







# Potencial forrajero de soya (*Glycine max*) en monocultivo y sistemas agroforestales con *Guazuma ulmifolia* y *Tabebuia rosea*

## Forage potential of soybean (*Glycine max*) in monoculture and agroforestry systems with *Guazuma ulmifolia* and *Tabebuia rosea*

Jonathan Raúl Garay-Martínez<sup>1</sup>, Erika Andrea Hernández<sup>2</sup>, Julio César García-Rodríguez<sup>1</sup>, Lorenzo Danilo Granados-Rivera<sup>3</sup>, Jorge Alonso Maldonado-Jáquez<sup>4</sup>, Fernando Lucio-Ruiz<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Las Huastecas. INIFAP. Carretera Tampico-Mante, km 55, Estación Cuauhtémoc, Altamira, Tamaulipas, México. C.P. 89610. garay.jonathan@inifap.gob.mx (J.R. G.-M); garcia.juliocesar@inifap.gob.mx (J.C. G.-R);

<sup>2</sup>Campo Experimental La Posta. INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba, km 22.5, Paso del Toro, Medellín de Bravo, Veracruz, México. C.P. 94277. hernandez.erika@inifap.gob.mx (E. A.-H.).

<sup>3</sup>Campo Experimental General Terán. INIFAP. Carretera Montemorelos-China, km 31, General Terán, Nuevo León, México. C.P. 67400. granados.danilo@inifap.gob.mx (L.D. G.-R)

<sup>4</sup>Campo Experimental La Laguna. INIFAP. Blvd. José Santos Valdéz No. 1200 Pte. Matamoros, Coahuila, México. C.P. 27440. maldonado.jorge@inifap.gob.mx (J.A.M.-J)

<sup>5</sup>Campo Experimental San Luis. INIFAP. Carretera San Luis Potosí-Matehuala, km 14.5, Palma de la Cruz, San Luis Potosí, México. C.P. 78432. lucio.fernando@inifap.gob.mx (F.L.-R). \*Autor para correspondencia: lucio.fernando@inifap.gob.mx

**RESUMEN:** La soya (*Glycine max* L.) representa una alternativa forrajera relevante en sistemas tropicales por su alta producción de biomasa y alto contenido de proteína; sin embargo, su desempeño varía según el sistema de producción. El objetivo fue evaluar el potencial forrajero de la soya Huasteca 200 en monocultivo y en sistemas agroforestales con *Guazuma ulmifolia* y *Tabebuia rosea*. El experimento se estableció en condiciones de temporal, comparando tres sistemas. Se midió la altura de planta, rendimiento de materia verde total (RMVT) y de materia seca total (RMST), así como rendimiento por componente morfológico (hoja, tallo y vaina), su proporción y calidad nutritiva (proteína cruda y fibra cruda). El análisis estadístico se realizó mediante un diseño de bloques completos al azar, complementado con un análisis de componentes principales. El monocultivo registró

los mayores rendimientos de RMVT (23.73 t ha<sup>-1</sup>) y RMST (6.95 t ha<sup>-1</sup>), superando a los sistemas agroforestales, donde se observaron reducciones de hasta 62 % en la biomasa. No obstante, la asociación con *G. ulmifolia* presentó el mayor contenido de proteína cruda (164 g kg<sup>-1</sup>) y mayor proporción de hoja (68 %), indicando mejor valor nutritivo. El sistema con *T. rosea* mostró valores menores de rendimiento y calidad. El análisis multivariado evidenció un patrón de compensación entre la cantidad y la calidad. En conclusión, el monocultivo maximiza la biomasa, mientras que la asociación con *G. ulmifolia* mejora la calidad nutritiva, lo que sugiere su potencial en sistemas agroforestales.

**PALABRAS CLAVES:** Producción de biomasa, materia seca total, valor nutritivo

**ABSTRACT:** Soybean (*Glycine max* L.) represents a relevant forage alternative in tropical systems due to its high biomass production and protein content; however, its performance varies depending on the production system. The objective of this study was to evaluate the forage potential of soybean Huasteca 200 under monoculture and agroforestry systems with *Guazuma ulmifolia* and *Tabebuia rosea*. The experiment was conducted under rainfed conditions, comparing three production systems. Plant height, total green matter yield (TGMY), total dry matter yield (TDMY), yields by morphological components (leaf, stem, and pod), their proportions, and nutritive quality (crude protein and crude fiber) were measured. Statistical analysis was performed using a randomized complete block design, complemented by principal component analysis. Monoculture recorded the highest TGMY (23.73 t ha<sup>-1</sup>) and TDMY (6.95 t ha<sup>-1</sup>), outperforming agroforestry systems, where biomass reductions of up to 62 % were observed. However, the association with *G. ulmifolia* showed the highest crude protein content (164 g kg<sup>-1</sup>) and leaf proportion (68 %), indicating improved nutritive value. The *T. rosea* system showed lower values for both yield and quality. Multivariate analysis revealed a trade-off between forage quantity and quality. In conclusion, monoculture maximizes biomass production, while association with *G. ulmifolia* improves nutritive quality, suggesting its potential in agroforestry systems.

**KEYWORD:** Biomass production, total dry matter, nutritive value

## INTRODUCCIÓN

La producción de forrajes de calidad constituye un componente estratégico para mejorar la eficiencia de los sistemas pecuarios, particularmente en regiones tropicales y subtropicales, donde la disponibilidad y valor nutritivo del alimento fluctúan a lo largo del año. En este contexto, la soya (*Glycine max* L.) ha sido ampliamente reconocida no solo como cultivo oleaginoso, sino también como alternativa forrajera debido a su elevada producción de biomasa y alto contenido de proteína cruda, lo que la convierte en un recurso potencial para sistemas de alimentación

animal (Aponte *et al.*, 2015; Garay-Martínez *et al.*, 2021).

Sin embargo, los sistemas de monocultivo, aunque eficientes en la producción de biomasa, presentan limitaciones relacionadas con la sostenibilidad, uso intensivo de recursos y la resiliencia frente a condiciones ambientales adversas. En este sentido, los sistemas agroforestales han surgido como una alternativa viable al integrar especies arbóreas con cultivos agrícolas, lo que permite mejorar el uso de los recursos, favorecer la biodiversidad y generar microclimas que pueden modificar la productividad y calidad del forraje (Jose *et al.*, 2004; Ripamonti *et al.*, 2025). No obstante, la interacción árbol-cultivo implica procesos de competencia por luz, agua y nutrientes, que pueden afectar negativamente el rendimiento del cultivo asociado, dependiendo de la especie arbórea, su arquitectura y disposición espacial del sistema (Ong *et al.*, 2002).

Diversos estudios han demostrado que el sombreado generado por los árboles puede reducir la acumulación de biomasa en cultivos asociados; sin embargo, también puede inducir cambios en la asignación de biomasa y composición química del forraje, favoreciendo, en algunos casos, un incremento de la concentración de proteína cruda y mayor proporción de tejidos foliares (Cheng *et al.*, 2022; Poorter *et al.*, 2012). Esta relación evidencia un compromiso entre la producción de biomasa y calidad del forraje, en el que las reducciones en el rendimiento pueden compensarse con mejoras en el valor nutritivo, lo cual resulta especialmente relevante en sistemas pecuarios de bajo consumo de insumos.

Las especies arbóreas como *Guazuma ulmifolia* y *Tabebuia rosea* son comunes en sistemas tropicales y presentan características contrastantes en términos de arquitectura de copa y dinámica de crecimiento, lo que puede generar efectos diferenciados en el cultivo asociado. Sin embargo, existe información limitada sobre su impacto específico en la producción y calidad del forraje de soya en sistemas agroforestales, especialmente en las condiciones del noreste de México.

Se planteó la hipótesis de que la asociación de soya (*Glycine max* L.) con especies arbóreas genera respuestas contrastantes, en las que el monocultivo maximiza la acumulación de biomasa, mientras que

la asociación arbórea favorece atributos relacionados con el valor nutritivo del forraje. Por lo anterior, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar el potencial forrajero de soya (*Glycine max* L.) variedad Huasteca 200 en monocultivo y en sistemas agroforestales con *Guazuma ulmifolia* y *Tabebuia rosea*, considerando variables de rendimiento, composición morfológica y calidad nutritiva del forraje.

## METODOLOGIA

### Descripción y localización del experimento

El estudio se realizó de julio a octubre de 2025, en condiciones de temporal, en el Ejido El Paisajito, Aldama, Tamaulipas, México. Ubicado en las coordenadas geográficas 22° 52' 31.66" N y 97° 56' 38.19" O, a 18 m s. n. m. El clima se clasifica como semicálido subhúmedo con lluvias en verano [(A)C(w<sub>1</sub>)] y las condiciones de temperatura y precipitación durante el desarrollo del experimento se presentan en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Temperaturas máximas (T. Máx.) y mínimas (T. Mín.) y precipitación durante el ciclo de cultivo durante 2025.

Variable	jun	jul	ago	sep	oct
T. Máx. (°C)	37	38	39	38	36
T. Mín. (°C)	17	18	22	18	17
Precipitación (mm)	137	90	57	175	103

### Tratamientos y manejo agronómico

Para esta evaluación se utilizó soya [*Glycine max* (L.) Merr.] variedad Huasteca 200, caracterizada por su alta capacidad de producción de biomasa. Los tratamientos evaluados consistieron en: soya en monocultivo (SMO), soya en sistema agroforestal con *Tabebuia rosea* (STR) y soya en sistema agroforestal con *Guazuma ulmifolia* (SGU) (Figura 1).

En el sistema de monocultivo, la siembra se estableció en surcos separados a 0.80 m, con una densidad aproximada de 250,000 plantas ha<sup>-1</sup>. En los sistemas agroforestales, la disposición espacial consistió en franjas alternadas de cultivos y árboles, bajo un arreglo de una hilera de árboles seguida de cuatro hileras de soya de manera sucesiva. Debido a esta configuración, la densidad de población de la soya se ajustó a aproximadamente 200,000 plantas ha<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>, manteniendo el mismo distanciamiento entre surcos (0.80 m), pero reduciendo el número de plantas por unidad de superficie en función del espacio ocupado por las hileras arbóreas. Este diseño permitió evaluar el efecto de la asociación arbórea sobre el desempeño productivo y valor nutritivo del forraje de soya.



**Figura 1.** Arreglos experimentales en soya (*Glycine max*): monocultivo (SMO) y sistemas agroforestales con *Tabebuia rosea* (STR) y *Guazuma ulmifolia* (SGU).

La siembra se realizó el 23 de julio de 2025, estableciendo el cultivo en surcos separados a 0.80 m, bajo las densidades previamente descritas para cada sistema de producción. La fertilización se efectuó 30 días después de la siembra (DDS), coincidiendo con el primer cultivo, mediante la aplicación de 100 kg

ha<sup>-1</sup> de fosfato monoamónico (MAP, 11-52-00). Durante el ciclo de cultivo no se registró incidencia de plagas ni enfermedades, por lo que no fue necesaria la aplicación de productos fitosanitarios. El control de malezas se realizó de forma mecánica.

### **Evaluación de rendimiento y valor nutritivo de forraje**

Previo a la cosecha, se midió la altura de planta (AP; cm) en 10 plantas seleccionadas al azar por unidad experimental, desde el nivel del suelo hasta el punto más alto de la planta. La unidad experimental consistió en un surco de dos metros lineales. En cada unidad experimental, se cosechó el forraje completo a una altura de 20 cm sobre el nivel del suelo y se registró el peso en verde del material cosechado. Posteriormente, se tomó una submuestra representativa de aproximadamente 500 g, la cual se pesó y se separó en sus componentes morfológicos: hoja, tallo y vaina (valvas + semillas). Cada componente se colocó en bolsas de papel kraft y se secó en una estufa de aire forzado a 65 °C hasta alcanzar peso constante; posteriormente, las muestras se volvieron a pesar y se molieron para su análisis químico en el laboratorio. Con base en esta información, se realizaron las estimaciones correspondientes para el rendimiento de materia verde total (RMVT; t ha<sup>-1</sup>), rendimiento de materia seca total (RMST; t ha<sup>-1</sup>), rendimiento por componente morfológico, así como la proporción relativa de cada uno de ellos (%), mediante la metodología descrita por Garay-Martínez *et al.* (2021).

El contenido (g kg<sup>-1</sup>) de proteína cruda (PC) y fibra cruda (FC) se determinó en el laboratorio mediante los métodos oficiales establecidos por la AOAC (2019), utilizando el método Kjeldahl para la cuantificación del nitrógeno total (AOAC 984.13) y su conversión a proteína cruda (6.25), así como el método de fibra cruda (AOAC 978.10).

### **Análisis estadístico**

El experimento se estableció bajo un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Para el análisis estadístico se efectuó un análisis de varianza y, posteriormente, la comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ), debido a que permite realizar comparaciones múltiples posteriores al ANOVA controlando el error tipo I en diseños balanceados. Todos los procedimientos estadísticos se

ejecutaron mediante el modelo GLM del programa SAS (SAS Institute, 2009). El análisis multivariado se realizó mediante un análisis de componentes principales (ACP) a partir de variables estandarizadas, con el fin de eliminar los efectos de escala. Se generó un biplot para visualizar la relación entre los tratamientos y las variables, así como la contribución de estas a la variabilidad total. El análisis se efectuó en Python utilizando librerías especializadas para análisis estadístico y visualización de datos (Jolliffe, 2002; Pedregosa *et al.*, 2011).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados confirmaron que la asociación de soya Huasteca 200 con especies arbóreas modificó significativamente las variables productivas, aunque la AP no mostró diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p = 0.0783$ ; Cuadro 2). Esta respuesta sugiere que la altura es menos sensible que la producción de biomasa ante condiciones de competencia, lo cual ha sido reportado en sistemas intercalados donde el sombreado afecta en mayor medida la acumulación de materia seca que el crecimiento en altura (Cheng *et al.*, 2022).

El RMVT disminuyó significativamente en los sistemas asociados, con reducciones del 46 % en SGU y del 62 % en STR respecto a SMO. De forma similar, el RMST se redujo en 42 % y en 61 %, respectivamente (Cuadro 2). Estas disminuciones pueden atribuirse a la competencia por luz, agua y nutrientes en los sistemas agroforestales, donde la intercepción de radiación por el componente arbóreo limita la fotosíntesis y, por ende, la acumulación de biomasa (Sgarbossa *et al.*, 2018). Asimismo, se ha documentado que la reducción de la radiación fotosintéticamente activa disponible es uno de los principales factores que condicionan el rendimiento de cultivos asociados en sistemas agroforestales (Jose *et al.*, 2004).

El rendimiento de hoja, tallo y vaina siguió la misma tendencia, siendo mayor en monocultivo, lo que indica que la competencia interespecífica afectó tanto el crecimiento vegetativo como el reproductivo. Sin embargo, la menor reducción observada en la asociación con *G. ulmifolia* sugiere que esta especie genera condiciones menos restrictivas que las de *T. rosea*, posiblemente debido a diferencias en la arquitectura de la copa, densidad de follaje y

competencia por recursos, factores clave en la interacción árbol-cultivo (Ong *et al.*, 2002).

En cuanto a la calidad nutritiva, la proteína cruda aumentó significativamente en la asociación con *G. ulmifolia*, 21 % respecto al monocultivo (Cuadro 2).

Este comportamiento puede explicarse por la mayor proporción de hojas en este tratamiento, ya que dicho componente presenta mayores concentraciones de nitrógeno.

**Cuadro 1.** Comparación del rendimiento y valor nutritivo de soya Huasteca 200 en monocultivo y en sistemas agroforestales con *Tabebuia rosea* y *Guazuma ulmifolia*.

Variable	Soya Monocultivo	Soya + <i>Tabebuia rosea</i>	Soya + <i>Guazuma ulmifolia</i>	Valor-P
Altura de planta (cm)	80 a	69 a	74 a	0.0783
RMVT (t ha <sup>-1</sup> )	23.73 a	9.02 c	12.74 b	< 0.0001
RMST (t ha <sup>-1</sup> )	6.95 a	2.74 c	4.00 b	< 0.0001
RH (t ha <sup>-1</sup> )	4.13 a	1.62 c	2.72 b	< 0.0001
RT (t ha <sup>-1</sup> )	2.00 a	0.65 b	0.80 b	0.0002
RV (t ha <sup>-1</sup> )	0.65 a	0.47 b	0.48 b	0.0408
PC (g kg <sup>-1</sup> )	136 b	135 b	164 a	< 0.0001
FC (g kg <sup>-1</sup> )	258 a	262 a	263 a	0.3819

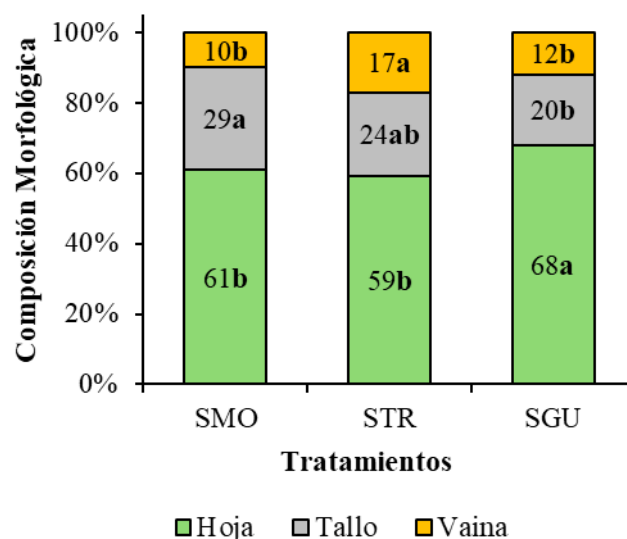
RMVT: rendimiento de materia verde total; RMST: rendimiento de materia seca total; RH: rendimiento de hoja; RT: rendimiento de tallo; RV: rendimiento de vaina; PC: proteína cruda; FC: fibra cruda. Literales diferentes dentro de la fila (a, b, c) indican diferencia estadística significativa (Tukey;  $\alpha = 0.05$ ).

Además, en condiciones de sombreado moderado, se ha reportado un incremento de la concentración de nitrógeno foliar debido a una menor dilución por la biomasa estructural (Dollinger y Jose, 2018). Por otro lado, la asociación con *T. rosea* no mostró mejoras en este parámetro, lo que evidencia que el efecto sobre la calidad depende de la especie arbórea asociada.

La fibra cruda no presentó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que sugiere que la fracción estructural del forraje no fue afectada de manera significativa por los sistemas de producción (Cuadro 2). Esto coincide con reportes donde el sombreado moderado no modifica de manera consistente los contenidos de fibra en cultivos forrajeros (Buxton y Fales, 1994). En conjunto, estos resultados evidencian un compromiso entre rendimiento y calidad nutritiva, en el que el monocultivo maximiza la producción de biomasa, mientras que la asociación con *G. ulmifolia* incrementa el contenido de proteína.

La composición morfológica del forraje mostró cambios en la distribución de la biomasa aérea (Figura 2). La mayor proporción de hoja en la asociación con *G. ulmifolia* indica una respuesta adaptativa al sombreado, orientada a maximizar la

captación de luz mediante el incremento del área foliar (Poorter *et al.*, 2012).



**Figura 2.** Composición morfológica de soya Huasteca 200 en monocultivo (SMO) y en sistemas agroforestales con *Tabebuia rosea* (STR) y *Guazuma ulmifolia* (SGU). Literales diferentes por componente morfológico indican diferencia estadística significativa (Tukey;  $\alpha = 0.05$ ).

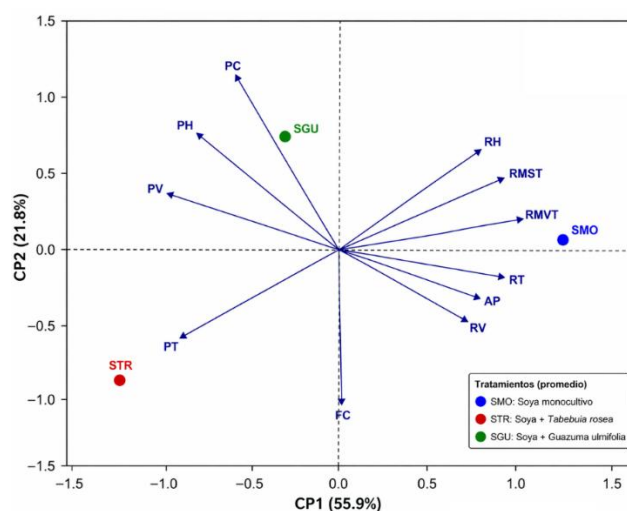
En contraste, la mayor proporción de tallo en el monocultivo refleja una mayor disponibilidad de

radiación, lo que favorece el desarrollo estructural. Por su parte, el incremento de la proporción de vainas en la asociación con *T. rosea* sugiere un ajuste en la asignación de biomasa hacia estructuras reproductivas bajo condiciones de competencia, como mecanismo de persistencia (Weiner, 2004).

El ACP evidenció que los dos primeros componentes explicaron el 77.7 % de la variabilidad total (CP1 = 55.9 % y CP2 = 21.8 %), lo que indica una adecuada representación de la estructura multivariada del sistema (Figura 3). Este nivel de explicación es consistente con estudios agronómicos en los que el ACP permite sintetizar la variabilidad de múltiples variables productivas y de calidad en pocos ejes interpretables (Jolliffe, 2002; Yan y Kang, 2003). El CP1 estuvo dominado por variables de rendimiento (RMVT, RMST, hoja, tallo, vaina y AP), lo que definió un gradiente asociado a la magnitud de la producción de biomasa, por ende, sugiere que la variación principal entre tratamientos estuvo determinada por la capacidad productiva del cultivo (Figura 3). Este patrón coincide con lo reportado en sistemas de cultivos asociados, donde las variables de rendimiento suelen concentrar la mayor proporción de la variabilidad total debido a su alta sensibilidad a factores de competencia y disponibilidad de recursos (Lithourgidis *et al.*, 2011).

Por su parte, el CP2 se asoció con variables de calidad y composición estructural, destacando la PC y la proporción de hoja en sentido positivo, y la proporción de tallo y la fibra cruda en sentido negativo (Figura 3). Este eje refleja un gradiente de calidad nutritiva, en el que mayor proporción de hoja se relaciona directamente con incrementos en el contenido de proteína, mientras que una mayor proporción de tallo se asocia con incrementos en la fracción fibrosa. Esta relación ha sido ampliamente documentada en forrajes, donde la calidad nutritiva depende en gran medida de la proporción de fracciones foliares, caracterizadas por su mayor actividad fotosintética y por su contenido celular, en comparación con las estructuras de sostén, como los tallos (Buxton y Fales, 1994; Godina-Rodríguez *et al.*, 2025). En este contexto, la ubicación del tratamiento SMO en la región positiva del CP1 confirma su asociación con mayor producción de biomasa, lo cual es coherente con la ausencia de

competencia interespecífica y con mayor disponibilidad de recursos.



**Figura 3.** Biplot del análisis de componentes principales de variables productivas, morfológicas y de calidad de soja (*Glycine max* L.) bajo sistemas de monocultivo (SMO) y agroforestales con *Guazuma ulmifolia* (SGU) y *Tabebuia rosea* (STR). AP: altura de planta; RMVT: rendimiento de materia verde total; RMST: rendimiento de materia seca total; RH: rendimiento de hoja; RT: rendimiento de tallo; RV: rendimiento de vaina; PH: proporción de hoja; PT: proporción de tallo; PV: proporción de vaina; PC: proteína cruda; FC: fibra cruda.

En contraste, el tratamiento SGU se posicionó en valores positivos del CP2, lo que evidencia mayor calidad del forraje, caracterizada por incremento de la proteína cruda y de la proporción de hoja. Este comportamiento sugiere que la asociación con *Guazuma ulmifolia* favorece la calidad sobre la cantidad, posiblemente mediante efectos de sombreado moderados que inducen cambios en la asignación de biomasa y en la concentración de nitrógeno en los tejidos (Cheng *et al.*, 2022; Poorter *et al.*, 2012).

Por otro lado, el tratamiento STR se ubicó en la región negativa de ambos componentes, lo que indica un desempeño limitado tanto en productividad como en calidad (Figura 3). Esta respuesta puede estar asociada a un mayor grado de competencia por recursos o a condiciones de sombreado más restrictivas, que reducen simultáneamente la acumulación de biomasa y calidad del forraje. En sistemas agroforestales, se ha documentado que la intensidad de la competencia

depende en gran medida de la especie arbórea y de su arquitectura, lo que puede generar efectos contrastantes en el cultivo asociado (Jose *et al.*, 2004).

En conjunto, el ACP permitió identificar un patrón claro de compensación funcional entre la cantidad y calidad del forraje, donde el monocultivo maximiza la producción de biomasa, mientras que ciertos sistemas agroforestales, particularmente aquellos asociados a *G. ulmifolia*, favorecen atributos de calidad nutritiva. Este tipo de relaciones ha sido reportado en sistemas mixtos, donde la diversificación del sistema productivo puede conducir a una redistribución de recursos y a cambios en la eficiencia en su uso (Lithourgidis *et al.*, 2011).

## CONCLUSIONES

Las asociaciones agroforestales con soya (*Glycine max* L.) modificaron su rendimiento y valor nutritivo, lo que evidencia su viabilidad en sistemas agrícolas integrados. En particular, la asociación con *Guazuma ulmifolia* incrementó el valor nutritivo del forraje, al favorecer mayor proporción foliar y contenido de proteína cruda, aunque con reducciones en la biomasa total. En contraste, el monocultivo de soya maximizó el rendimiento, con menor valor nutritivo. En conjunto, la integración agroforestal con *Guazuma ulmifolia* podría representar una alternativa viable cuando el objetivo es incrementar la calidad del forraje, ajustando el arreglo y densidad arbórea para equilibrar la producción y el valor nutritivo. Además, estos resultados aportan información relevante para el diseño de sistemas pecuarios más sostenibles en regiones tropicales y subtropicales, al favorecer estrategias de producción forrajera con mayor eficiencia en el uso de los recursos y mejor calidad nutritiva del alimento.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Sr. Ángel Roque Aguilar por permitirnos realizar la evaluación en su predio. Asimismo, a la MVZ María Guadalupe Vélez y a la MVZ Consuelo Domínguez López, por las

facilidades brindadas durante la conducción de este estudio.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## ORCID DE LOS AUTORES

-  
<https://orcid.org/0000-0002-7197-3673>  
<https://orcid.org/0000-0002-3927-811X>  
<https://orcid.org/0000-0001-8950-0172>  
<https://orcid.org/0000-0002-8502-4612>  
<https://orcid.org/0000-0001-8173-1048>  
<https://orcid.org/0000-0001-5171-0027>

## REFERENCIAS

- AOAC International. (2019). *Official methods of analysis of AOAC International* (21st ed.). AOAC International. <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis-21st-edition/>
- Aponte, A., Valencia-Chin, E., & Beaver, J. (2015). Biomass and nutritive value of forage soybean lines (*Glycine max* L. Merr.) in northwestern Puerto Rico. *The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico*, 99(1), 19–36. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v99i1.2524>
- Buxton, D. R., & Fales, S. L. (1994). Plant environment and quality. In G. C. Fahey Jr. (Ed.), *Forage quality, evaluation, and utilization* (pp. 155–199). ASA-CSSA-SSSA. <https://doi.org/10.2134/1994.foragequality.c4>
- Cheng, B., Wang, L., Liu, R., Wang, W., Yu, R., Zhou, T., Ahmad, I., Raza, A., Jiang, S., Xu, M., Liu, C., Yu, L., Wang, W., Jing, S., Liu, W., & Yang, W. (2022). Shade-tolerant soybean reduces yield loss by regulating its canopy structure and stem characteristics in the maize-soybean strip intercropping system. *Frontiers in Plant Science*, 13, 848893. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.848893>
- Dollinger, J., & Jose, S. (2018). Agroforestry for soil health. *Agroforestry Systems*, 92, 213–219. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0223-9>
- Garay-Martínez, J. R., Maldonado-Moreno, N., Ascencio-Luciano, G., Joaquín-Cancino, S., Bautista-Martínez, Y., & Granados-Rivera, L. D. (2021). Potencial forrajero de líneas experimentales de soya (*Glycine max*).

- Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 8(Especial II), e2332. <https://era.ujat.mx/rera/article/view/2932>
- Godina-Rodríguez, J. E., Lucio-Ruiz, F., Garay-Martínez, J. R., Orzuna-Orzuna, J. F., & Joaquín-Cancino, S. (2025). Producción y valor nutricional de forraje de pasto Mulato II cosechado a diferente intervalo e intensidad de corte. *Revista Bio Ciencias*, 12, e1902. <https://doi.org/10.15741/revbio.12.e1902>
- Jolliffe, I. T. (2002). *Principal component analysis* (2<sup>nd</sup> ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/b98835>
- Jose, S., Gillespie, A. R., & Pallardy, S. G. (2004). Interspecific interactions in temperate agroforestry. *Agroforestry Systems*, 61, 237–255. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000029002.85273.9b>
- Lithourgidis, A. S., Dordas, C. A., Damalas, C. A., & Vlachostergios, D. N. (2011). Annual intercrops: An alternative pathway for sustainable agriculture. *Australian Journal of Crop Science*, 5(4), 396–410.
- Ong, C. K., Wilson, J., Deans, J. D., Mulayta, J., Raussen, T., & Wajja-Musukwe, N. (2002). Tree-crop interactions: Manipulation of water use and root function. *Agricultural Water Management*, 53(1–3), 171–186. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00163-9](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00163-9)
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., VanderPlas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825–2830.
- Poorter, H., Niklas, K. J., Reich, P. B., Oleksyn, J., Poot, P., & Mommer, L. (2012). Biomass allocation to leaves, stems and roots: Meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, 193(1), 30–50. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x>
- Ripamonti, A., Finocchi, M., Pulina, A., Franca, A., Seddaiu, G., Turini, L., Mele, M., & Mantino, A. (2025). Effects of tree presence on forage yield and nutritive value in agroforestry livestock systems: A global systematic review. *Agroforestry Systems*, 99, 110. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01214-8>
- Sgarbossa, J., Schwerz, F., Elli, E. F., Tibolla, L. B., Schmidt, D., & Caron, B. O. (2018). Agroforestry systems and their effects on the dynamics of solar radiation and soybean yield. *Comunicata Scientiae*, 9(3), 492–502. <https://doi.org/10.14295/CS.v9i3.2765>
- Weiner, J. (2004). Allocation, plasticity and allometry in plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 6(4), 207–215. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00083>