a las prácticas ganaderas (Alonso, 2011), por ejemplo, la emisión de los gases de efecto invernadero GEI (metano, óxido de carbono y óxido nitroso), siendo estos unos de los principales protagonistas en el calentamiento global, ocasionando la pérdida de la biodiversidad, el deterioro de los suelos y disminución o incremento de las fuentes de agua. La biodiversidad se ve afectada cuando se sobre pastorean los potreros, cuando se talan árboles para el establecimiento de pastos, transformando así los hábitats naturales por ganadería y cuando se introducen especies vegetales o animales de otro ecosistema porque pueden presentar problemas de adaptación o agresividad, afectando con ello las especies nativas (Libreros, 2015).

La ganadería extensiva hace que la reducción de los pastos sea mayor año con año, una medida para contrarrestar esta baja en la productividad es la

introducción de pastizales en áreas de bosques, sin embargo, se pierden grandes superficies de bosque y además desaparecen especies de fauna silvestre, hoy en día ya existen prácticas en las cuales se puede tener una relación árbol-arbusto-pasto-animal en diferentes modalidades de sistemas silvopastoriles (Alonso , 2011).

Entonces, la mejor manera de evitar estos daños es el diseño de sistemas de producción animal que sean amigables con el ambiente llamados Sistemas silvopastoriles (SSP) (Jiménez-Trujillo & Selpúlveda-López, 2021).

La familia de las leguminosas es una de las más grandes a nivel mundial, es la tercera más diversa, contiene alrededor de 727 géneros y aproximadamente 19,325 especies, cuenta con una amplia distribución en México, en Nuevo León la familia leguminosae tiene 69 géneros y 238 especies nativa representando el 13% de diversidad con respecto a las estimaciones para el país, por ello es una de las familias más importantes para la mejora en la productividad de los suelos, ya que son especies frecuentemente asociadas con bacterias fijadoras de nitrógeno (*Rhizobium leguminosorum*) que tienen la propiedad de fijar el N presente en la atmosfera para posteriormente cederla a las raíces (Estrada *et al.*, 2014). Tres de las cuatro especies empleadas en el experimento pertenecen a esta familia.

La producción de biomasa dentro de un sistema silvopastoril depende en gran medida de las especies que se desarrollan o se establezcan en el área, así como de la densidad, el arreglo espacial y el manejo que se emplee. Se ha demostrado que los pastos asociados con árboles han manifestado mejores rendimientos que los que se encuentran sin asociar (Alonso, 2011).

Para la reversión de los procesos de degradación se han incluido desde los años 90's sistemas agroforestales o silvopastoriles (Sharma *et al.*, 2020), esto implica el utilizar plantas nativas como rompevientos y proteger áreas agrícolas, o complementar con árboles de sombra los pastizales con un doble propósito,

sombra y proveer la posibilidad de obtener maderas comerciales (Felker & Guevara, 2003).

La caracterización de la vegetación y las especies asociadas en la región de Linares ha sido un tema de investigación de diversos autores, otros se han enfocado a el efecto de las practicas silvícolas para el enriquecimiento del matorral (Sarmiento-Muñoz *et al.*, 2015).

El uso de *Prosopis laevigata* y *Ebenopsis ebano* para la producción de carbón fue evaluado por Carrillo-Parra et al. (2013) obteniendo que el mejor valor se obtuvo de la leña de *Ebenopsis ebano*, se necesitan 2.3 m³ para producir una tonelada de carbón y 2.8 m³ para *Prosopis laevigata*. La productividad de biomasa en un sistema convencional de pastoreo comparándolo con un sistema pastoril-silvícola con dos especies *Cynodon plectostachyus* y *Ebenopsis ebano* fue estudiado por Telles-Antonio et al. (2020) en los cuales no se encontraron diferencias significativas entre estos, reportando 7,360 y 7,700 kg, respectivamente, sin embargo, aun y que la disponibilidad de forraje es mayor a mayor densidad de copa, la disponibilidad de forraje es menor bajo copa, esto se le atribuye a la presencia del ganado buscando sombra bajo el dosel.

La adopción de los sistemas silvopastoriles se ve afectada por la falta de apoyos gubernamentales, desconocimiento de los productores debido a que las nuevas generaciones no presentan interés alguno sobre dichas prácticas de manejo (Zepeda-Cancino *et al.*, 2016).

La producción de biomasa de dos especies del matorral: *Ebenopsis ebano* y *Prosopis glandulosa*, fue evaluada por García-Mosqueda et al. (2014) comparando tres densidades de plantación, 2,500, 1,100 y 625 en tres tratamientos 2x2 m, 3x3 m y 4x4 m, en un arreglo espacial de “marco real”, el tratamiento que mostró mejores resultados fue el de *Prosopis glandulosa* 3x3 m con una densidad de 1,100 plantas por hectárea, presentando mejor productividad en comparación con *Ebenopsis ebano* bajo las mismas condiciones ambientales.

JUSTIFICACIÓN

El presente estudio se hace con la finalidad de ampliar el conocimiento del manejo agroforestal, debido a que en la región norte del país no es un tema de interés; de manera general tenemos información referente al manejo de recursos forestales, pero no del manejo agroforestal, de esta manera el objetivo es generar información y experiencias sobre dicho sistema, así como, de su implementación que permitan la restauración de áreas degradadas por prácticas agrícolas y/o ganaderas, además que sea de ejemplo para manejar los ecosistemas que tenemos en nuestro entorno.

HIPÓTESIS

H1: Existen diferencias en el incremento de diámetro y altura entre *Prosopis glandulosa* y *Ebenopsis ebano*.

H2: Las especies arbustivas asociadas a ébano en una plantación influyen en el incremento en altura.

H3: El uso de leguminosas en un sistema silvopastoril incrementa la biomasa de los pastos.

OBJETIVOS

GENERAL:

Evaluar el incremento en diámetro y altura de dos especies arbóreas: *Prosopis glandulosa* y *Ebenopsis ebano*, así como la preferencia de consumo de dos especies arbustivas: *Senegalia berlandieri* y *Cordia boissieri* dentro de un sistema silvopastoril (SSP).

ESPECIFICOS:

- Evaluar el crecimiento de *Ebenopsis ebano* y *Prosopis glandulosa* en un periodo de 12 meses.
- Evaluar el incremento en altura y diámetro de *Ebenopsis ebano* en asociación con dos especies arbustivas: *Senegalia berlandieri* y *Cordia boissieri*.
- Evaluar la preferencia de consumo de dos especies forrajeras: *Senegalia berlandieri* y *Cordia boissieri*.
- Estimar la biomasa aérea de pastos y herbáceas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Localización

El área de estudio se encuentra ubicada en el ejido La Reforma, en Linares, Nuevo León, en el predio “El Ranchito”, se trata de un terreno pastoril silvícola, cuyas coordenadas son 24°41'55" N y 99°33'00" W, en el sureste de la Región Llanura Costera del Golfo Norte (Figura 1).

Ubicación del ejido La Reforma Linares N.L.

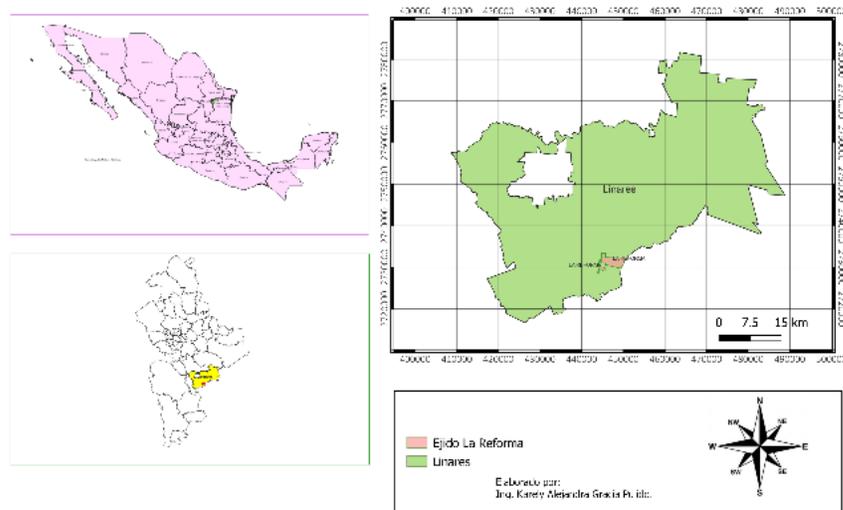


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

El clima representativo de la región es seco y semiseco, se registra una precipitación media anual de 650 mm. La temperatura promedio anual es de 22.4° C con temperaturas mayores a las 40° C en verano e inferiores a 0° C en invierno, las temperaturas de la región son una limitante para la agricultura, sin embargo, el cultivo de maíz, frijol, trigo, avena y cebada se llevan a cabo.

Actualmente el predio tiene un uso pecuario intensivo, con rotación de potreros, el productor cooperante introduce su ganado cada tres o cuatro meses al año, teniendo tres intervenciones anuales de una cantidad aproximada de 15 cabezas de ganado en una superficie de 3 ha, además, existen antecedentes de siembra

de semilla de zacate buffel, dicha práctica se dejó de hacer, con la estimación de la biomasa se comprobará si, aún existen remanentes de dicha especie de pasto o si hay otras especies presentes.

Material y equipo

Para delimitar el área de estudio se utilizó una cinta topográfica de 50 m, estacas de madera y cuerda (Figura 2).



Figura 2. Materiales.

Para la plantación se necesitaron: plántulas, posera, pala, pico y flexómetro (Figuras 3, 4 y 5).



Figura 3. Plántulas y herramientas.



Figura 4. Elaboración de cepas.



Figura 5. Área de plantación.

Descripción de las especies

Ebenopsis ebano, nombre común ébano, es un árbol nativo del noreste de México especialmente del estado de Tamaulipas, Coahuila, Nuevo León y San Luis Potosí, puede llegar a medir hasta 15 m de altura, es de lento crecimiento, pero muy tolerable a temperaturas extremas, esto la convierte en una de las ideales para los proyectos de reforestación y restauración.

Dicho árbol es usado para edificaciones rústicas rurales y en la fabricación de mobiliario, mangos para cuchillos, construcciones marinas, poleas para uso industrial, artículos decorativos, además la producción de carbón es de excelente calidad, en las zonas rurales su producción es abundante ya que esta proporciona forraje y sombra al ganado.

La semilla es consumida en las localidades del norte del país, es conocida como mahuacata, su consumo se basa en comerlas tostadas ya sea maduras o verdes, cuando son maduras puede ser mezclada con café o bien como sustituto de este; también son utilizadas para confeccionar artículos de joyería.

Prosopis glandulosa, nombre común mezquite, es un árbol cuya altura ronda de los 6-12 m, los de mayor altura normalmente se encuentran en donde hay cursos de agua, posee un tronco principal, sin embargo, si este sufre una perturbación ya sea natural o antropogénica, desarrolla múltiples tallos (Illescas *et al.*, 2021).

Se distribuye desde Puebla, Edo. México y Jalisco hasta todo el norte del país incluyendo Baja California y Baja California Sur (Naturalista, 2021), la especie es dominante en mezquiales de Tamaulipas, así como en matorrales asociados a pastizales en Nuevo León (Illescas *et al.*, 2021).

En el norte de México la importancia de la especie es mucha, ya que aprovechan al máximo los productos que se pueden obtener de esta, con las semillas molidas se puede elaborar harina para hacer pan; las vainas y la goma obtenida del tronco son comestibles; en algunos lugares las flores se utilizan para la elaboración de té; la corteza contiene taninos los cuales son útiles en el oficio de curtiduría; es

fijadora de nitrógeno y sus hojas al descomponerse forman parte de la materia orgánica la cual enriquece al suelo; con su madera se elaboran desde muebles, mangos de herramientas, parquet para suelos y carbón o leña.

Las asociaciones de *Prosopis spp.* corresponden a lugares más secos, mientras que *Pithecellobium* está asociado a regiones húmedas (Rzedowski, 2006).

Senegalia berlandieri, nombre común guajillo, es un arbusto nativo de México de la familia Fabaceae, puede llegar a medir hasta 3.5 m de altura, es considerada de establecimiento difícil ya que tarda cuando es por trasplante y por siembra directa su porcentaje de germinación no supera el 12%.

Es tolerante a suelos salinos y es perenne, es comúnmente utilizado como árbol ornamental por ser atractivo y aromático, además se puede utilizar como barrera en paisajes, su establecimiento en grupo resulta atractivo a la vista. Tiene capacidad de atracción por cierta fauna: pájaros, mariposas, pequeños mamíferos, abejas y más insectos.

Cordia boissieri, nombre común anacahuita, es una especie de estrato arbóreo que puede llegar a medir hasta 8 m de altura, es nativa del noreste de México desarrollándose en lomeríos con suelos delgados y pedregosos, su demanda lumínica es alta y su necesidad hídrica es baja, haciéndola tolerante a la sequía; su follaje (con vellosidades) es un excelente filtro biológico el cual funciona como un filtro para capturar las partículas suspendidas y el polvo.

La anacahuita es considerada la flor representativa del estado de Nuevo León, con una belleza escénica inigualable, además de que sus frutos son fuente de alimento para numerosas aves y ganado doméstico.

El área de estudio (Figura 6) cuenta con 2,508 m² (38 x 66 m) dentro de la cual se propuso un diseño experimental en donde se plantaron en líneas dobles de reforestación con cuatro especies nativas: *Prosopis glandulosa*, *Ebenopsis ebano*, *Senegalia berlandieri* y *Cordia boissieri*, de una manera espaciada entre líneas bien definidas con una separación de 7 metros entre cada una; dicha zona

experimental fue excluida con una cerca de 5 hilos, de las áreas de pastoreo libre, lo anterior con la finalidad de evaluar el crecimiento y desarrollo de las especies bajo una capacidad de carga definida de 1 UA.



Figura 6. Área experimental.

El coeficiente de agostadero para el estado de Nuevo León le corresponde 4.3 ha/UA, por lo que se tomó en cuenta el mínimo posible para la evaluación del sitio, debido a que, según COTECOCA (1978) una UA es considerada una vaca adulta y su becerro, estos consumen un 3% de su peso de materia seca diaria aproximadamente, poniendo como ejemplo, un animal que pese 450.00 kg, su consumo diario sería de 13.50 kg de materia seca.

El estudio está conformado por dos tratamientos, el primero, una hilera doble de 20 individuos por línea con dos especies: *Prosopis glandulosa* y *Ebenopsis ebano*, el segundo, plantaciones de hileras dobles multipropósito, con la especie *Ebenopsis ebano* y dos especies arbustivas, una por línea, siendo *Cordia boissieri* y *Senegalia berlandieri*.

El área experimental cuenta con tres líneas dobles de plantación conformadas por especies arbóreas y arbustivas; las dos líneas dobles de los extremos están compuestas por las especies *Ebenopsis ebano*, *Senegalia berlandieri* y *Cordia boissieri*, la línea del centro no presenta especies arbustivas, tiene la conformación de las dos arbóreas *Ebenopsis ebano* y *Prosopis glandulosa*, con la finalidad de ser considerada como el testigo; cada individuo arbóreo esta plantado en marco real a 3 m entre estos, mientras que los individuos arbustivos están a 0.75 m uno del otro entre cada par de las especies arbóreas, llevando a cabo el siguiente patrón: ébano – anacahuita - anacahuita - anacahuita - ébano y ébano - guajillo - guajillo - guajillo - ébano (Figura 7 y 8).

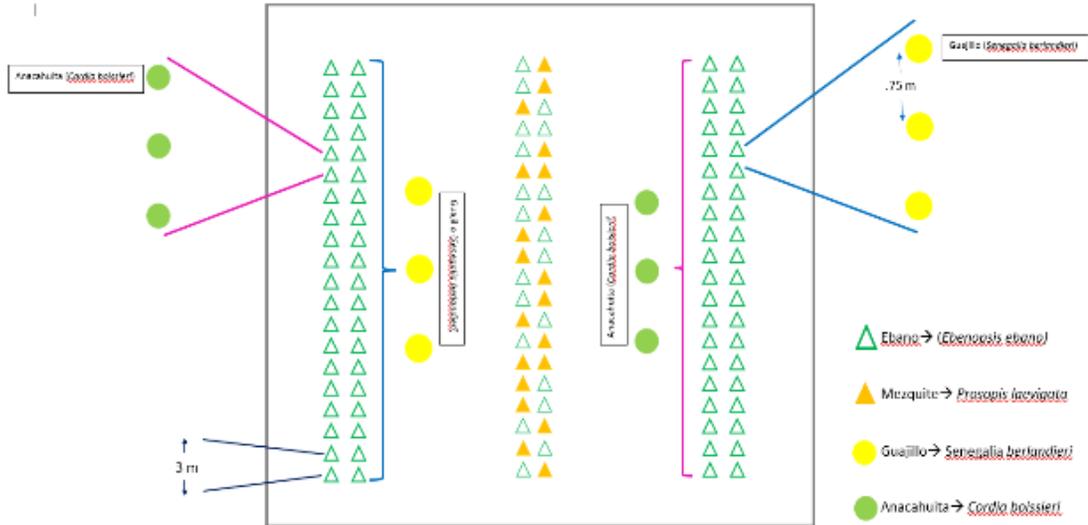


Figura 7. Diseño experimental de la plantación.

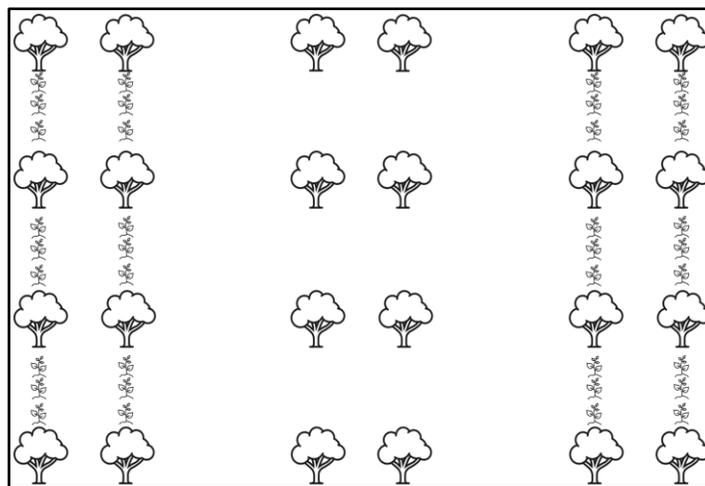


Figura 8. Patrón de plantación de las arbustivas y arbóreas.

En total se evaluaron 348 individuos de cuatro especies (Tabla 1), para determinar cuál es la de mejor adaptación y desarrollo para la implementación en sistemas silvopastoriles en la región. En la literatura consultada, los pocos sistemas silvopastoriles que se desarrollan en la región tienen en su composición el género *Prosopis spp*, sin embargo, en el predio se pudo observar presencia de herbivoría, principalmente de la familia Leporidae (Figura 9 y 10).

Se realizaron seis evaluaciones bimestrales, las variables que se midieron fueron: diámetro (d), altura (h), cobertura (c) de las especies y la biomasa de los pastos asociados al sistema silvopastoril.

Tabla 1. Número de individuos plantados por especie.

| Individuos plantados por especie | |
|---|-------------------------|
| Especie | N° de Individuos |
| <i>Ebenopsis ebano</i> | 100 |
| <i>Prosopis glandulosa</i> | 20 |
| <i>Senegalia berlandieri</i> | 114 |
| <i>Cordia boissieri</i> | 114 |
| Total | 348 |



Figura 9. Herbivoría por fauna silvestre.



Figura 10. Presencia de individuos de conejo.

Por último, se evaluó la biomasa aérea de los pastos y herbáceas establecidos en el sitio experimental de manera natural y los que estaban en condiciones naturales dentro del predio, se muestrearon 16 parcelas de 1 x 1 m teniendo un total de 16 m² para cada condición, en todas las parcelas se realizó un corte a ras de suelo, extrayendo de este, los pastos y herbáceas encontradas para posteriormente colocarlas en bolsas de papel estraza y llevarlas a la Facultad de Ciencias Forestales, para colocarlas en una estufa de secado a 70° por 24 horas, posteriormente se procedió a pesarlas.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos fue utilizado el software IBM SPSS Statistics, se realizaron pruebas de normalidad mediante la prueba de Kolmogórov-Smirnov, para determinar si los datos presentaban normalidad, debido a que no presentaron normalidad se realizaron las pruebas no paramétricas de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis.

RESULTADOS

La variable diámetro mostró una línea de tendencia positiva en el crecimiento de las especies, representando con esto, de manera indirecta un establecimiento exitoso, asociándola como la distintiva en el desarrollo de las especies, la especie arbustiva con mayor diámetro fue *Cordia boissieri* y la arbórea *Ebenopsis ebano* (Figura 11).

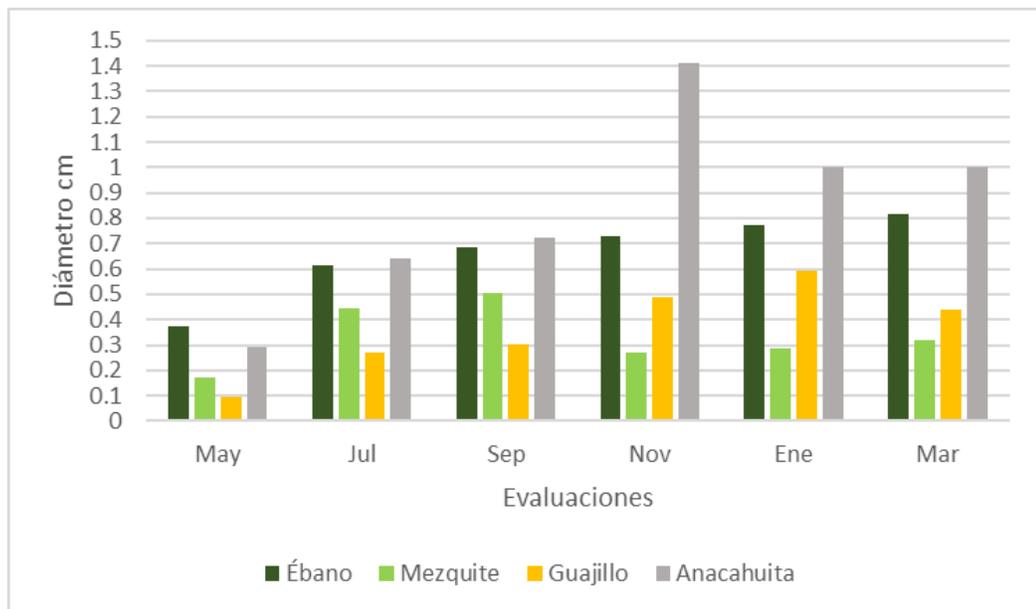


Figura 11. Diámetro de la especies arbóreas y arbustivas.

Respecto a las alturas y las coberturas del total de la plantación mostraron un incremento positivo y estable a nivel población, siendo *Ebenopsis ebano* la especie arbórea con cifras mayores, la especie arbustiva que mostro mejor desarrollo en altura fue *Cordia boissieri*, las coberturas son las que presentaron una desestabilidad mínima, esto debido a que los individuos están en condiciones naturales enfrentando cambios de temperatura, humedad y viento, lo cual ocasiona altas y bajas en su desarrollo (Figura 12 y 13).

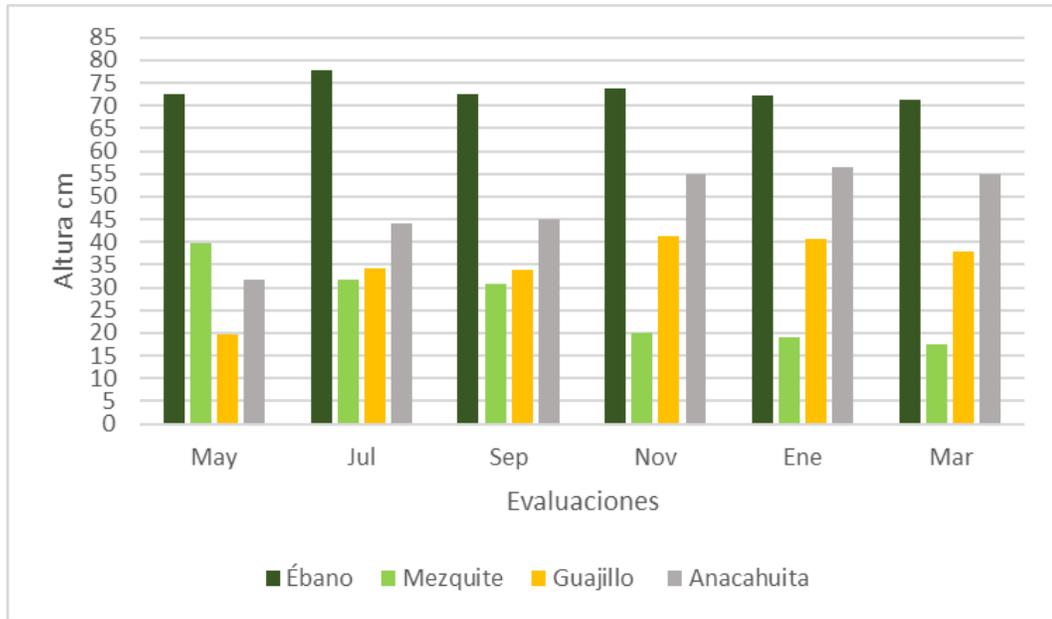


Figura 12. Altura de la especies arbóreas y arbustivas.

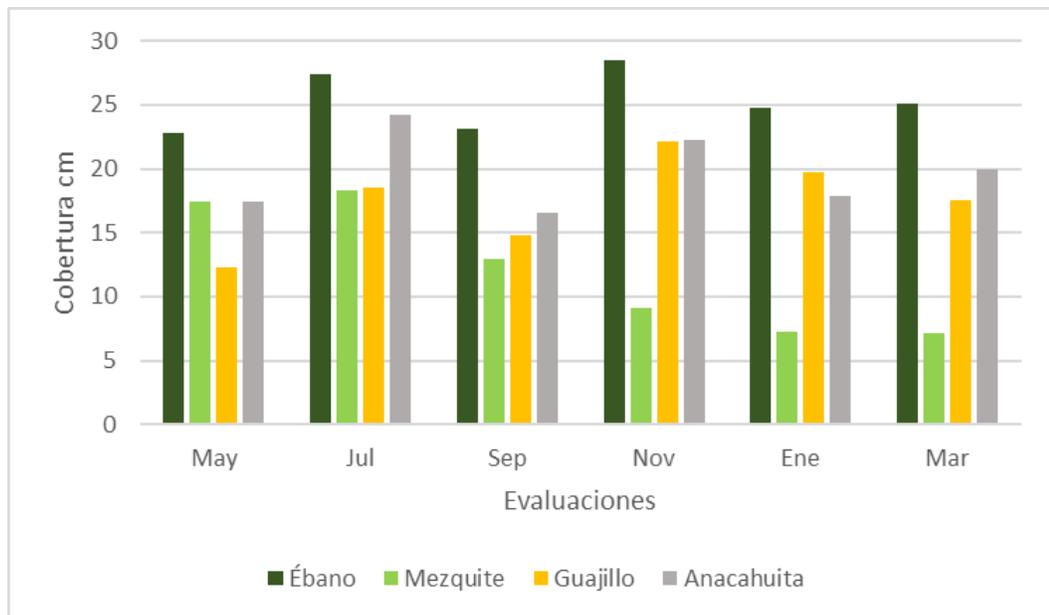


Figura 13. Cobertura de la especies arbóreas y arbustivas.

El desarrollo de la especie *Ebenopsis ebano* de acuerdo con la asociación con las arbustivas *Cordia boissieri* y *Senegalia berlandieri*, con respecto a la variable altura resulto con una variación mínima en el crecimiento entre asociaciones, se obtuvo un promedio de 73.18 y 75.0 cm, respectivamente (Figura 14).

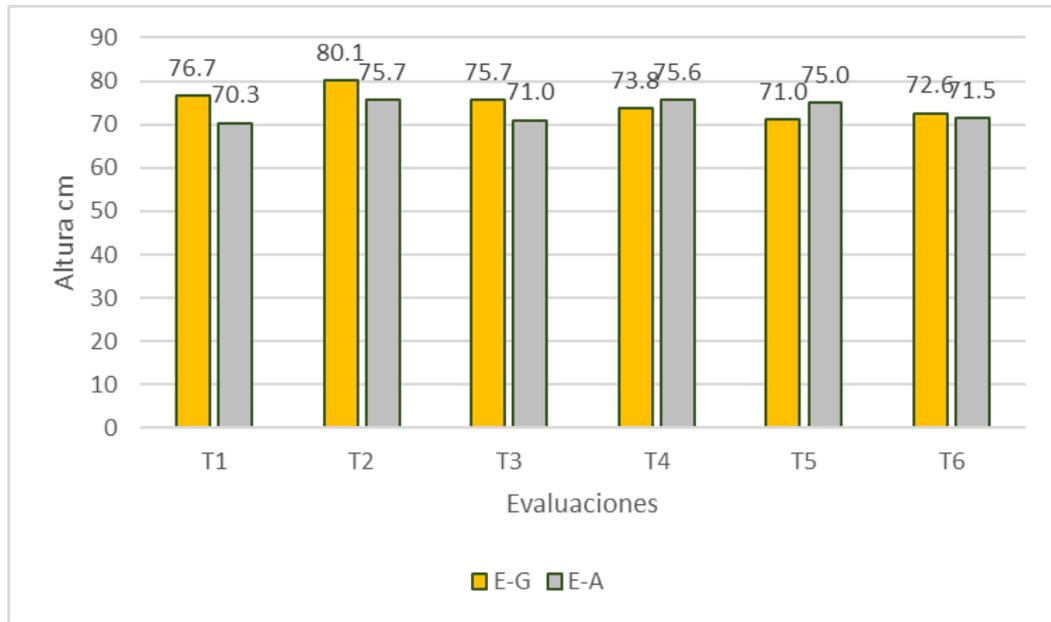


Figura 14. Altura media de *Ebenopsis ebano* en su asociación con cada arbustiva (G: guajillo, A: anacahuita).

De la misma manera la variable diámetro presentó un incremento positivo con ambas asociaciones teniendo un mayor crecimiento con *Senegalia berlandieri* de 0.71 cm promedio y de 0.65 cm para la asociación con *Cordia boissieri* (Figura 15).

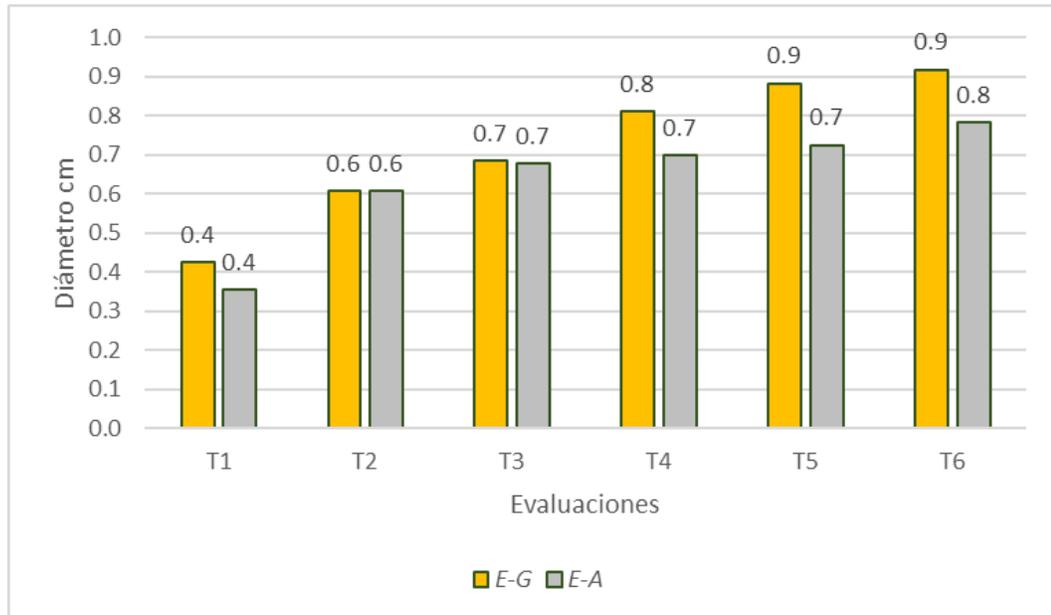


Figura 15. Diámetro medio de *Ebenopsis ebano* en su asociación con cada arbustiva (G: guajillo, A: anacahuita).

Para evaluar el desarrollo de las dos especies arbóreas, se tomó como referencia las variables altura y diámetro, se observó que ambas tuvieron una adaptación positiva en el sitio, sin embargo, *Ebenopsis ebano* resultó con un incremento mayor en altura en comparación con *Prosopis glandulosa*, presentando una diferencia de promedio de 35.78% (25.36 cm), infiriendo que estas diferencias se presentaron por la herbivoría de la fauna silvestre en especial por *Sylvilagus cunicularius* y *Lepus callotis*, influyendo negativamente en el incremento de la altura de los individuos de *Prosopis glandulosa* (Figura 16 y 17).

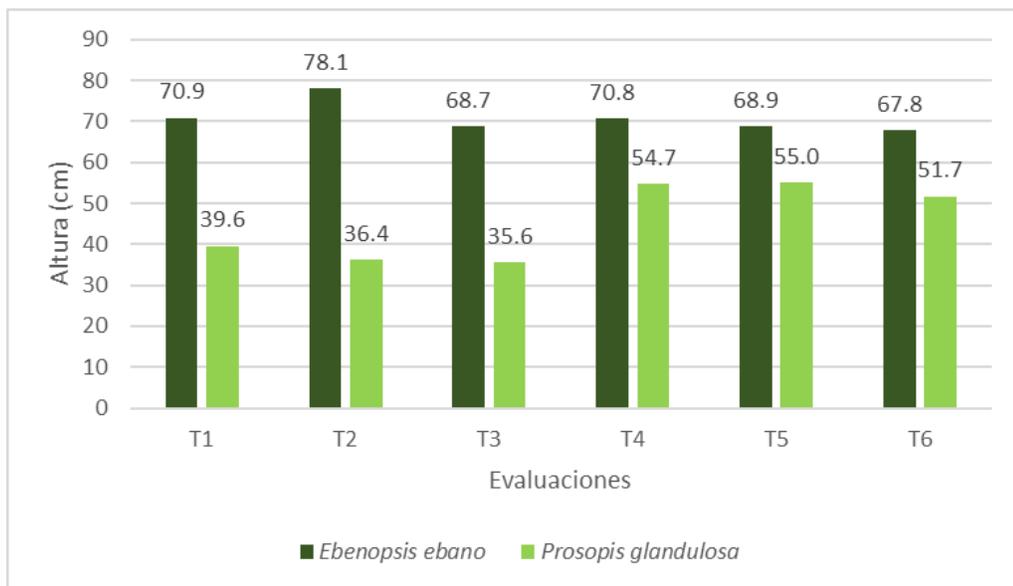


Figura 16. Altura de especies arbóreas.

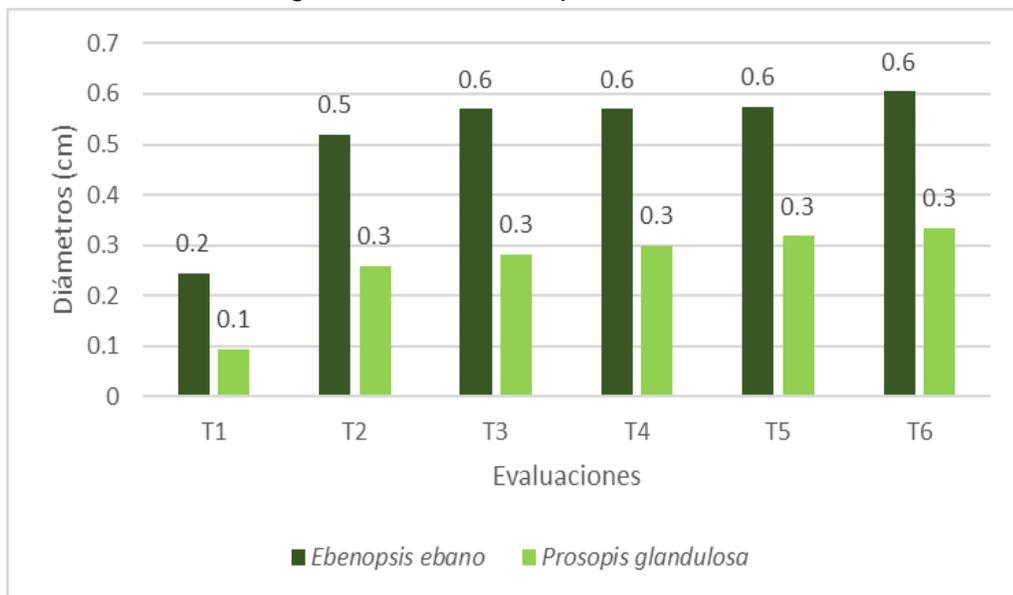


Figura 17. Diámetro de las especies arbóreas.

En cuanto a los datos para las especies de apoyo se obtuvo una línea de tendencia con un enfoque positivo en los diámetros (Figura 18), mayormente para la especie *Cordia boissieri*, de igual manera, se presenta el mismo patrón para la variable altura (Figura 19), mostrando con esto un mejor crecimiento y desarrollo de la especie.

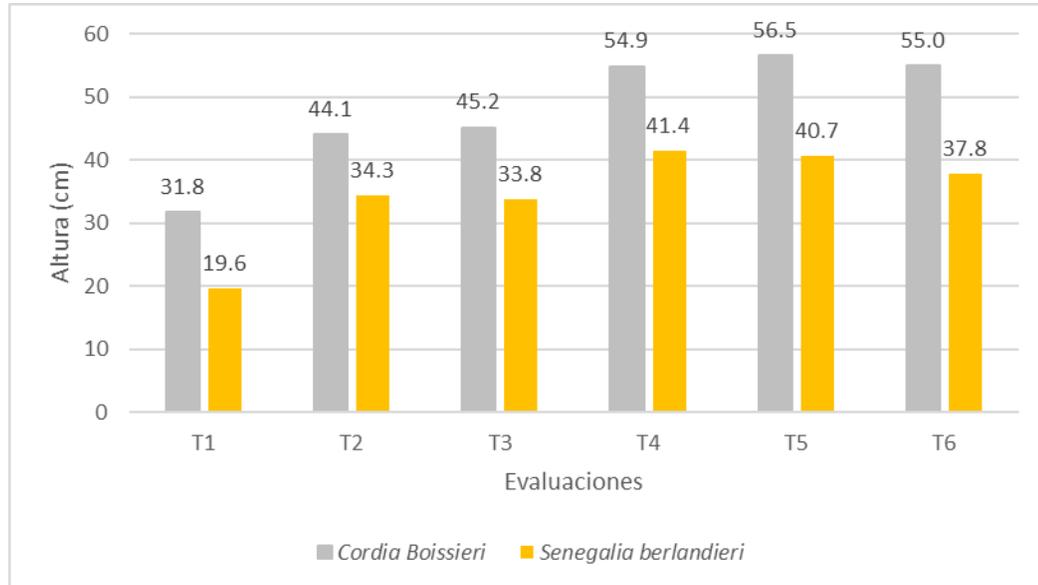


Figura 18. Altura de las especies arbustivas.

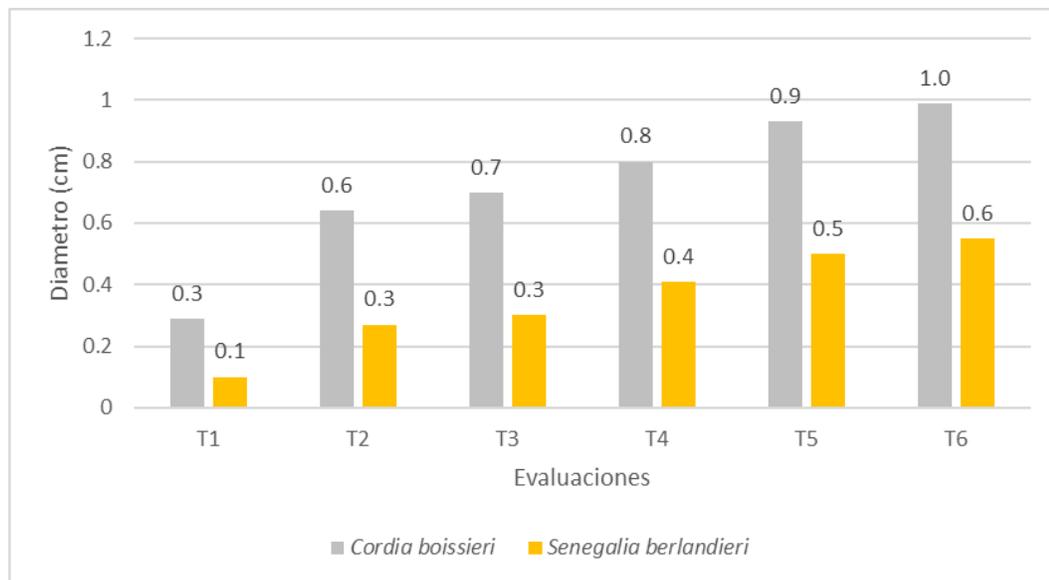


Figura 19. Diámetro de las especies arbustivas.

Mediante las especies de apoyo utilizadas en la plantación se evaluó la preferencia de consumo del ganado, de 114 individuos por especie, el ganado consumió 23 individuos de *Senegalia berlandieri* y 28 individuos de *Cordia boissieri* (Figura 20) equivalente a un 20 y 24.60 % respectivamente (Figura 21), con lo cual se afirma que el ganado tiene una preferencia de consumo por la especie *Cordia boissieri*.

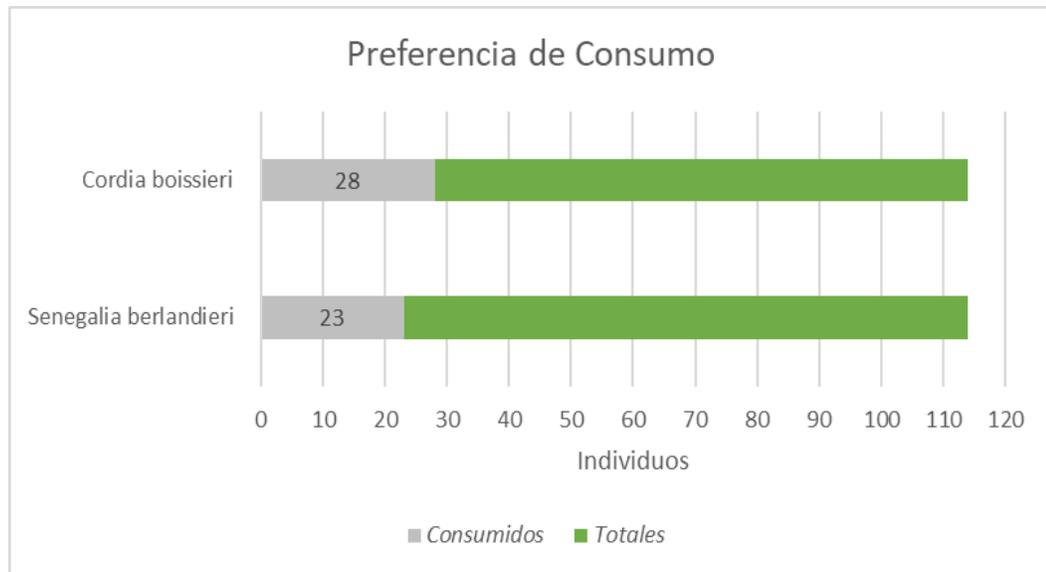


Figura 20. Consumo de las especies arbustivas.

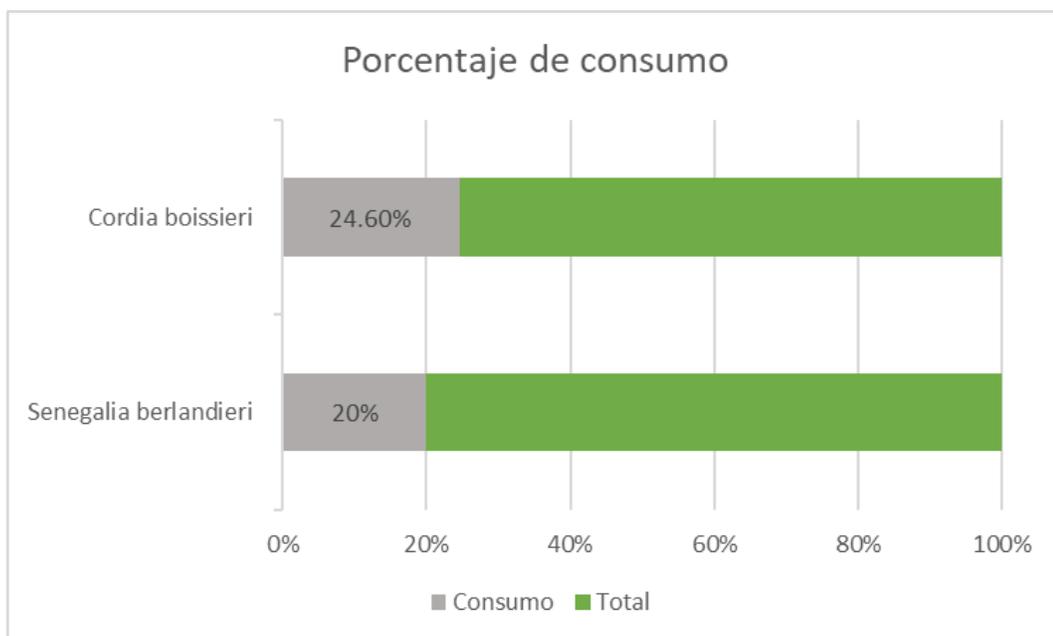


Figura 21. Porcentaje del consumo de las especies.

Para contrastar los incrementos de diámetro y altura entre las especies arbóreas, se realizó una prueba no paramétrica de U de Mann Whitney debido a que los datos no presentaban normalidad, resultando que, si existe diferencia significativa entre los grupos por lo que se acepta la hipótesis nula (Tabla 2).

Tabla 2. Comparación de las alturas y diámetros entre las especies arbóreas.

| | Altura | Diámetro | Cobertura |
|---------------------------------|-------------|-------------|-----------|
| U de Mann-Whitney | 1189.000 | 3530.00 | 2325.000 |
| W de Wilcoxon | 8449.000 | 10670.000 | 9585.000 |
| Z | -11.207 | -6.815 | 9.089 |
| Sig.asintót. (bilateral) | .000 | .000 | .000 |

En la constatación de los diámetros y alturas entre las asociaciones de *Ebenopsis ebano* con las especies de apoyo y el testigo, se procedió a elegir al azar a 20 individuos de los 40 totales para cada asociación además de los 20 individuos del testigo para realizar una prueba de Kruskal-Wallis debido a que los datos no presentaban distribución normal, obteniendo que existen diferencias significativas (Tabla 3), por lo tanto, se acepta la hipótesis nula.

Tabla 3. Comparación de la altura y diámetro entre *Ebenopsis ebano* con la asociación a las especies arbustivas y el testigo.

| | Altura | Diámetro | Cobertura |
|----------------------|-------------|-------------|-----------|
| Chi-cuadrado | 23.996 | 9,345 | 1.155 |
| gl | 2 | 2 | 2 |
| Sig. Asintót. | .000 | .009 | .561 |

Como resultado de la estimación de la biomasa de los pastos y herbáceas, en el área experimental el pasto se desarrolló de una mejor manera, con mayor altura y más uniforme, mientras que en el resto del predio el desarrollo fue menor, en los sitios de muestreo en el área experimental de la plantación se obtuvo un total de 3.22 kg MS, extrapolado a las 0.25 ha son 503.12 kg, y por hectárea es un total de 2,012.52 kg de MS; por otro lado, en el resto del predio el cual se desarrolla de manera natural pero sin un cerco de protección, excediendo la capacidad de carga y desprovisto de especies leñosas tanto arbustivas como

arbóreas, se obtuvo un total de 0.22 kg en los 16 m² del muestreo, 34.59 kg en 0.25 ha y 138.37 kg de MS ha⁻¹ (Tabla 4).

Tabla 4. Biomasa total dentro y fuera del área de estudio.

| | Sitio de muestreo | Resto del predio |
|----------------|-------------------|------------------|
| m ² | Peso Total (kg) | |
| 16 | 3.22 | 0.22 |
| 2,500 | 503.13 | 34.60 |
| 10,000 | 2,012.50 | 138.40 |

El predio cuenta con una superficie de 3 ha, en la cual el productor tiene 15 cabezas de ganado, realiza un sistema de pastoreo rotacional, el ganado permanece dentro del sitio un tiempo aproximado de mes y medio, cuando la disponibilidad de alimento es óptima, posteriormente los animales son trasladados a otro predio con diferente superficie.

De acuerdo con la información obtenida del contenido de biomasa dentro y fuera del sitio experimental se puede inferir que se tiene la capacidad de producir **415.12 kg de MS**, disponible para consumo del ganado bovino en sus condiciones inalteradas como actualmente lo tiene el productor cooperante, sin embargo, si en el predio se establece un manejo apropiado de las especies y se realiza una plantación, se tendría hasta **6,037.56 Kg de MS**.

Una unidad animal consume alrededor del 3% de su peso total diario, si utilizamos como medida estándar **13.5 kg de MS/día**, podemos inferir que con la cantidad de biomasa del sitio en las condiciones que actualmente lo tiene el productor puede mantener el ganado por **dos días** sin exceder la capacidad de carga, ahora bien, si lo comparamos con el modelo experimental, el sitio sería capaz de mantener el mismo número de cabezas de ganado, pero por un tiempo de **28 días** aproximadamente.

DISCUSIÓN

Anteriormente se creía que la tierra tenía tres usos de suelo: agrícola, ganadero y forestal, las actividades agroforestales surgen cuando la combinación de las prácticas agrícola y ganadera se combinan con las forestales, las especies arbóreas tienen la finalidad de aportar forraje, frutos o sombra para el ganado, con esto se mejora la producción de pastos y la condición de vida del ganado (Russo & Botero, 2005). Dichas prácticas son implementadas mayormente en el sur de México y en otros continentes, actualmente en el norte de México se tiene escaso conocimiento, la utilización de especies específicas para cada región es muy importante, en este estudio se eligieron cuatro especies por su distribución, adaptabilidad y resistencia. Para la aplicación de sistemas agroforestales se considera el uso de especies arbóreas como *Leucaena leucocephala* y *Prosopis laevigata* o *glandulosa*, en el estudio se decidió establecer *Ebenopsis ebano* por ser más resistente a la herbivoría de la fauna silvestre, además otros trabajos mencionan que se puede utilizar como productora de carbón, proporcionando una buena calidad del producto (Carrillo-Parra *et al.*, 2013), siendo una alternativa para aprovechamientos futuros, como un plus para los productores.

El uso de la especie *Leucaena leucocephala* no resultó del agrado para el productor cooperante debido a que es considerada como invasora en la región, está catalogada dentro de las 100 especies más invasoras a nivel mundial, además de ser conflictiva para la conservación de la biodiversidad y de difícil erradicación (Vossler & Delucchi, 2022), se optó por la consulta del conocimiento empírico de los productores de acuerdo a su experiencia en campo y se estableció como especies de apoyo a *Senegalia berlandieri* y *Cordia boissieri* debido a que el productor las recomendó por ser más consumidas por el ganado además porque se distribuyen mejor en la zona.

Un sistema silvopastoril en comparación con uno de pastoreo rotacional tiene un mayor rendimiento y porcentaje de crianza, esto es porque la capacidad de carga animal aumenta, debido al incremento de la disponibilidad de alimento. Un

estudio realizado por González (2013) muestra que la capacidad de carga en un tiempo de permanencia de 4 días en temporada de lluvias y 3 días en temporada de seca en condiciones naturales consta de 2.1 UA/ha, mientras que en un sistema silvopastoril aumenta en más de 50% (5.5 UA/ha), en el presente estudio la capacidad de carga es menor, con 1 UA/ha durante 10 días en condiciones naturales, sin embargo, con el SSP es mayor con 15 UA/ha en el mismo periodo de tiempo.

Los sistemas agroforestales no solo deben de ser vistos con un interés económico, como en sus inicios, además de este beneficio tienen múltiples como lo son los servicios ecosistémicos, los cuales nos ayudan en la formación del suelo, nos aportan sombra, sirven como barreras rompevientos y amortiguamiento de huracanes, funcionan para la delimitación de terrenos, incrementan la fertilidad del suelo, regulan y proveen las fuentes de agua, mejoran el microclima, crean un ambiente que es propicio como reservorio de polinizadores, entre muchos otros (Moreno-Calles *et al.*, 2013). En nuestro modelo podemos obtener todos estos, además de proveer una belleza escénica y refugio para la fauna silvestre, la finalidad es implementar los sistemas agroforestales para obtener todos estos beneficios y además poder recuperar las áreas degradadas o abandonadas por los productores por falta de conocimiento acerca del manejo y así convertir los SAF como algo de la vida cotidiana.

García-Mosqueda *et al.* (2014) mencionan que en una plantación de *Ebenopsis ebano* y *Prosopis glandulosa* en el estado de Tamaulipas, establecieron tres densidades de plantación 2,500 ind/ha (2x2 m), 1,100 ind/ha (3x3 m) y 625 ind/ha (4x4 m) con individuos de 5 años de edad, obtuvieron resultados de mejor desarrollo y crecimiento en *Prosopis glandulosa*, contrario a los resultados del presente estudio fue para *Ebenopsis ebano*, ambos están diseñados bajo la misma densidad de plantación, sin embargo, distintas edades de los individuos (5 y 2 años).

Las especies *Prosopis laevigata* y *Ebenopsis ebano* son ecológicamente importante, además presentan una abundancia de 61.18% para un área de matorral espinoso tamaulipeco con actividad ganadera (Velázquez, 2016), *Prosopis laevigata* es una especie preferida por los productores pecuarios especialmente para áreas con actividades pastoril-silvícola, esto mencionado para los individuos considerados árboles adultos (20 - 60 cm de diámetro).

Un sistema agroforestal tiene múltiples beneficios, uno de los principales es el enriquecimiento del suelo por el intercambio de nutrientes, las especies leguminosas son caracterizadas como las más importantes en la fijación de nitrógeno, otra aportación es el albergue para la fauna silvestre como aves e insectos principalmente.

CONCLUSIONES

La especie *Ebenopsis ebano* obtuvo mejor desarrollo y crecimiento en diámetro y altura en comparación con *Prosopis glandulosa*, presentaron diferencias entre las variables confirmando la primera hipótesis.

Ebenopsis ebano resultó con un mejor desarrollo con la asociación de especies arbustivas que solo, obteniendo diferencias significativas entre estas, por tal motivo se acepta la segunda hipótesis.

La preferencia de consumo y el crecimiento fue mayor en la especie *Cordia boissieri* en comparación con los valores de *Senegalia berlandieri*.

La cantidad de biomasa generada fue superior en el área experimental a la del resto del predio, pudiendo concluir que el modelo de plantación y el establecimiento de especies nativas resulta efectivo para el desarrollo de los pastos establecidos en los predios, por lo cual, la tercera hipótesis se comprueba.

El modelo experimental realizado es positivo de acuerdo con los resultados obtenidos para los predios de la región, por tal motivo se recomienda para aquellos que compartan características similares.

El desarrollo de las especies en altura resultó efectivo, sin embargo, se recomienda el establecimiento de individuos de mayor altura en las futuras plantaciones para prevenir la herbivoría en el caso de *Prosopis glandulosa*, además que esto llevaría a un crecimiento más rápido.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, J. (2011). Los sistemas silvopastoriles y su contribución al medio ambiente. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 45(2), 107-115. <https://biblat.unam.mx/hevila/Revistacubanadecienciaagricola/2011/vol45/no2/1.pdf>
- Carrillo-Parra, A., Foroughbakhch-Pournavab, R., & Bustamante-García, V. (2013). Calidad del carbón de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. y *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & J.W. Grimes elaborado en horno tipos fosa. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(17), 62-71.
- COTECOCA Comisión Técnica Consultiva para la determinación de los Coeficientes de Agostadero. (1978). Coeficientes de agostadero del estado de Nuevo León.
- Estrada, C.E., Delgado, S.A., & Villarreal, Q.J.Á. (2014). Leguminosas de Nuevo León, México. México: Instituto de Biología UNAM. https://www.researchgate.net/publication/264557847_Leguminosas_de_Nuevo_Leon_Mexico
- Felker, P., & Guevara, J.C. (2003). Potential of commercial hardwood forestry plantations in arid lands an economic analysis of *Prosopis* lumber production in Argentina and the United States. *Forest Ecology and Management*, 186(1–3), 271–286.
- García-Mosqueda, G. (2014). Biomasa de dos especies de matorral en tres densidades de plantación en Tamaulipas, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 10(2), 52-59.
- González, J.M. (2013). Costos y beneficios de un sistema silvopastoril intensivo (SSPI), con base en *Leucaena leucocephala* (Estudio de caso en el municipio de Tepalcatepec, Michoacán, México). *Investigación Agropecuaria*, 17(3), 35-50.
- Illescas, E., Rodríguez, D.A., Villanueva, A., Borja, M.A., Ortega, L.A., & Ordoñez, V. (2021). *Prosopis glandulosa* Torr. (Fabaceae). RNGR. <http://Prosopis%20glandulosa%20Torr.%20-Fabaceae.pdf>

- Jiménez-Trujillo, J.A., & Sepúlveda-López, C. (2021). Sistemas silvopastoriles y buenas prácticas para la ganadería sostenible en Oaxaca. Obtenido de Alianza MéxicoREDD+. https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00MVFC.pdf
- Libreros, J.H.F. (2015). Revista semillas. Obtenido de Sistemas silvopastoriles: opción para la mitigación y adecuación al cambio climático en bosque seco tropical: <https://semillas.org.co/es/revista/sistemas-silvopastoriles-opc>.
- Martínez, V.F. (2020). Info patos y forraje. Obtenido de Sistemas Silvopastoriles (SSP): <https://infopastosyforrajes.com/tipo-de-sistema-silvopastoril/sistema-silvopastoril-intensivo/>
- Moreno-Calles, A.I., Toledo, V.M., & Casas, A. (2013). Los sistemas agroforestales tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*, 91(4), 375-398.
- Naturalista. (2021). <https://www.naturalista.mx/taxa/58160-Prosopis-glandulosa> (Consultado el 19 de octubre de 2023)
- Sarmiento-Muñoz, T.I., Alanís-Rodríguez, E., Mata-Balderas, J.M., Jiménez-Pérez, J., & Treviño-Garza, E.J. (2015). Caracterización del arbolado de un sistema pastroil-silvícola del matorral submontano, México. *Ciencia UANL*, 18(72), 54-61.
- Russo, R.O., & Botero, R. (2005). El componente arbóreo como recurso forrajero en los sistemas silvopastoriles. *Producción Animal*, 1-8.
- Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. Ira. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 504 pp. https://www.biodiversidad.gob.mx/publicaciones/librosDig/pdf/Vegetacion_Mx_Cont.pdf.
- Sharma, B.M. (2020). Effect of silvopastoral systems on biodiversity and the provision of ecosystem services in tropical agro-landscapes. *Org.co*. <https://lrrd.cipav.org.co/lrrd32/11/ana32184.html>
- Telles-Antonio, R., Rosales-Mata, S., García-García, D.A., Saucedo-Reta, L., & Villalon-Mendoza, H. (2020). Productividad de biomasa en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Montemorelos, Nuevo León, México. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, 16(2), 55-60.
- Velázquez, P.A.C. (2016). Análisis de la estructura forestal de comunidades semiáridas en el noreste de México. 1Library.co.

<https://1library.co/document/yeo7487q-analisis-estructura-forestal-comunidades-semiaridas-noreste-mexico.html>

Vossler, F.G., & Delucchi, G. (2022). *Leucaena leucocephala* (Fabaceae), especie invasora en la Argentina. Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, 57(4), 1-10.

Zepeda-Cancino, R.M., Velasco-Zebadúa, M.E., Nahed-Toral, J., Hernández-Garay, A., & Martínez-Tinajero, J.J. (2016). Adopción de sistemas silvopastoriles y contexto sociocultural de los productores: apoyos y limitantes. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 7(4), 471-488.