

## Comportamiento forrajero del estrato herbáceo en diferentes densidades arbóreas de selva baja caducifolia

Raúl Ramírez-Contreras<sup>1</sup>  
Alejandro Lara-Bueno<sup>1</sup>  
Miguel Uribe-Gómez<sup>1§</sup>  
Artemio Cruz-León<sup>2</sup>  
Dante Arturo Rodríguez-Trejo<sup>3</sup>  
Guadalupe Montserrat Valencia Trejo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5. Chapingo, México. (ingraulramirez@gmail.com; alarab.11@hotmail.com; gmvalenciatrejo@gmail.com). <sup>2</sup>Posgrado en Desarrollo Rural Regional-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, México. (etnoagronomia1@gmail.com). <sup>3</sup>Posgrado en Ciencias Forestales-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, México. (dantearturo@yahoo.com).

§Autor para correspondencia: migueluribe123@gmail.com.

### Resumen

La sombra de los árboles proyectada sobre el estrato herbáceo que crece bajo el dosel representa para los ganaderos un efecto no deseado para la producción de forrajes en el sistema silvopastoril. Con el objetivo de determinar la producción de materia seca y la composición florística del estrato herbáceo con diferente cantidad de radiación fotosintéticamente activa, se seleccionaron tres parcelas con baja densidad arbórea (BDA; 50 a 200), moderada densidad arbórea (MDA; 201 a 350) y alta densidad arbórea (ADA; 350 a 500) árboles ha<sup>-1</sup>. En cada parcela se estimó la radiación fotosintéticamente activa (RFA) que incide en el estrato herbáceo y se determinó la producción de materia seca (MS) de las herbáceas forrajeras presentes durante 15 semanas de la estación lluviosa. La intensidad de luz bajo el dosel y la producción de biomasa forrajera herbácea en BDA, MDA y ADA fue 8 594, 6 437 y 3 801 MJ m<sup>2</sup> año<sup>-1</sup> y 2 859, 1 988 y 1 679 kg de MS ha<sup>-1</sup>, respectivamente. El número de especies herbáceas en BDA, MDA y ADA fue 38, 48 y 27, respectivamente, aunque las especies dominantes, con más de 80% de la composición botánica, fueron solo seis. Se concluye que la densidad arbórea modifica la cantidad de luz que incide en el estrato herbáceo, afectando la producción de biomasa y la composición florística de las herbáceas forrajeras que crecen bajo el dosel arbóreo en un sistema silvopastoril tradicional en la selva baja caducifolia.

**Palabras clave:** biomasa forrajera, estrato herbáceo, intensidad lumínica, sierra de Huautla, silvopastoreo.

Recibido: febrero de 2020

Aceptado: abril de 2020

## Introducción

La necesidad de reducir los insumos agrícolas sin pérdida significativa de productividad requiere del rediseño de los sistemas de producción (Jamar *et al.*, 2015). Los sistemas agroforestales pueden contribuir a alimentar la creciente población de una manera sostenible (Groeneweg, 2018). Los beneficios de mezclar especies herbáceas con las leñosas en los sistemas agroforestales dependerán de las interacciones específicas entre los componentes del sistema (Lovell *et al.*, 2018).

Las especies vegetales arbóreas y herbáceas frecuentemente compiten en tiempo y espacio por los insumos naturales de producción: luz, agua y nutrientes (Yu *et al.*, 2015; Hong *et al.*, 2017). La radiación solar es el principal factor que afecta la fotosíntesis y los rendimientos de los sistemas agroforestales (Jose *et al.*, 2008). La cantidad y calidad de la radiación solar que incide en el estrato herbáceo se ven afectadas por numerosos factores: especies arbóreas, altura del árbol, arquitectura del dosel, índice del área foliar, hora del día y día del año, ubicación (latitud, longitud) y exposición al sol de la superficie de acuerdo con la pendiente (Burner *et al.*, 2018).

Al optimizar la interacción pastura-árbol se puede mejorar la productividad de la tierra, aunque el manejo del sistema puede ser más complejo debido a que las interacciones entre los componentes de un sistema silvopastoril incluyen cambios en el microclima asociado a la pastura, de los cuales, los más notorios son la intensidad lumínica y la calidad de la radiación solar que llega al componente herbáceo a través del dosel arbóreo. La luz solar que intercepta el follaje arbóreo afecta la cantidad y calidad forrajera de las especies herbáceas que crecen bajo la influencia del dosel arbóreo y modifican la composición botánica de los potreros (Cruz *et al.*, 1999; Burner *et al.*, 2018).

Las pasturas tropicales, con predominio de plantas C4, alcanzan su máxima producción con niveles altos de intensidad lumínica (Jose *et al.*, 2008). Sin embargo, se han reportado valores de materia seca comparables o incluso superiores cuando los pastos están asociados con árboles, comparado con pasturas de gramíneas puras (Cruz *et al.*, 1999).

Estos aumentos, se han obtenido en condiciones de sombra moderada en rango de 30 a 40%. Aunque, la disponibilidad de la MS total y el valor nutritivo de las herbáceas forrajeras, con frecuencia son inferiores bajo la copa de los árboles (Ribaski, 2000). En otros casos, la producción de materia seca es afectada por la sombra, pero no el valor nutritivo del forraje (Pentón *et al.*, 1998). Los árboles en los potreros cumplen funciones importantes dentro de los sistemas ganaderos y proveen productos y servicios eco-sistémicos (Ribaski y Menezes, 2002).

Lo más importante para los ganaderos es la sombra que los árboles proporcionan a los animales, así como, para obtener leña y recursos económicos por venta de madera o frutos. Sin embargo, el sombreado de los árboles puede afectar la productividad de los pastos, principalmente, en condiciones de ADA, cuando las leñosas son de copas densas porque éstas tienen mayor capacidad de interceptación de la radiación solar necesaria para el óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas que conforman el estrato herbáceo (Jose *et al.*, 2008).

Los sistemas silvopastoriles se han desarrollado para mejorar la calidad y el rendimiento de los pastizales por medio de la interacción entre especies herbáceas y arbóreas forrajeras (Bellow y Nair, 2003). De este modo, la asociación de gramíneas con leñosas contribuye a mejorar la productividad de la tierra tanto en la producción de carne como de leche (Clavero, 2011). Sin

embargo, en los sistemas silvopastoriles la productividad del estrato herbáceo puede estar condicionada por la cobertura de las copas de los árboles que, por interferencia, limita la cantidad de luz que llega al estrato herbáceo (Gargaglione *et al.*, 2014).

En este sentido, como alternativa para mejorar la producción de MS del estrato herbáceo es conveniente el establecimiento de especies de pastos tolerantes a cierto nivel de sombreado (Gargaglione *et al.*, 2015). La interceptación parcial de la luz solar por el follaje arbóreo modula la radiación fotosintéticamente activa y la intensidad de luz que llega al estrato herbáceo afectando la morfología y crecimiento de las plantas que crecen bajo el dosel, Fassola *et al.* (2006) reportaron que la interceptación de la RFA en el dosel, promueve un incremento de la acumulación de forraje máximo de los pastos cuando se tiene 40% de sombra para después descender hasta alcanzar niveles críticos a partir de 70% de sombra. Obispo *et al.* (2008) demostraron que tanto la producción como la calidad del forraje son afectados por la cantidad de sombra que proyecta el dosel arbóreo sobre el estrato herbáceo, de modo que, demasiada sombra proyectada por el árbol afecta negativamente el rendimiento de los pastos.

De este modo, la sombra proyectada por el dosel arbóreo sobre el estrato herbáceo constituye uno de los efectos negativos más importantes de la presencia de los árboles en los sistemas silvopastoriles (Pentón, 1998). No obstante, la composición botánica de las herbáceas puede ser similar en ambos sistemas de producción de pastos con y sin árboles; asimismo, el porcentaje de plantas C4 se incrementa y el de C3 disminuye cuando éstas crecen a mayor distancia de la base del árbol (Ruiz *et al.*, 2001).

Varios estudios han abordado la interacción de los árboles sobre los pastos que han reportado mayor crecimiento, productividad y calidad nutritiva de las herbáceas que crecen bajo la sombra (Cruz *et al.*, 1999; Fassola *et al.*, 2006; Jose *et al.*, 2008; Piñeros *et al.*, 2011; Burner *et al.*, 2018). No obstante, hay diferencias en la información en cuanto a las bondades y limitantes de la sombra de las arbóreas sobre el estrato herbáceo. Esta heterogeneidad de resultados está determinada por la diversidad de condiciones en las cuáles se han realizado las investigaciones, así como por las diferentes metodologías experimentales usadas.

El estrato herbáceo que crece durante el periodo de lluvias bajo el dosel de los árboles del sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla, Morelos, es de gran importancia para la economía de las comunidades campesinas que habitan esa región, sin embargo, poca información está disponible para mejorar el manejo de los componentes del ecosistema.

El presente estudio tiene como objetivo analizar el comportamiento productivo y la composición florística del estrato herbáceo que crece abajo del dosel en función de la densidad arbórea y la intensidad lumínica fotosintéticamente activa en el sistema silvopastoril tradicional de la selva baja caducifolia de la sierra de Huautla, Morelos, México.

## **Materiales y métodos**

El estudio se realizó durante la época de lluvias en las comunidades de Los Sauces y El Limón, en Tepalcingo, Morelos, México, en la región denominada sierra de Huautla, ubicada al sur de la entidad. Las coordenadas son 18° 20' de latitud norte y 98° 51' de longitud oeste (Dorado *et al.*, 2005).

El clima dominante, reportado por Koppen y modificado por García (2004), es Aw0(w)(i')g, el más seco de los climas subhúmedos, con régimen de lluvias en verano y precipitación invernal menor a 5%; precipitación media anual de 900 mm, y temperatura media anual de 25 °C, con oscilación anual de las temperaturas medias mensuales entre 5 y 7 °C. Con dos estaciones climáticas durante el año: la época de lluvias de julio a octubre y la época seca que comprende los otros ocho meses del año.

Los suelos predominantes son los Feozems háplicos y Feozems lúvicos; donde los Luvisoles crómicos y Litosoles son más abundantes presentando fase lítica, con lecho rocoso entre 10 y 20 cm de profundidad (INIFAP, 1995). El uso del suelo está dado por actividad ganadera semi-extensiva de ganado bovino y agricultura de temporal con cultivos anuales ligados a la alimentación del ganado (Uribe *et al.*, 2015).

La vegetación dominante es la Selva Baja Caducifolia (Miranda y Hernández, 1963) caracterizada por especies, arborescentes y arbóreas con 4 a 10 m de altura. Las familias vegetales dominantes son: *Fabaceae*, *Euphorbiaceae*, *Burseraceae* y *Bombonaceae* (Rzedowski, 2006). Para la selección de parcelas experimentales se realizaron recorridos por el área de estudio en el territorio ejidal 'Los Sauces' y 'El Limón'. Mediante la técnica de fotointerpretación se identificaron zonas de alta, moderada y baja densidad arbórea con ayuda del software Google Earth Pro (Guerra, 2003).

Con información de campo se delimitaron áreas arboladas con (ADA; 351 a 500), (MDA; 201 a 350) y (BDA; 50 a 200) árboles ha<sup>-1</sup>. Para determinar la densidad arbórea se dividieron los sitios de muestreo en cuadrantes de 50 x 60 m utilizando como criterio de selección el diámetro del fuste a la altura de la primera bifurcación (>5 cm) y altura a la copa (>2.5 m) de las arbóreas, identificándose las especies y familia botánicas dominantes. El área experimental consideró nueve parcelas de muestreo de 1000 m<sup>2</sup> (tres parcelas por cada densidad arbórea).

La colecta del material vegetal herbáceo se realizó cada 14 días utilizando un cuadrante de 1 m<sup>2</sup>. En cada parcela experimental se ubicaron cuatro sitios de muestreo de 50 x 50 cm, donde se colectó el material vegetal herbáceo para determinar la diversidad florística. Para determinar la composición florística de las especies herbáceas presentes en la masa forrajera, el material herbáceo colectado fue separado e identificado mediante comparación visual con las especies descritas por (Dorado *et al.*, 2005).

El material vegetal colectado fue pesado con una báscula digital separando las especies botánicas presentes. Posteriormente, se tomó una sub-muestra del 20% del material colectado que fue colocado en bolsas de papel estraza y secado a peso constante en una estufa de aire forzado a 60 °C, para determinar el peso seco de cada muestra. Así, se calculó la producción de biomasa diaria del estrato herbáceo para cada densidad arbórea en cada periodo de muestreo, dividiendo el peso total de la biomasa de cada muestra entre los días del periodo de muestreo.

Para medir la radiación fotosintéticamente activa que ingresa al estrato herbáceo a través del follaje de las arbóreas se tomaron fotografías utilizando una cámara digital con lente hemisférico. Aleatoriamente, se tomaron tres fotografías en cada sitio de muestreo colocando la cámara fotográfica a 50 cm del suelo obteniendo nueve imágenes fotográficas por cada una de las densidades arbóreas evaluadas. Las imágenes se obtuvieron dirigiendo la lente de la cámara hacia arriba desde un punto bajo el dosel del árbol.

Utilizando una lente de ‘ojo de pescado’ de 180° con una cámara digital de alta resolución siguiendo el protocolo de uso establecido por Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo (2006). Para ello, se consideraron condiciones de cielo despejado uniforme, justo antes del amanecer o el atardecer o bien cuando el cielo estaba nublado pero uniforme. Para estimar la RFA, cada imagen fotográfica digitalizada fue analizada con el programa HemiView V.2.1, utilizando el modelo simple molar para obtener RFA en  $Mj\ m^2\ año^{-1}$  (Ramírez-Contreras y Rodríguez-Trejo, 2006).

El diseño experimental fue completamente al azar, tomando como tratamiento la densidad arbórea, con tres repeticiones y nueve sitios de muestreo por tratamiento, teniendo como unidad experimental cada sitio de muestreo. Los datos de rendimiento de forraje fueron analizados mediante análisis de varianza usando el procedimiento GLM de SAS (Park, 2009).

## Resultados y discusión

La riqueza, abundancia y densidad de árboles dispersos en los potreros en el sistema silvopastoril tradicional en la región de estudio es producto de las decisiones que toman los productores para conservar en los agostaderos aquellas especies arbóreas de usos múltiples. Generalmente, los productores dejan en los agostaderos los árboles que les proporcionan servicios y beneficios a sus potreros y a sus familias. En el área experimental se identificaron 37 especies arbóreas de usos múltiples correspondientes a 18 familias botánicas, sobresaliendo la familia Fabaceae (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Arbóreas presentes en el área de estudio del sistema silvopastoril tradicional de la Sierra de Huautla, Morelos.**

Nombre común	Nombre científico	Familia
Palo dulce	<i>Eysenhardtia polystachia</i>	Fabaceae
Tecolohuixtle	<i>Mimosa benthamii</i>	Fabaceae
Palo Brasil	<i>Haematoxylum brasiletto</i>	Fabaceae
Cuachalalate	<i>Amphipterygium adstringens</i>	Anacardiaceae
Cuatecomate	<i>Crescentia alata</i>	Bignoniaceae
Cubata	<i>Acacia cochliacantha</i>	Fabaceae
Ciruelo	<i>Spondia purpurea</i>	Anacardiaceae
Tepemezquite	<i>Lysiloma divaricata</i>	Fabaceae
Guayacán	<i>Miroxylom balsamum</i>	Fabaceae
Pochote	<i>Ceiba aesculifolia</i>	Malvaceae
Cuahulote	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Malvaceae.
Mata rata	<i>Gliricidia sepium</i>	Fabaceae
Panicua	<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Bixaceae
Tepehuaje	<i>Lysiloma acapulcense</i>	Fabaceae
Copal chino	<i>Bursera bipinnata</i>	Burseraceae
Amate	<i>Ficus</i> spp.	Moraceae
Guachocote	<i>Malpighia mexicana</i>	Malpighiaceae
Tepame	<i>Acacia pennatula</i>	Fabaceae

Nombre común	Nombre científico	Familia
Tzompantle	<i>Erythrina americana</i>	Fabaceae
Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	Myrtaceae
Bonete	<i>Jacaratia mexicana</i>	Caricaceae
Huevo de gato	<i>Stemmadenia pubescens</i>	Apocynaceae
Nopal	<i>Opuntia</i> spp.	Cactaceae
Mata piojo	<i>Hippocratea acapulcensis</i>	Celastraceae
Mezquite	<i>Prosopis laevigata</i>	Fabaceae.
Carpincerán	<i>Dalbergia congestiflora</i>	Fabaceae
Ayoyote	<i>Thevetia thevetioides</i>	Apocynaceae
Quiebracho	<i>Lonchocarpus rugosus</i>	Fabaceae
Guamuchil	<i>Pithecellobium dulce</i>	Fabaceae
Encino	<i>Quercus castanea</i>	Fagaceae
Zopilote	<i>Swietenia humilis</i>	Meliaceae
Cazahuate	<i>Ipomea arborescens</i>	Convolvulacea
Chupandilla	<i>Cyrtocarpa procera</i>	Anacardiaceae
Quina	<i>Chinchona</i> spp.	Rubiaceae.
Cuajote	<i>Bursera fagaraoides</i>	Burseraceae
Linaloe	<i>Bursera aloexylon</i>	Burseraceae
Pegahueso	<i>Euphorbia fulva</i>	Euphorbiaceae

El comportamiento de la radiación solar en el dosel varió con la densidad de árboles presentes. La mayor RFA en el estrato herbáceo se tuvo en los sitios de BDA, siendo esa radiación 25.1 y 55.8% superior a las registradas en los sitios con MDA y ADA, respectivamente ( $p < 0.05$ ; Cuadro 2). La producción de biomasa forrajera del estrato herbáceo fue directamente proporcional a RFA e inversamente proporcional a la densidad arbórea, a mayor radiación y menor densidad arbórea mayor fue la producción de biomasa forrajera del estrato herbáceo.

**Cuadro 2. Radiación fotosintéticamente activa (RFA), producción de biomasa forrajera (PBF) y tasa de producción de forraje (TPF) del estrato herbáceo en el sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla, Morelos.**

Variables	BDA	MDA	ADA	EEM	<i>p</i> valor
RFA (MJ m <sup>-2</sup> año <sup>-1</sup> )	8 594 <sup>c</sup>	6 437 <sup>b</sup>	3 801 <sup>a</sup>	364	<0.001
PBF (kg MS ha <sup>-1</sup> )	2 859 <sup>b</sup>	1 988 <sup>ab</sup>	1 679 <sup>a</sup>	330	<0.037
TPF (kg MS ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	37.18 <sup>b</sup>	25.15 <sup>a</sup>	23.06 <sup>a</sup>	2.82	<0.001
MS (%)	27.7 <sup>b</sup>	23.6 <sup>ab</sup>	20.3 <sup>a</sup>	1.66	<0.006

<sup>abc</sup>= medias con distinta literal en la misma hilera muestran diferencias significativas ( $p > 0.05$ ); ADA= alta densidad arbórea (sitios con 351 a 500 árboles ha<sup>-1</sup>); MDA= moderada densidad arbórea (sitios con 201 a 350 árboles ha<sup>-1</sup>); BDA= baja densidad arbórea (sitios con 50 a 200 árboles ha<sup>-1</sup>).

Los sitios BDA, pero con mayor RFA en el estrato herbáceo, produjeron 30.5 y 41.3% más biomasa forrajera que los sitios ubicados en MDA y ADA, respectivamente ( $p < 0.05$ ; Cuadro 2). El comportamiento de la radiación solar en el dosel varió con la densidad de árboles presentes. La mayor RFA en el estrato herbáceo se tuvo en los sitios de BDA siendo esa radiación 25.1 y 55.8% superior a las registradas en los sitios con MDA y ADA, respectivamente ( $p < 0.05$ ; Cuadro 2).

La producción de biomasa forrajera del estrato herbáceo fue directamente proporcional a RFA e inversamente proporcional a la densidad arbórea, a mayor radiación y menor densidad arbórea mayor fue la producción de biomasa forrajera del estrato herbáceo. Así, los sitios BDA, pero con mayor RFA en el estrato herbáceo, produjeron 30.5 y 41.3% más biomasa forrajera que los sitios ubicados en MDA y ADA respectivamente ( $p < 0.05$ ; Cuadro 2).

La máxima acumulación de biomasa forrajera del estrato herbáceo para las diferentes densidades arbóreas fue alrededor del sexto periodo de muestreo, aproximadamente a 84 días de iniciada la estación de lluvias. Asimismo, la tasa de producción de forraje del estrato herbáceo fue 32.4 y 38.0% mayor en los sitios con BDA, comparado con los sitios de MDA y ADA, respectivamente ( $p < 0.05$ ; Cuadro 2).

Comportamiento similar fue observado en el contenido de materia seca de la biomasa forrajera del estrato herbáceo. Las muestras de forraje cosechado en los sitios con BDA tuvieron 14.8 y 26.7% más contenido de MS comparado con el forraje cosechado en los sitios con MDA y ADA, respectivamente ( $p < 0.05$ ; Cuadro 2).

Resultados similares a los obtenidos en el presente estudio fueron reportados por Acciaresi *et al.* (1994); Cruz *et al.* (1999); Fassola *et al.* (2006); Jose *et al.* (2008); Piñeros *et al.* (2011); Burner *et al.* (2018), quienes encontraron mayores rendimientos de forraje en sitios sin sombra y en sitios con bajos niveles de sombra. En condiciones de ADA, la producción de biomasa forrajera fue afectada debido a la menor radiación solar que llega hasta el estrato herbáceo.

Por el contrario, en sitios con BDA, donde la incidencia de la radiación solar es mayor los pastos y demás forrajeras que crecen bajo el dosel de los árboles muestran mayor rendimiento debido a la mayor tasa de fotosíntesis, ya que el flujo de energía solar tiene relación directa con la producción de forraje (Hernández y Guenni, 2008). Asimismo, la RFA se incrementó en los sitios con mayor radiación solar, similarmente a lo reportado por Bernal *et al.* (2006) con la tasa de crecimiento de pastos nativos en bosque de encinos del estado de México.

Ribaski *et al.* (2002) reporta resultados parecidos al estudiar la disponibilidad y calidad del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) en un sistema silvopastoril con algarrobo (*Prosopis juliflora*) en la región semi-árida brasileña. El forraje producido debajo del algarrobo presentó mayor valor nutritivo, caracterizado principalmente por niveles más altos de proteína bruta. Sin embargo, el rendimiento de forraje fue menor. Obispo *et al.* (2008) estudiaron el efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril y encontraron que la producción y calidad de la biomasa de *Panicum maximum* fue afectada negativamente por el nivel de sombreado. Resultados diferentes fueron encontrados por Piñeros *et al.* (2011) al estudiar la respuesta del pasto vidal (*Bothriochloa saccharoides*) a diferentes intensidades de sombra simulada en el Valle cálido del Magdalena en Tolima, Colombia.

El objetivo de estos investigadores colombianos fue analizar la producción de biomasa y calidad nutricional del pasto vidal bajo simuladores de sombra, con porcentajes de 0% 30% y 50% de sombra, sin embargo, ellos no encontraron diferencias significativas respecto a los porcentajes de sombra en el rendimiento y calidad del forraje. Esto refleja que el comportamiento productivo y calidad nutricional del pasto vidal no son afectados por el sombreado, y confirman la tolerancia a la sombra de algunos pastos descrita por otros investigadores (Bernal *et al.*, 2006; Piñeros *et al.*, 2011; Gargaglione *et al.*, 2015).

Los resultados de la identificación de plantas herbáceas que componen la masa forrajera que crece bajo el dosel en las diferentes densidades arbóreas se presentan en el Cuadro 3. Para la condición de BDA se registraron 38 especies herbáceas, aunque solo 12 de ellas ocuparon 90.2% de la composición botánica del área de estudio, resaltando *Rhynchelytrum repens*, *Atheropogon radicata*, *Brachiaria brizantha*, *Oplismenus burmanni* y *Andropogon citratus* correspondientes a la familia Poaceae, todas ellas son gramíneas de tipo C4 que requieren de mayor intensidad lumínica.

**Cuadro 3. Composición florística del estrato herbáceo en sitios de baja densidad arbórea BDA en el sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla, Morelos.**

Especie	Familia	(% )		
		BDA	MDA	ADA
<i>Oplismenus burmanni</i> (Retz.) P. Beauv.	Poaceae	9.69	10.06	58.36
<i>Tithonia tubaeformis</i> (Jacq.) Cass.	Compositae	0.39	11.52	23.74
<i>Setaria geniculata</i> P. Beauv.	Poaceae	2.36	0.42	8.51
<i>Simsia sanguinea</i> A. Gray	Compositae	-	2.32	1.7
<i>Bouchea prismatica</i> (L.) Kuntze	Verbenaceae	0.53	0.47	1.05
<i>Elytraria imbricata</i> (Vahl) Pers.	Acanthaceae	-	0.16	0.83
<i>Brachiaria brizantha</i> (A.Rich.) Stapf	Poaceae	10.08	21.93	0.83
<i>Acalypha</i> sp.	Euphorbiaceae	-	0.67	0.6
<i>Porophyllum ruderale</i> (Jacq.) Cass.	Compositae	-	0.02	0.53
<i>Desmodium procumbens</i> (Mill.) Hitchc.	Leguminosae	-	0.37	0.36
<i>Amaranthus</i> sp.	Amaranthaceae	0.3	1.44	0.35
<i>Commelina dianthifolia</i> Delile	Commelinaceae	-	4.3	0.28
<i>Jaltomata procumbens</i> (Cav.) J.L. Gentry	Solanaceae	0.1	2.4	0.27
<i>Justicia salviifolia</i> Kunth	Acanthaceae	-	-	0.22
<i>Heliocarpus pallidus</i> Rose	Malvaceae	-	0.11	0.19
<i>Clematis grossa</i> Benth.	Ranunculaceae	-	-	0.15
<i>Gaudichaudia albida</i> Schltld. & Cham.	Malpighiaceae	0.14	0.3	0.12
<i>Dioscorea convolvulacea</i> Cham. & Schltld.	Dioscoreaceae	-	0.2	0.11
<i>Cyperus iria</i> L.	Cyperaceae	0.94	0.64	0.07
<i>Euphorbia subreniformis</i> S. Watson	Euphorbiaceae	0.54	1.07	0.04
<i>Rhynchelytrum repens</i> (Willd.) C. E. Hubb.	Poaceae	38.09	19.32	-

Especie	Familia	(% )		
		BDA	MDA	ADA
<i>Bouteloua radicata</i> (E.Fourn.) Griffiths	Poaceae	16.3	5.65	-
<i>Setariopsis auriculata</i> (E.Fourn.) Scribn.	Poaceae	-	1.78	-
<i>Florestina pedata</i> (Cav.) Cass.	Compositae	2.23	1.42	-
<i>Bidens riparia</i> Kunth	Compositae	1.63	1.3	-
<i>Nama origanifolium</i> Kunth	Hydrophyllaceae	0.54	0.74	-
<i>Crusea palmeri</i> A. Gray	Rubiaceae	0.06	0.49	-
<i>Lantana achyranthifolia</i> Desf.	Verbenaceae	0.73	0.49	-
<i>Sida glabra</i> Mill.	Malvaceae	0.56	0.39	-
<i>Ageratum corymbosum</i> Zuccagni ex Pers.	Compositae	0.38	0.25	-
<i>Ipomoea arborescens</i> (Humb. & Bonpl. ex Willd.) G. Don	Convolvulaceae	-	0.25	-
<i>Zornia diphylla</i> (L.) Pers.	Leguminosae	0.41	0.25	-
<i>Physalis</i> sp.	Solanaceae	0.07	0.23	-
<i>Dyssodia tagetiflora</i> Lag	Compositae	-	0.12	-
<i>Dalea</i> sp.	Leguminosae	-	0.1	-
<i>Crusea setosa</i> (M.Martens & Galeotti) Standl. & Steyerm	Rubiaceae	0.21	0.07	-
<i>Lepidium virginicum</i> L.	Brassicaceae	-	0.07	-
<i>Andropogon pertusus</i> (L.) Willd.	Poaceae	-	0.07	-
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Malvaceae	0.09	0.05	-
<i>Melampodium</i> sp.	Compositae	1.11	0.02	-
<i>Oxalis</i> sp.	Oxalidaceae	-	0.02	-
<i>Andropogon citratus</i> DC.	Poaceae	6.54	-	-
<i>Bessera elegans</i> Schult. f.	Asparagaceae	0.34	-	-
<i>Bidens bigelovii</i> A. Gray	Compositae	0.33	-	-
<i>Tragoceros schiedeanus</i> Less.	Compositae	0.33	-	-
<i>Bidens odorata</i> Cav.	Compositae	0.15	-	-
<i>Heliotropium</i> sp.	Boraginaceae	0.13	-	-
<i>Mimosa albida</i> Willd.	Leguminosae	0.07	-	-
<i>Solanum deflexum</i> Greenm.	Solanaceae	0.02	-	-
<i>Heimia salicifolia</i> (Kunth) Link	Lythraceae	0.07	-	-
Otras		4.7	8.6	1.7

Es evidente que la intensidad de radiación solar influye directamente sobre la composición y riqueza de las especies herbáceas en los potreros, desarrollándose más fácilmente las herbáceas tolerantes a cierta condición de sombra y aquellas que requieren mayor incidencia de luz. Las tres primeras especies herbáceas *Rhynchelytrum repens* (38.1%), *Atheropogon radicata* (16.3%) y *Brachiaria brizantha* (10.08%), son forrajeras importantes en la SBC de la región de estudio, ya que se utilizan para la alimentación del ganado.

Para el rango de MDA se registraron 48 especies herbáceas que crecen bajo el dosel de los árboles (Cuadro 3). De éstas, solo 25 especies representan 90.2%, entre las que sobresalen: *Brachiaria brizantha*, *Rhynchelytrum repens*, *Tithonia tubaeformis*, *Oplismenus burmanni*, *Atheropogon radicata* y *Commelina dianthyfolia*, pertenecientes a las familias Poaceae, Asteraceae y Commelinaceae; sin embargo, los porcentajes de gramíneas son menores a los observados en la condición de BDA, lo cual se explica por la menor incidencia de luz solar que llega al estrato herbáceo y permite el crecimiento de otras especies herbáceas diferentes a las gramíneas que son tolerantes a ciertos niveles de sombra.

En la condición de (ADA; Cuadro 3) se registraron 27 especies herbáceas bajo el dosel arbóreo, de éstas, 90.7% corresponden a *Oplismenus burmanni*, *Tithonia tubaeformis* y *Setaria geniculata*, pertenecientes a las familias Poaceae y Asteraceae. Estos resultados indican que las diferentes densidades arbóreas generan condiciones para el desarrollo de especies como *Tithonia tubaeformis* (familia Asteraceae), lo cual cambia la composición de la vegetación herbácea en la SBC (Larenas *et al.*, 2004). Larenas y De Viana (2005) sugieren que *Tithonia tubaeformis* es una herbácea de importancia como remediadora de suelos contaminados, aunque su valor forrajero es bajo.

Los resultados indican que la densidad arbórea, a través de modificar la intensidad lumínica que incide en el estrato herbáceo, impone condiciones para el desarrollo de las especies herbáceas dominantes que crecen bajo el dosel de las arbóreas presentes en la SBC (Larenas *et al.*, 2004; Larenas y De Viana, 2005). Resultados similares a los del presente estudio en la región de los Tuxtla en el estado de Veracruz, México fueron reportados por Lira *et al.* (2007); asimismo, investigaciones realizadas por Ruiz *et al.* (2001), determinaron la composición botánica de especies herbáceas en un sistema de producción pecuario con y sin árboles. Estos investigadores encontraron que la composición botánica de plantas herbáceas bajo el dosel no varió en potreros con y sin árboles, sin embargo, encontraron que a mayor distancia de la base del árbol el porcentaje de gramíneas tipo C4 fue mayor, mientras que el porcentaje de herbáceas de hoja ancha de tipo C3 fue mayor a menor distancia de la base de los árboles.

De este modo, la radiación solar que incide en el estrato herbáceo influye en la composición y riqueza florística de las herbáceas en los potreros del sistema silvopastoril tradicional de la SBC de la sierra de Huautla, Morelos, promoviendo mayor abundancia las especies herbáceas tolerantes a la sombra que proyectan las arbóreas presentes. Estas especies herbáceas son de importancia en la alimentación del ganado, conformando la mezcla de plantas forrajeras con alto valor nutricional que satisfacen los requerimientos en la dieta diaria de los animales durante la época de lluvias (Rosales, 1999).

Aunque el sombreado de los árboles ofrece condiciones para la mayor diversidad de especies en el estrato herbáceo, es también cierto que el rendimiento forrajero disminuye al incrementarse la densidad arbórea en el sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla. Ello alienta a los productores a la tala de la vegetación existente para el establecimiento de pasturas puras, con graves consecuencias a la estabilidad de la SBC, por disminución de la biodiversidad, erosión del suelo, deterioro de las cuencas hidrológicas y degradación de las pasturas.

## Conclusiones

Hubo marcada diferencia en la cantidad de RFA que llega al estrato herbáceo en las diferentes densidades arbóreas del sistema silvopastoril tradicional de la Selva Baja Caducifolia de la Sierra de Huautla, Morelos, lo cual incidió en la composición florística y crecimiento de las especies herbáceas que crecen bajo el dosel de los árboles. La producción de biomasa forrajera de las especies herbáceas que crecen bajo el dosel arbóreo fue mayor en la condición de BDA en comparación con la producción de materia seca obtenida en las condiciones de MDA, debido a la mayor cantidad de RFA disponible para el crecimiento de las herbáceas.

El máximo rendimiento de las herbáceas forrajeras que crecen bajo el dosel arbóreo se tiene alrededor de 84 días después del inicio de las lluvias, lo cual puede contribuir a establecer sistemas de pastoreo racional con dos o tres periodos de ocupación durante la estación lluviosa en los ranchos ganaderos del sistema silvopastoril tradicionales de la sierra de Huautla, Morelos.

El estudio de la sombra producida por los árboles, presentan interrogantes que no permiten arribar a conclusiones definitivas sobre el fenómeno. Se sugiere profundizar sobre el tema estudiado para desarrollar un estrato vegetal herbáceo de mayor calidad para la alimentación del ganado en el sistema silvopastoril tradicional de la sierra de Huautla, Morelos.

## Literatura citada

- Acciaresi, H.; Ansín, O. E. y Marlats, R. M. 1994. Sistemas silvopastoriles: efectos de la densidad arbórea en la penetración solar y producción de forraje en rodales de álamo *Populus deltoides* Marsch. Agroforestería en las Américas. 1(4):6-9.
- Bellow, J. G. and Nair, P. K. R. 2003. Comparing common methods for assessing understory light availability in shaded-perennial agroforestry systems. Agricultural and forest meteorology. 114(3-4):197-211. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(02\)00173-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00173-9).
- Bernal, F. Á.; Hernández, G. A.; Pérez, P. J.; Herrera, H. J. G.; Martínez, M. M. y Dávalos, F. J. L. 2006. Patrón de crecimiento estacional de pastos nativos en un bosque de encino en el Estado de México, México. Agrociencia. 40(1):39-47. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v40n1/1405-3195-agro-40-01-39.pdf>.
- Burner, D. M.; Ashworth, A. J.; Laughlin, K. F. and Boyer, M. E. 2018. Using SketchUp to Simulate Tree Row Azimuth Effects on Alley Shading. Agronomy Journal. 110(1):425-430.
- Clavero, T. 2011. Agroforestería en la alimentación de rumiantes en América Tropical. Revista de la Universidad del Zulia 3ª época Ciencias del Agro Ingeniería y Tecnología. 2(2):11-35. <http://www.revencyt.ula.ve/storage/repo/ArchivoDocumento/revluz/v2n2/art02.pdf>.
- Cruz, P.; Sierra, J.; Wilson, J. R.; Dulormne, M. and Tournebize, R. 1999. Effects of shade on the growth and mineral nutrition of tropical grasses in silvopastoral systems. Annals of Arid Zone. 38(3-4):335-361.
- Dorado, O.; Maldonado, B.; Arias, D. M.; Sorani, V.; Ramírez, R.; Leyva, E. y Valenzuela, D. 2005. Programa de conservación y manejo de la reserva de la biosfera de Huautla. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, DF. 143 p.

- Fassola, H. E.; Lacorte, S. M.; Pachas, N. y Pezzutti, R. 2006. Efecto de distintos niveles de sombra del dosel de *Pinus taeda* L. sobre la acumulación de biomasa forrajera de *Axonopus compressus* (Swartz) Beauv. *Revista Argentina de Producción Animal*. 26(2):101-111. <https://pdfs.semanticscholar.org/e8dc/e8d584190b0055072118be03e6e5df2cf56b.pdf>.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones climáticas de la República Mexicana). 5<sup>ta</sup> edición, Instituto de Geografía. UNAM. México, DF. 97 p. [www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1](http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/83/82/251-1).
- Gargaglione, V.; Peri, P. L. and Rubio, G. 2014. Tree-grass interactions for N in *Nothofagus antarctica* silvopastoral systems: evidence of facilitation from trees to underneath grasses. *Agroforestry systems*, 88(5):779-790. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10457-014-9724-3.pdf>.
- Gargaglione, V.; Peri, P. L.; Sosa L. S.; Bahamonde, H.; Mayo, J. P. and Christiansen, R. 2015. Mejora del estrato herbáceo en sistemas silvopastoriles de *Nothofagus antarctica*. Evaluación de especies forrajeras. In: 3<sup>o</sup> Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoril y VII Congreso Internacional de Sistemas Agroforestales (3-7 pp.). Iguazú, Misiones. Argentina. INTA ediciones. 734 p.
- Groeneweg, D.; Vishedijk, F.; Appelman, J.; Van Buiten, G.; San Giorgi, X. and Hautier, Y. 2018. Polycultures in agroforestry. In: Ferreiro, D. N and Mosquera, L. M. R. Editors. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> European Agroforestry Conference “Agroforestry as Sustainable Land Use”*. Nijmegen, The Netherlands. 452-456 pp. <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/18629/1/EURAFIVCon-Groeneweg-D-et-all-page-452-456.pdf>.
- Guerra, P. F. 2003. Las doce principales reglas de la interpretación fotogeológica y las bases fundamentales que se derivan. *Investigaciones geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 50:42-66. [www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n50/n50a8.pdf](http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n50/n50a8.pdf).
- Hernández, M. y Guenni, O. 2008. Producción de biomasa y calidad nutricional del estrato graminoide en un sistema silvopastoril dominado por samán (*Samanea saman* (Jacq) Merr). *Zootecnia Tropical*. 26(4):439-453.
- Hong, Y.; Heerink, N.; Jin, S.; Berentsen, P. Zhang, L. and van der Werf, W. (2017). Intercropping and agroforestry in China—Current state and trends. *Agriculture, ecosystems & environment*. 244:52-61. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.019>.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 1995. Mapa edafológico, escalas 1: 250000 y 1: 1000000. INIFAP-CONANP. México.
- Jamar, L.; Rondia, A.; Lateur, M.; Minet, L.; Froncoux, A. and Stilmant, D. 2015. Co-design and establishment of innovative fruit-based agroforestry cropping systems in Belgium. In: *International Symposium on Innovation in Integrated and Organic Horticulture (INNOHORT) 1137*. 347-350 pp.
- Jose, S.; Allen, S. C. and Nair, P. R. 2008. Tree-crop interactions: lessons from temperate alley-cropping systems. *Ecological Basis of Agroforestry*. 15-36 pp.
- Larenas, P. G. y De Viana, M. L. 2005. Germinación y supervivencia del pasto cubano *Tithonia tubaeformis* (Asteraceae) en suelos contaminados con hidrocarburos de petróleo. *Ecología Austral*. 15:177-181.
- Larenas, P. G.; De Viana, M. L.; Chafatinos, T. y Escobar, N. E. 2004. Relación suelo-especie invasora (*Tithonia tubaeformis*) en el sistema ribereño del río Arenales, Salta, Argentina. *Ecología Austral*. 14:19-29.

- Lira, N. A.; Guevara, S.; Laborde, J. y Sánchez, R. G. 2007. Composición florística en potreros de los Tuxtlas, Veracruz, México. *Acta Botánica Mexicana*. 80:59-87.
- Lovell, S. T.; Dupraz, C.; Gold, M.; Jose, S.; Revord, R.; Stanek, E. and Wolz, K. J. 2018. Temperate agroforestry research: considering multifunctional woody polycultures and the design of long-term field trials. *Agroforestry Systems*. 92(5):1397-1415.
- Miranda F. and Hernández-X, E. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 28:29-179. <https://doi.org/10.17129/botsci.1084>.
- Obispo, N. E.; Espinoza, Y.; Gil, J. L.; Ovalles, F. y Rodríguez, M. F. 2008. Efecto del sombreado sobre la producción y calidad del pasto guinea (*Panicum maximum*) en un sistema silvopastoril. *Zootecnia tropical*. 26(3):285-288.
- Park, H. M. 2009. Regression models for binary dependent variables using STATA, SAS, R, LIMDEP, and SPSS. Working paper. The University Information Technology Services (UITS) Center for Statistical and Mathematical Computing. Indiana University. IN, USA. 62 p. <http://www.indiana.edu/~statmath/stat/all/cdvm/index.html>.
- Pentón, G.; Blanco, F. y Soca, M. 1998. La sombra de los árboles como fuente de variación de la composición botánica y la calidad del pastizal en una finca silvopastoril. *In: Memorias. III Taller Internacional Silvopastoril "Los Árboles y Arbustos en la Ganadería"*. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. 32 p.
- Piñeros, R., Delgado, J. M., y Holguín, V. A. 2011. Respuesta del pasto *Bothriochloa saccharoides* ([Sw.] Rydb.) a diferentes intensidades de sombra simulada en el valle cálido del Magdalena en el Tolima (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 12(1):42-50.
- Ramírez-Contreras, A. y Rodríguez-Trejo, D. A. 2006. Evaluación del uso de plantas nodriza en una plantación de *Pinus hartwegii* Lindl. Tesis de Maestría en Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. México. México. 122 p.
- Ribaski, J. (2000). Influência da algaroba (*Prosopis juliflora* (SW.) DC.) sobre a disponibilidade e qualidade da forragem de capim-búfel (*Cenchrus ciliaris*) na região semi-árida brasileira. Tese de Doutor em Ciências Florestais. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Brasil. 165 p.
- Ribaski, J. y Menezes, E. A. 2002. Disponibilidad y calidad del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*) en un sistema silvopastoril con algarrobo (*Prosopis juliflora*) en la región semiárida Brasileña. *Agroforestería en las Américas*. 9(33-34):8-18.
- Rosales, M. M. 1999. Mezclas de forrajes: uso de la diversidad forrajera tropical en sistemas agroforestales. *FAO animal production and health paper*. 201-230 pp. <http://www.fao.org/ag/aga/agaP/Frg/AGROFOR1/Rosales9.PDF>.
- Ruiz Fonseca, C. J.; Maradiaga, W. y Cuadra, N. 2001. Estudio de los recursos forrajeros, bajo el dosel de árboles en potreros, estudio de caso, finca Las Mercedes, Managua, Nicaragua. *La Calera*. 1(1):39-44.
- Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. 1<sup>ra</sup>. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. 504 p.
- Uribe, G. M.; Cruz, L. A.; Juárez, R. D.; Lara, B. A.; Romo, L. J. L.; Valdivia, A. R., y Portillo, V. M. 2015. Importancia del diagnóstico rural para el desarrollo de un modelo agroforestal en las comunidades campesinas de la sierra de Huautla. *Revista Científica Ra Ximhai*. 5(11):197-208.
- Yu, Y.; Stomph, T. J., Makowski, D. and van der Werf, W. 2015. Temporal niche differentiation increases the land equivalent ratio of annual intercrops: a meta-analysis. *Field Crops Research*. 184:133-144. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.09.010>.