

INFLUENCIA DE LAS ESPECIES LEÑOSAS EN LA DINÁMICA DE ARVENSES EN SISTEMAS AGROFORESTALES EN YUCATÁN, MÉXICO

INFLUENCE OF WOODY SPECIES IN THE DYNAMICS OF WEEDS IN AGROFORESTRY SYSTEMS IN YUCATAN, MEXICO

Rodrigo Tzuc-Martínez¹, Fernando Casanova-Lugo², Arturo Caamal-Maldonado¹, Juan Tun-Garrido¹, Noel González-Valdivia³, William Cetzal-Ix³

¹Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán, México.

²Instituto Tecnológico de la Zona Maya, Quintana Roo, México. (fkzanov@gmail.com)

³Instituto Tecnológico de Chiná, Campeche, México.

RESUMEN

Los factores limitantes para la producción de maíz en Yucatán, México son la reducción en el rendimiento y aumento constante de especies arvenses. Una estrategia para enfrentar esos problemas es desarrollar esquemas productivos diversificados, como los sistemas agroforestales (SAF). En nuestro estudio se determinó la dinámica de la cobertura y biomasa de arvenses en un SAF integrado por árboles forrajeros y maíz durante dos ciclos de cultivo (CC). Para ello se evaluaron *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia*, y *Moringa oleifera* asociadas a maíz, y un monocultivo de esta especie en una parcela, con un diseño de bloques completos al azar y tres repeticiones. La cobertura, biomasa, riqueza y densidad de arvenses se midieron al inicio, a la mitad y al final de dos CC. Las arvenses recolectadas estaban en cuadros de 50×50 cm, distribuidas aleatoriamente en las unidades experimentales; luego, se separaron por especie y secaron. Con los datos se usó un ANDEVA y cuando hubo significancia se realizó la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). Al inicio del primer CC, el SAF *Guazuma* + maíz tuvo menor (41 %) cobertura de arvenses y *Moringa* + maíz fue mayor a la mitad y al final (71 y 49 %). Al inicio del segundo CC el sistema *Guazuma* + maíz tuvo menor cobertura de arvenses y al final, *Guazuma* + maíz y *Leucaena* + maíz fueron menores (54 y 48 %). En ambos CC la biomasa de arvenses en los SAF fue casi la mitad que en maíz, en ambos CC la biomasa de arvenses en los SAF fue casi la mitad que en maíz en monocultivo. Al final de ambos CC el sistema *Guazuma* + maíz tuvo menor riqueza que en monocultivo de maíz. En los dos CC, al inicio y al final la densidad de arvenses fue mayor en el monocultivo. Dieciocho familias botánicas se identificaron y 21 % de ellas son leguminosas. La

ABSTRACT

The factors that limit maize production in Yucatán, México are decreasing yields and a constant increase of weedy species. A strategy to deal with these problems is to develop diversified productive schemes, such as agroforestry systems (SAF). This study determined the cover dynamics and biomass of weeds in an SAF composed of forage trees and maize during two cropping cycles (CC). *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia*, and *Moringa oleifera*, associated with maize, and a plot of maize monocrop were evaluated with a complete random block design with three replications. Weed cover, biomass, diversity and density were measured at the beginning, middle and end of the two CC. The weeds were collected in squares delimited by 50×50 cm frames distributed randomly in each experimental unit, separated by species and dried. With this data, an ANOVA was performed, and when significance was detected, the Tukey test ($p \leq 0.05$) was used. At the beginning of the first CC, the SAF *Guazuma* + maize had lower weed cover (41 %), while *Moringa* + maize was higher at the middle and end (71 and 49 %). At the beginning of the second CC, the *Guazuma* + maize SAF had less weed cover, and *Guazuma* + maize and *Leucaena* + maize were lower (54 and 48 %). In both CC, weed biomass in the SAF was almost half that of monocropped maize. At the end of both CC, the *Guazuma* + maize system had less weed diversity than the maize monocrop. At the beginning and end of the two CC, weed density was greater in the monocrop. Eighteen botanical families were identified and, of these, 21 % were leguminous. The suppression of weeds in the SAF was 23 to 36 %. Woody species in SAF reduce weed cover and biomass, relative to maize monocrop.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: enero, 2016. Aprobado: mayo, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 51: 315-328|. 2017.

Key words: Weeds, agroforestry systems, cover, biomass, suppression.

supresión de arvenses en los SAF fue 23 a 36 %. Las especies leñosas en SAF reducen la cobertura y biomasa de arvenses en comparación con el maíz en monocultivo.

Palabras clave: Arvenses, sistemas agroforestales, cobertura, biomasa, supresión.

INTRODUCCIÓN

En Yucatán, México, la milpa o sistema de roza, tumba y quema, es un esquema productivo diversificado en más del 30 % de la superficie cultivada (Bellon *et al.*, 2011). Pero en décadas recientes las bases que lo hacen sostenible se han perdido (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001), debido al uso intenso del suelo y al cambio de los cultivos que se establecen por las políticas agrarias (Pacini *et al.*, 2003).

Este puede conducir a la degradación del suelo, con disminución del rendimiento de los cultivos y aumento de arvenses que se desarrollan por la perturbación ocasionada por el manejo agrícola (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001; Charudattan 2001). Estos son los dos factores principales que limitan la producción de maíz en Yucatán (Latournerie *et al.*, 2006).

A pesar de los esfuerzos de control manual y químico por los campesinos, las arvenses en Yucatán son un problema en el cultivo de maíz por lo cual se desarrollaron nuevas opciones para su control, como el uso de coberturas vivas o muertas (mantillos), en particular de leguminosas, o la intercalación con especies arbustivas o arbóreas (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001; Bainard *et al.*, 2013). Estas especies pueden mantener la humedad del suelo, incorporar materia orgánica, mejorar el ciclaje de nutrimentos y fijar nitrógeno (Segura-Rosel *et al.*, 2012; Bainard *et al.*, 2013).

Los sistemas agroforestales que integran especies leñosas (leguminosas y no leguminosas) con cultivos tradicionales o animales o ambos, son otra opción productiva amigable con el ambiente (Casanova-Lugo *et al.*, 2014), que pueden coadyuvar al control de arvenses (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001). Al respecto, Casanova-Lugo *et al.* (2010) mencionaron que las especies arbóreas pueden producir gran cantidad de follaje y limitar el crecimiento de las arvenses debido a la sombra que las plantas leñosas producen. De hecho las especies arbóreas al tener más biomasa, impiden que las arvenses tengan espacio, luz, humedad

INTRODUCTION

The *milpa*, or slash-and-burn system, is a diversified productive scheme practiced on more than 30 % of the cultivated area of Yucatán, Mexico (Bellon *et al.*, 2011). However, recently, the bases that made it sustainable have been lost (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001) because agricultural policy has established that land use should be intensive and crops changed (Pacini *et al.*, 2003). These changes can lead to soil degradation, with decrease in crop yield and weed increase that grow in areas disturbed by agricultural management (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001; Charudattan 2001). These are the two main factors that limit maize production in Yucatán (Latournerie *et al.*, 2006).

Despite farmers' efforts to control weeds manually and chemically, they persist as a problem for maize production. For this reason, new options were developed, such as using live, or dead, cover crops (mantillas), particularly legumes, or interspersing bush or tree species (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001; Bainard *et al.*, 2013). These species can keep moisture, add organic matter, improve nutrient cycling and fix nitrogen (Segura-Rosel *et al.*, 2012; Bainard *et al.*, 2013).

Agroforestry systems that integrate woody species (leguminous and non-leguminous) with traditional crops or animals, or both, are another productive, environment-friendly option (Casanova-Lugo *et al.*, 2014) that can contribute to weed control (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001). In this regard, Casanova-Lugo *et al.* (2010) mention that tree species can produce a large amount of foliage and limit weed growth because of the shade they provide. In fact, because they have greater biomass, tree species prevent weed species from having the space, light, moisture or nutrients they need for growth. Moreover, some woody plants can have allelopathic effects that inhibit development of herbaceous species (Rippin *et al.*, 1994; Lin *et al.*, 2004; Cummings *et al.*, 2012).

Balandier *et al.* (2006) point out that tree species that have rounded, extended crowns as well as simple oval leaves, such as *Guazuma ulmifolia*, can reduce diversity and abundance of weeds under their canopy because they intercept a large quantity of light. The objective of our study was to determine the dynamics of cover and biomass of weeds in an agroforestry

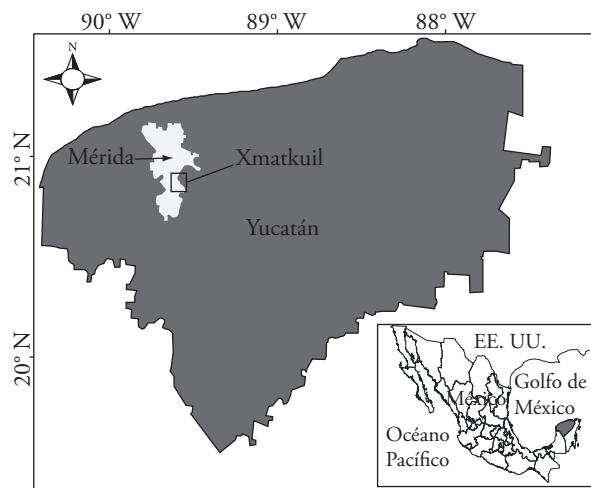
y nutrimentos suficientes para crecer; además, algunas leñosas pueden presentar efectos alelopáticos que inhiben el desarrollo de especies herbáceas (Rippin *et al.*, 1994; Lin *et al.*, 2004; Cummings *et al.*, 2012).

Balandier *et al.* (2006) señalaron que las especies arbóreas con copas redondeadas, extendidas, y hojas simples y ovaladas, como *Guazuma ulmifolia*, pueden reducir la riqueza y abundancia de arvenses debajo del dosel, por la gran cantidad de luz que interceptan. El objetivo de nuestro estudio fue determinar la dinámica de la cobertura y biomasa de arvenses en un sistema agroforestal integrado por árboles forrajeros y maíz durante dos ciclos agrícolas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

El estudio se realizó en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán (21° 51' N y 89° 41' O), en Xmatkuil, Yucatán, México (Figura 1), de junio-octubre de 2011 y de a enero-abril del 2012. El clima de la zona es Aw_0 (García, 1988) y durante los dos últimos años la precipitación anual promedio fue 967 mm, con la mayor precipitación concentrada de junio a octubre y temperatura máxima y mínima promedio de 37.8 y 24.5 °C (Figura 2). Los suelos predominantes son las rendzinas, con fertilidad moderada, 1 a



Fuente: (<http://www.seduma.yucatan.gob.mx/ordenamiento-ecologico/index.php>).

Figura 1. Localización del sitio de estudio en Xmatkuil, Yucatán, México.

Figure 1. Location of the study site in Xmatkuil, Yucatán, Mexico.

system integrated by forage trees and maize during two cropping cycles.

MATERIALS AND METHODS

Study site

The study was conducted on the Campus of Biological and Agricultural Sciences of the Universidad Autónoma de Yucatán (21° 51' N y 89° 41' W), in Xmatkuil, Yucatán, Mexico (Figure 1), from January to April 2012. The region's climate is Aw_0 (García, 1988); in the last two years average annual rainfall was 967 mm, most concentrated in the period from June to October. Average high and low temperatures are 37.8 and 24.5 °C (Figure 2). Predominant soils are moderately fertile rendzinas with 1 to 1.5 % organic carbon (CO) and pH 7.5 to 7.8 (Bautista *et al.*, 2011).

The area's vegetation is classified as low deciduous tropical forest, in which bushes reach heights of 4 to 7 m. The most abundant species are *Gymnopodium floribundum*, *Sapranthus campechianus*, *Bourreria pulchra*, *Diospyros bumeloides*, *Neomillspaughia emarginata*, *Gouania lupuloides*, *Karwinskia humboldtiana*, *Exostema caribaeum*, *Guettarda elliptica*, *Hamelia patens*, *Machaonia lindeniana*, *Randia aculeata*, *R. longiloba*, *Thouinia paucidentata*, *Sideroxylon americanum*, *Celtis iguanaea*, *Callicarpa acuminata*, *Petrea volubilis*, and *Hybanthus yucatanensis*. In addition, there are larger species (8 and 12 m tall) such as *Bursera simaruba*, *Havardia albicans*, *Lysiloma latisiliquum*, *Piscidia piscipula* and *Alvaradoa amorphoides* (Gutiérrez-Báez and Zamora-Crescencio, 2012).

Experimental plot

The experimental plot was established in 2004 and experimental units were located; each plot had a woody species: *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* or *M. oleifera*. The woody plants were established in rows (three per experimental unit): 2.0 m between rows and 0.5 m between plants. Trees were completely pruned (>90 % of the foliage) to 1.0 m above ground level with a use frequency of three months, from the first year of establishment. Auxiliary irrigation was applied during the dry season.

For this study, two crop cycles (CC) were evaluated. In both cycles, maize planting density was 20,000 plants ha^{-1} , using seeds of the local variety "Nal-Xoy", a random cross of "Nal-Tel" with the variety PR7822 (Graefe, 2003). This maize cross has been used since establishment of the experimental plot. Seeds were germinated in plastic trays with 70 wells 3 cm in diameter and 5 cm deep. The seedlings were transplanted 15 d after germination. Before transplanting the maize, the woody species were pruned,

1.5 % de carbono orgánico (CO) y pH de 7.5 a 7.8 (Bautista *et al.*, 2011).

La vegetación de la zona es clasificada como selva baja caducifolia, donde los arbustos alcanzan entre 4 y 7 m de altura, y las especies más abundantes son *Gymnopodium floribundum*, *Sapranthus campechianus*, *Bourreria pulchra*, *Diospyros bumeloides*, *Neomillspaughia emarginata*, *Gouania lupuloides*, *Karwinskia humboldtiana*, *Exostema caribaeum*, *Guettarda elliptica*, *Hamelia patens*, *Machaonia lindeniana*, *Randia aculeata*, *R. longiloba*, *Thouinia paucidentata*, *Sideroxylon americanum*, *Celtis iguanaea*, *Callicarpa acuminata*, *Petrea volubilis*, e *Hybanthus yucatanensis*. Asimismo, existen especies de mayor tamaño (8 y 12 m) como *Bursera simaruba*, *Havardia albicans*, *Lysiloma latisiliquum*, *Piscidia piscipula* y *Alvaradoa amorphoides* (Gutiérrez-Báez y Zamora-Crescencio, 2012).

Parcela experimental

La parcela experimental fue establecida desde el 2004 y se ubicaron unidades experimentales, cada una con una especie leñosa: *L. leucocephala*, *G. ulmifolia* o *M. oleifera*. Las plantas leñosas fueron establecidas en filas (tres por unidad experimental): 2.0 m entre hileras y 0.5 m entre plantas. Una poda total (>90 % del follaje) se aplicó a 1.0 m de altura sobre el nivel del suelo con una frecuencia de aprovechamiento de 3 meses, desde el primer año de establecimiento. El riego de auxilio se aplicó durante la estación seca.

Para este estudio se evaluaron dos ciclos de cultivo (CC) y en ambos la densidad de siembra del maíz fue 20 000 plantas ha⁻¹, con semillas de la variedad local Nal-Xoy, una cruce aleatoria del Nal-Tel y la variedad PR7822 (Graefe, 2003). Desde el establecimiento de la parcela experimental esta cruce de maíz se usó hasta el ciclo más reciente. La germinación se realizó en charolas plásticas de 70 celdas con una apertura de 3 cm de diámetro y una profundidad de 5 cm, y las plántulas se trasplantaron a los 15 d de germinación. Antes del trasplante, las especies leñosas fueron podadas, como se hizo desde el establecimiento de la parcela experimental (Caamal-Maldonado *et al.*, 2012).

El diseño fue de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos fueron: *L. leucocephala* asociada con maíz (*Leucaena* + maíz), *G. ulmifolia* asociada con maíz (*Guazuma* + maíz), *M. oleifera* asociada con maíz (*Moringa* + maíz), y un testigo (monocultivo de maíz).

Muestreo de arvenses

Para conocer la dinámica de las arvenses se realizaron muestreos en tres periodos: 1) inicio de cada CC (julio 2011 y enero 2012), al momento de trasplante del maíz; 2) mitad de cada CC,

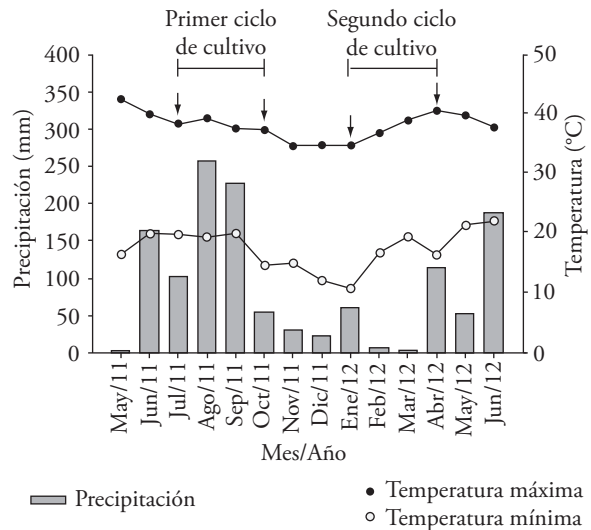


Figura 2. Temperaturas máximas y mínimas, y precipitación en el sitio de estudio. Las flechas indican los momentos de cosecha de biomasa de las especies forrajeras. Los datos fueron tomados de la mini estación climática del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Yucatán, México, de mayo del 2011 a junio de 2012.

Figure 2. High and low temperatures and rainfall in the study site. Arrows indicate harvest dates of forage species biomass. (Data were taken from the mini-weather station of the Campus of Biological and Agricultural Sciences of the Universidad Autónoma de Yucatán, Mexico, from May 2011 to June 2012).

as was done at establishment of the experimental plot (Caamal-Maldonado *et al.*, 2012).

The experimental design was complete random blocks with three replications. The treatments were the following: *L. leucocephala* associated with maize (*Leucaena* + maize), *G. ulmifolia* associated with maize (*Guazuma* + maize), *M. oleifera* associated with maize (*Moringa* + maize), and a control (maize monocrop).

Weed sampling

To understand weed dynamics, samples were taken at three times: 1) at the beginning of each CC (July 2011 and January 2012) when maize was transplanted; 2) at the middle of each CC after the first pruning of forage tree species (August 2011 and March 2012); and 3) at the end of each CC before pruning forage tree species (October 2011 and April 2012).

después de la primera poda de las especies arbóreas forrajeras (agosto 2011 y marzo 2012); y 3) al final de cada CC, antes de la poda de las especies arbóreas forrajeras (octubre 2011 y abril 2012).

Variables de respuesta

La cobertura total de arvenses se estimó a partir de fotografías digitales de alta resolución, tomadas con una cámara Canon Rebel EOS XS de 14.0 megapíxeles, en cuadros metálicos de 0.5×0.5 m, seis por cada unidad experimental y distribuidos en zig-zag, en ambos lados de la hilera central de la especie arbórea respectiva en cada unidad. Dichas imágenes fueron tomadas en un ángulo recto (90°) y a una altura de 1.20 m. Después cada imagen se analizó con el software CobCal versión 2.1 para Windows® para estimar la cobertura (Ferrari *et al.*, 2006).

Dentro de cada cuadro metálico se cosecharon las arvenses con la raíz para determinar el peso fresco de la biomasa total, se separaron por especie para determinar su riqueza (número de especies) y fueron contadas para cuantificar su densidad (individuos m⁻²). Todas las muestras se secaron en una estufa de circulación de aire forzado a 70 °C hasta un peso constante para determinar su contenido de materia seca. También se determinó el potencial de supresión de las arvenses de acuerdo con la fórmula descrita por Rippin *et al.* (1994):

$$Y=100-[(C-X/C)\times 100] \quad (1)$$

donde C es la biomasa de arvenses en el tratamiento testigo (g MS m⁻²) y X es igual a la biomasa de arvenses en el tratamiento correspondiente a los sistemas agroforestales (g MS m⁻²).

Análisis estadísticos

Los datos fueron analizados con un ANDEVA y GLM (SAS Institute, 2004) para examinar el efecto de los sistemas agroforestales sobre la dinámica de la cobertura, biomasa, riqueza y densidad de arvenses en dichos sistemas (SAS Institute, 2004). Para diferencias significativas se usó la prueba de Tukey ($p\leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cobertura de arvenses

Al inicio del primer CC el sistema *Guazuma* + maíz tuvo la cobertura menor de arvenses (41 %), respecto a los demás tratamientos. A la mitad del mismo CC (agosto) el sistema de *Leucaena* + maíz tuvo la cobertura menor de arvenses, le siguió la parcela con *Guazuma* + maíz y el monocultivo de maíz

Response variables

Total weed cover was estimated in 0.5×0.5 m metal frames, six per experimental unit distributed in zig-zag on both sides of the center row of the respective tree species, using high-resolution digital photographs, 14.0 megapixels, taken with a Canon Rebel EOS XS camera. These images were taken at a perpendicular angle (90°) at a height of 1.20 m. Each image was then analyzed with the software CobCal version 2.1 for Windows® to estimate cover (Ferrari *et al.*, 2006).

The weeds inside the metal frame were harvested with roots to determine fresh weight of the total biomass. They were separated by species to determine their diversity (number of species) and counted to quantify their density (individuals m⁻²). All samples were dried in a forced air circulation oven at 70 °C until constant weight to determine dry matter content. Weed suppression potential was also determined with the formula of Rippin *et al.* (1994):

$$Y=100-[(C-X/C)\times 100] \quad (1)$$

where C is weed biomass in the control treatment (g DM m⁻²), and X is equal to the weed biomass in the treatment corresponding to the agroforestry systems (g DM m⁻²).

Statistical analysis

The data were analyzed with an ANOVA using GLM (SAS Institute, 2004) to examine the effect of agroforestry systems on the cover dynamics, biomass, diversity and density of the weeds in these systems (SAS Institute, 2004). For significant differences, the Tukey test ($p\leq 0.05$) was used.

RESULTS AND DISCUSSION

Weed cover

At the beginning of the first CC the *Guazuma* + maize system had less weed cover (41 %), relative to the other treatments. At the middle of this CC (August) the *Leucaena* + maize system had less weed cover, followed by the plot with *Guazuma* + maize and the maize monocrop (control). The latter two were similar to the system with *Moringa* + maíz, which had more weed cover (71 %). At the end of this CC, the systems *Leucaena* + maize, *Guazuma* + maize, and the monocrop continued to have the lowest weed cover (49 %) (Table 1).

At the beginning of the second CC the *Guazuma* + maize system had the least weed cover (37 %)

(testigo), aunque los dos últimos fueron similares al sistema con *Moringa* + maíz, que tuvo la cobertura mayor de arvenses (71 %). Al final del primer CC los sistemas de *Leucaena* + maíz, *Guazuma* + maíz, y el monocultivo mantuvieron la cobertura menor de arvenses (49 %) (Cuadro 1).

Al inicio del segundo CC el sistema *Guazuma* + maíz tuvo la menor cobertura de arvenses (37 %), le siguió *Leucaena* + maíz y el monocultivo de maíz, pero dos últimos no difirieron del sistema con *Moringa* + maíz. A la mitad de este ciclo, la cobertura de arvenses fue similar entre tratamientos (51 % en promedio), pero al final del segundo ciclo los sistemas *Guazuma* + maíz y *Leucaena* + maíz tuvieron menor cobertura de arvenses (48 y 54 %) (Cuadro 1).

En nuestro estudio la asociación de maíz con especies leñosas mostró resultados positivos para el control de arvenses; Esto concuerda con lo reportado por Rippin *et al.* (1994), Caamal-Maldonado *et al.* (2001) y Cummings *et al.* (2012). Esto es cierto, en particular, cuando se hace referencia a la biomasa. Aunque al iniciar cada ciclo se realizó una poda, el desarrollo de las ramas de los árboles sombreó el terreno, sobre todo en *Guazuma*. Asimismo, la caída de hojarasca de forma continua de dicha especie mantiene una cobertura permanente sobre el suelo, lo que

followed by *Leucaena* + maize and the maize monocrop. The latter two were not different from the system with *Moringa* + maize. At the middle of this cycle, weed cover was similar in all treatments (51 % on average), but at the end of the second cycle, *Guazuma* + maize and *Leucaena* + maize had less weed cover (48 and 54 %), (Table 1).

In our study, the association of maize with woody species showed positive results for weed control. This agrees with that reported by Rippin *et al.* (1994), Caamal-Maldonado *et al.* (2001) and Cummings *et al.* (2012). This is true particularly in reference to biomass. Even though the trees were pruned at the beginning of each cycle, later branch development provided shade, especially in *Guazuma*. Moreover, its continuous loss of leaves created permanent cover on the soil, forming a kind of mulch, which limited weed growth. (Caamal-Maldonado *et al.* (2001). In this way, crop associations with leguminous and non-leguminous species can contribute to reducing weed biomass.

It is important to underline that the methods for measuring cover differ among the studies reviewed; in some cover is estimated using indirect (visual) measurements but in our study digital photographs were used because they offer greater precision in measuring this variable (Ferrari *et al.*, 2006).

Cuadro 1. Cobertura de arvenses (m²) en sistemas agroforestales conformados por árboles forrajeros y maíz comparado con un monocultivo de maíz, en dos ciclos de cultivo, en Xmatkuil, Yucatán, México.

Table 1. Weed cover (m²) in agroforestry systems formed by forage trees and maize compared with a maize monocrop in two crop cycles, Xmatkuil, Yucatán, México.

Tratamientos	Primer ciclo de cultivo (muestréos)		
	Inicio	Mitad	Final
<i>Leucaena</i> + maíz	0.480 a	0.580 b	0.390 b
<i>Moringa</i> + maíz	0.520 a	0.710 a	0.490 a
<i>Guazuma</i> + maíz	0.410 b	0.620 ab	0.360 b
Monocultivo de maíz	0.480 a	0.640 ab	0.360 b
Error estándar	0.022	0.029	0.023
Valor p	0.031	0.019	<0.001
	Segundo ciclo de cultivo (muestréos)		
<i>Leucaena</i> + maíz	0.460 ab	0.54 a	0.540 b
<i>Moringa</i> + maíz	0.480 a	0.52 a	0.640 a
<i>Guazuma</i> + maíz	0.370 b	0.46 a	0.480 b
Monocultivo de maíz	0.430 ab	0.51 a	0.660 a
Error estándar	0.024	0.024	0.027
Valor p	0.016	0.167	<0.001

Medias con letras distintas entre filas indican diferencias significativas para cada muestreo (p≤0.05). ♦ Means in a row with different letters indicate significant differences for each sampling period (p≤0.05).

limitaría el desarrollo de arvenses como una especie de mulch (Caamal-Maldonado *et al.* (2001). Así, las asociaciones de cultivos con otras especies leguminosas o no leguminosas, pueden contribuir a reducir la biomasa de arvenses.

Es importante destacar que los métodos de medición de la cobertura difieren entre los estudios consultados; en algunos, la cobertura se estimó con mediciones indirectas (visuales), pero en nuestro estudio se utilizaron fotografías digitales que brindan mayor precisión en la medición de dicha variable (Ferrari *et al.*, 2006).

Aunque el método fotográfico es más preciso para evaluar la cobertura, los resultados no mostraron relación directa con la biomasa de las arvenses. En efecto, el porcentaje de cobertura no permite discriminar si hay mayor o menor cantidad de biomasa; sólo expresa si la superficie está más o menos ocupada por arvenses. Así, puede haber cuadros de muestreo con mayor o menor biomasa y tener ambos la misma cobertura. De hecho, especies con hábitos de crecimiento horizontal (i.e. rastrero, procumbente o ascendente) tendrán cobertura mayor que las especies con crecimiento vertical (i.e. erecto). Asimismo, la forma y disposición de las hojas será fundamental en esta variable (Rippin *et al.*, 1994).

Biomasa de arvenses

Durante el primero y segundo CC los sistemas agroforestales (i.e. *Guazuma* + maíz, *Moringa* + maíz y *Leucaena* + maíz), tuvieron biomasa menor de arvenses que el monocultivo de maíz (Cuadro 2).

En los dos CC la asociación de especies arbóreas forrajeras con maíz disminuyó la biomasa de arvenses con respecto al monocultivo. Las hojas de esas plantas interfirieron con la entrada de luz solar y no permitieron que germinaran las arvenses o que se desarrollaran hasta su reproducción. Lo anterior concuerda con lo reportado por Jama *et al.* (1991), quienes mostraron que la asociación de *L. leucocephala* con maíz puede reducir hasta 90 % la biomasa de arvenses. La anchura mayor de las hojas de *G. ulmifolia* también pudo contribuir a reducir la biomasa de esas especies. Es importante considerar que la poda de los árboles se dio al inicio de cada CC, para obtener el forraje en un esquema de corte y acarreo, lo que permitió a las plántulas de maíz recibir la luz necesaria al inicio

Although we used a more precise photographic method to assess cover, the results did not show a direct relationship to weed biomass. In fact, the percentage of cover does not permit discriminating whether there is more or less biomass; it only expresses whether the surface is more or less occupied by weeds. Thus, there may be sampling frames with more or less biomass that have the same cover. Indeed, species with horizontal growth habits (i.e. creepers, procumbent or ascendant) will cover more ground than species with vertical growth (i.e. straight). Likewise, the shape and angle of the leaves are fundamental elements of this variable (Rippin *et al.*, 1994).

Weed biomass

During the first and second CC, the agroforestry systems (i.e. *Guazuma* + maize, *Moringa* + maize and *Leucaena* + maize) had less weed biomass than the maize monocrop (Table 2).

In both CC the association of forage tree species with maize decreases weed biomass, relative to the monocrop. The leaves of these trees intercepted sunlight, so that weeds did not germinate or did not develop to their reproductive stage. This agrees with Jama *et al.* (1991), who showed that the association of *L. leucocephala* with maize can reduce weed biomass up to 90 %. The broader leaves of *G. ulmifolia* may also have contributed to reducing the biomass of these species. It is important to consider that pruning the trees at the beginning of each CC, to obtain forage in a cut and carry scheme, permitted the maize seedlings to receive the light necessary to begin their development. Regrowth of tree leaves gradually shaded the soil surface, affecting weed germination and establishment. We can add the fact of the litter of the trees, among which *G. ulmifolia* is especially relevant, covered the space like a true carpet with greater effect on weed development.

At the beginning of the experiment, we proposed assessing forage production and maize yield in agroforestry arrays. That is, the trees were not established as a method of weed control. Nevertheless, the effect of woody species on herbaceous plants is important and can contribute to success of the system and reduce the use of external inputs such as herbicides.

Cuadro 2. Biomasa de arvenses (g MS m⁻²) en sistemas agroforestales conformados por árboles forrajeros y maíz comparado con un monocultivo de maíz, en dos ciclos de cultivo, en Xmatkuil, Yucatán, México.**Table 2. Weed biomass (g DM m⁻²) in agroforestry systems consisting of forage trees and maize compared with maize monocrop, in two crop cycles, Xmatkuil, Yucatán, México.**

Tratamientos	Primer ciclo de cultivo (muestreos)		
	Inicio	Mitad	Final
<i>Leucaena</i> + maíz	273.200 b	430.000 b	355.600 b
<i>Moringa</i> + maíz	224.400 b	431.600 b	266.800 c
<i>Guazuma</i> + maíz	177.600 b	361.200 b	292.400 c
Monocultivo de maíz	386.800 a	571.200 a	437.600 a
Error estándar	25.600	40.720	24.100
Valor p	<0.001	0.005	<0.001
	Segundo ciclo de cultivo (muestreos)		
<i>Leucaena</i> + maíz	368.800 b	214.400 b	264.400 b
<i>Moringa</i> + maíz	376.800 b	223.200 b	260.000 b
<i>Guazuma</i> + maíz	315.600 b	208.800 b	226.800 b
Monocultivo de maíz	472.400 a	268.800 a	334.400 a
Error estándar	27.600	14.600	17.310
Valor p	0.002	0.020	<0.001

Medias con letras distintas entre filas indican diferencias significativas para cada muestreo ($p \leq 0.05$). ♦ Means in a row with different letters indicate significant differences for each sampling period ($p \leq 0.05$).

de su desarrollo. El rebrote de las hojas de los árboles sombreó paulatinamente la superficie del suelo, lo que incidió en la germinación y establecimiento de las arvenses. Además, la hojarasca de los árboles, con especial relevancia la *G. ulmifolia*, que cubrió el espacio como una auténtica alfombra, pudo afectar más el desarrollo de las arvenses.

Al inicio el experimento se planteó para evaluar la producción de forraje y el rendimiento de maíz en arreglos agroforestales. Es decir, los árboles no se establecieron como un método de control de arvenses. Pero la importancia de las especies leñosas sobre las herbáceas puede contribuir al éxito del sistema y a disminuir el uso de insumos externos, como los herbicidas.

Riqueza de arvenses

La riqueza de arvenses al inicio y a la mitad del primero y segundo CC fue similar en los tratamientos evaluados. Sin embargo, al final de ambos ciclos, el sistema agroforestal conformado por *Guazuma* + maíz destacó por presentar menos especies de arvenses que el monocultivo de maíz (Cuadro 3). Esto concuerda con la dinámica de la biomasa de estas especies en el tratamiento respectivo: hubo menores valores de esa variable, y coincide con menos especies en el mismo.

Weed diversity

Weed diversity at the beginning and middle of the first and second CC was similar in the evaluated treatments. However, at the end of both cycles, the agroforestry system *Guazuma* + maize was outstanding because it had fewer weed species than the maize monocrop (Table 3). This agrees with the dynamics of the biomass of these species in the respective treatments: lower values of this variable coincide with fewer species in the treatment.

Forty-seven species belonging to 18 families were identified. Of these, more than 21 % were leguminous (Fabaceae), followed by the families Poaceae (12.8 %), Asteraceae, (10.6 %), Malvaceae, (8.5 %), y Euphorbiaceae (8.5 %), which together account for more than 61 % of all the species found (Figure 3).

Diversity of the weed species at the end of the two CC was lower where *G. ulmifolia* was present than with the presence of other tree species and the maize monocrop. This can be explained by *G. ulmifolia*'s architecture: its leaves form a dense crown that limits entry of sunlight. Although cover of forage plants was not measured, we could observe that, unlike *G. ulmifolia*, *L. leucocephala*, even when branches sprout from the trunk base, permits entry of light, which

Las especies identificadas fueron 47 y pertenecen a 18 familias, de las cuales más del 21 % son leguminosas (Fabaceae), seguida de las familias de Poaceae (12.8 %), Asteraceae, (10.6 %), Malvaceae, (8.5 %), y Euphorbiaceae (8.5 %), y juntas conforman más del 61 % de todas las especies encontradas (Figura 3).

La riqueza de especies de arvenses, al final de los dos CC, fue menor donde estuvo presente *G. ulmifolia*, que con la presencia de otras especies arbóreas y el monocultivo de maíz. Esto se puede explicar por la forma arquitectónica que posee dicha especie comparado con las otras leñosas: sus hojas se disponen en una copa densa que limita la entrada de luz. Aunque no se midió la cobertura de las plantas forrajeras, pudo observarse que, al contrario de *G. ulmifolia*, *L. leucocephala*, aunque rebrota con ramas desde la base del tronco, permite la entrada de luz necesaria para las plantas heliófilas como las arvenses. Asimismo, *M. oleifera* tiene un crecimiento peculiar a partir de las podas: el tronco se elonga y las ramas rebrotan en la parte superior, como formando un “plumero”. Ello, además de que sus ramas no crean una copa densa, permitiría la emergencia de especies de arvenses. Segura-Rosel *et al.* 2012) indican que *G. ulmifolia* tiene hojas grandes (simples) que al caer en el suelo persisten como hojarasca por más de cuatro semanas. Según Casanova-Lugo *et al.* (2014), la

is necessary for heliophilous plants such as weeds. Moreover, *M. oleifera* has peculiar growth after pruning: the trunk lengthens and the branches sprout in the upper part, similar to the shape of a feather duster. This, together with the fact that its branches do not form a dense crown, permits the emergence of weed species. In this regard, Segura-Rosel *et al.* (2012) indicate that *G. ulmifolia* has large simple leaves that, after falling, persist on the ground as litter for more than four weeks. Besides, Casanova-Lugo *et al.* (2014) report that the biomass composition of *G. ulmifolia* has an influence in the number and seasonality of the species under its canopy. Thus, it can create a moist shaded microclimate that would limit the presence of weeds.

Fabaceae, Poaceae and Asteraceae were the predominating botanical weed families in the agroforestry systems formed by forage species and maize. This is in agreement with Caamal-Maldonado *et al.* (2001), who found that the most important weeds were Asteraceae, Poaceae, Fabaceae and Acanthaceae in their study of the allelopathic effects of four leguminous species, *Mucuna deeringiana*, *Canavalia ensiformis*, *L. leucocephala* and *Lysiloma latisiliquum*, on weed control in maize crops in Yucatán. But in Havana, Cuba, in a maize crop preceded by a transitory fallow after growing

Cuadro 3. Número de especies (en 0.5 m²) en sistemas agroforestales conformados por árboles forrajeros y maíz comparado con un monocultivo de maíz, en dos ciclos de cultivo, en Xmatkuil, Yucatán, México.

Table 3. Number of species (in 0.5 m²) in agroforestry systems consisting of forage trees and maize compared with a maize monocrop in two cropping cycles, Xmatkuil, Yucatán, México.

Tratamientos	Primer ciclo de cultivo (muestreos)		
	Inicio	Mitad	Final
<i>Leucaena</i> + maíz	3.200 a	6.400 a	3.600 ab
<i>Moringa</i> + maíz	3.300 a	6.300 a	3.300 ab
<i>Guazuma</i> + maíz	2.700 a	6.000 a	2.900 b
Monocultivo de maíz	3.400 a	6.900 a	4.400 a
Error estándar	0.250	0.460	0.330
Valor p	0.182	0.534	0.016
	Segundo ciclo de cultivo (muestreos)		
<i>Leucaena</i> + maíz	5.100 a	3.000 a	3.000 ab
<i>Moringa</i> + maíz	5.500 a	3.400 a	3.000 ab
<i>Guazuma</i> + maíz	4.700 a	2.900 a	2.600 b
Monocultivo de maíz	5.900 a	3.100 a	3.700 a
Error estándar	0.350	0.270	0.230
Valor p	0.110	0.663	0.014

Medias con letras distintas entre filas indican diferencias significativas para cada muestreo (p≤0.05). ♦ Means in a row with different letters indicate significant differences for each sampling period (p≤0.05).

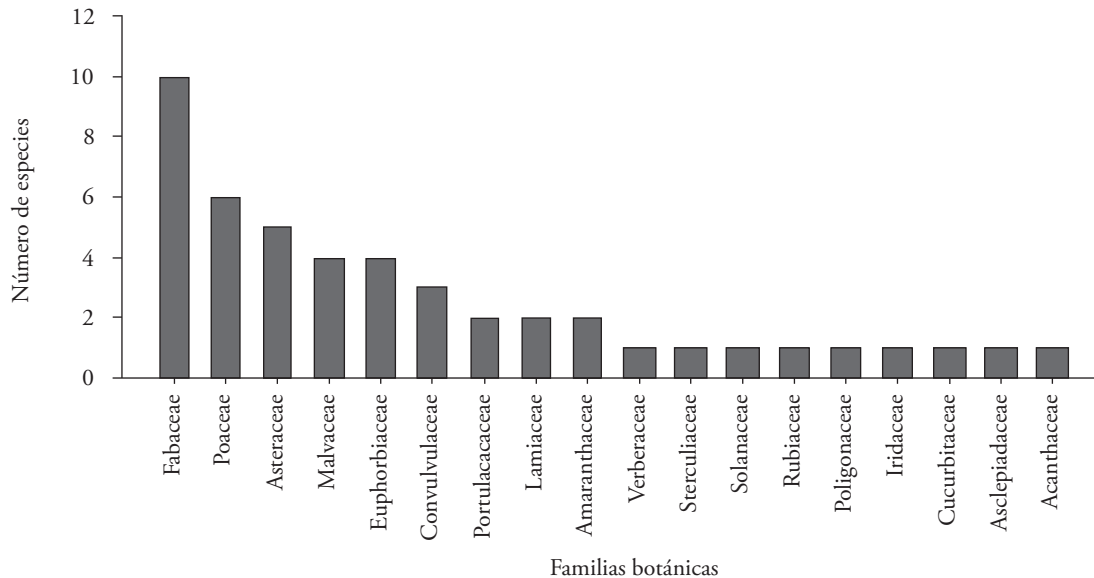


Figura 3. Familias botánicas de las arvenses asociadas a los sistemas agroforestales conformados por árboles forrajeros y maíz en Xmatkuil, Yucatán, México.

Figure 3. Botanical families of the weeds associated with agroforestry systems consisting of forage trees and maize in Xmatkuil, Yucatán, México.

composición de *G. ulmifolia* influye en la cantidad y estacionalidad de las especies que están debajo del dosel; además, puede generar un microclima húmedo y sombreado que limitaría la presencia de las arvenses.

Las Fabaceae, Poaceae y Asteraceae fueron las familias botánicas de arvenses predominantes en los sistemas agroforestales conformados por especies forrajeras y maíz. Esto concuerda con Caamal-Maldonado *et al.* (2001), quienes reportan que las arvenses con mayor importancia fueron Asteraceae, Poaceae, Fabaceae y Acanthaceae, al estudiar los efectos aleopáticos de las leguminosas *Mucuna deeringiana*, *Canavalia ensiformis*, *L. leucocephala* y *Lysiloma latisiliquum*, en el control de arvenses en el cultivo de maíz en Yucatán. Pero en La Habana, Cuba, en un cultivo de maíz precedido de un barbecho transitorio después del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) las familias de arvenses dominantes fueron las Poaceae y Euphorbiaceae (Blanco y Leyva, 2010). Esto indica que la diversidad de arvenses está relacionada con las condiciones edafo-climáticas de la zona, así como con las prácticas culturales precedentes, relacionadas con el daño residual de los herbicidas selectivos.

potatoes (*Solanum tuberosum*), the dominant weed families were Poaceae and Euphorbiaceae (Blanco and Leyva, 2010). This suggests that the diversity of weeds is related to edaphic-climatic conditions of the region, as well as to preceding cultural practices related mainly to residual damage by selective herbicides.

Weed density

At the beginning of the first CC, the treatments were similar in terms of weed density. In contrast, at the middle of this cycle, the highest weed density occurred in the maize monocrop. In the same way, at the end of this first cycle, the maize monocrop accumulated a higher weed density; the lowest density corresponded to the agroforestry systems *Guazuma* + maize and *Moringa* + maize, with statistically similar values (Table 4).

At the beginning and end of the second CC, the maize monocrop had the highest density of weeds. Nevertheless, at the middle of this second period, there were no significant differences among the assessed systems (Table 4).

Densidad de arvenses

En el inicio del primer CC los tratamientos fueron similares en cuanto a la densidad de arvenses. En contraste, a la mitad de ese ciclo la mayor densidad de arvenses se presentó en el monocultivo de maíz. Del mismo modo, al final de este primer ciclo, el monocultivo de maíz acumuló la mayor densidad de arvenses, y la menor correspondió a los sistemas agroforestales *Guazuma* + maíz y *Moringa* + maíz, con valores similares estadísticamente (Cuadro 4).

Al inicio y al final del segundo CC el monocultivo de maíz presentó la mayor densidad de arvenses, que los sistemas agroforestales. No obstante, a la mitad de este segundo periodo no se presentaron diferencias significativas entre los sistemas evaluados (Cuadro 4).

Respecto a la densidad de arvenses, a la mitad y al final del primer ciclo el monocultivo de maíz tuvo el mayor valor, como se esperaba, porque la presencia de árboles en los cultivos puede reducir la presencia de herbáceas poco tolerantes a la sombra. En los tratamientos con árboles, la poda aumenta la presencia de especies arvenses, pero al recuperarse del corte se limitan de nuevo las condiciones para el desarrollo de las plantas herbáceas. Barbier *et al.* (2008) indican que la disminución de la densidad de arvenses se genera por la variación en la disponibilidad de recursos

Regarding weed density, at the middle and end of the first cycle, the maize monocrop had the highest value, as was expected, given that the presence of the trees in the other systems can reduce shade-intolerant weeds. In the treatments with trees, pruning increases the presence of weed species, but when the trees recover, they again limit the conditions for growth of herbaceous plants. Barbier *et al.* (2008) indicate that weed density decreases because of the variation in availability of resources such as light and other effects caused by the characteristics of tree species.

In the second CC, the maize monocrop had a larger quantity of weeds, and since there were no tree species in this treatment, weeds exerted more pressure. In this sense, Ayala-Sánchez *et al.* (2007) mention that in the traditional systems, there is greater presence of weeds because, when there is activity in the soil, the latent seeds germinate and their competitive potential is greater. This was more evident in our study since the site had been cultivated for more than eight years (Caamal-Maldonado *et al.*, 2012). In addition, the trees associated with maize limited weed development. It is also important to mention that in another experiment in the same plot, yield of maize monocrop increased when *L. leucocephala* and *G. ulmifolia* foliage was applied as cover (Gallegos-Pérez *et al.*, 2013). This coincides with Jama *et al.*

Cuadro 4. Densidad de arvenses (individuos m⁻²) en sistemas agroforestales conformados por árboles forrajeros y maíz comparado con un monocultivo de maíz, en dos ciclos de cultivo, en Xmatkuil, Yucatán, México.

Table 4. Weed density (individuals m⁻²) in agroforestry systems consisting of forage trees and maize compared with a maize monocrop, in two cropping cycles in Xmatkuil, Yucatán, México.

Tratamientos	Primer ciclo de cultivo (muestreos)		
	Inicio	Mitad	Final
<i>Leucaena</i> + maíz	9.100 a	11.600 b	6.700 ab
<i>Moringa</i> + maíz	7.600 a	11.200 b	5.800 b
<i>Guazuma</i> + maíz	7.100 a	10.600 b	5.100 b
Monocultivo de maíz	9.400 a	16.400 a	8.200 a
Error estándar	0.960	1.550	0.780
Valor p	0.236	0.039	0.038
	Segundo ciclo de cultivo (muestreos)		
<i>Leucaena</i> + maíz	8.800 b	5.500 a	8.500 b
<i>Moringa</i> + maíz	9.100 b	5.300 a	8.400 b
<i>Guazuma</i> + maíz	8.000 b	5.300 a	6.400 c
Monocultivo de maíz	12.400 a	7.100 a	10.100 a
Error estándar	0.860	0.620	0.510
Valor p	0.004	0.099	<0.001

Medias con letras distintas entre filas indican diferencias significativas para cada muestreo (p≤0.05). ♦ Means in a row with different letters indicate significant differences for each sampling period (p≤0.05).

como la luz y otros efectos causados por las características de las especies arbóreas.

En el segundo CC, el monocultivo de maíz tuvo la mayor cantidad de arvenses y al no haber especies arbóreas en ese tratamiento, la presión de las arvenses es mayor. En este sentido, Ayala-Sánchez *et al.* (2007) mencionan que en los sistemas tradicionales en el segundo CC hay mayor presencia de arvenses porque al haber actividad en el suelo, las semillas latentes germinan y su potencial de competencia es mayor. Ello fue más evidente en este estudio puesto que en el mismo sitio se ha cultivado por más de ocho años (Caamal-Maldonado *et al.*, 2012). Asimismo, los árboles asociados con maíz, limitaron el desarrollo de las arvenses. También, es importante mencionar que en otro experimento en la misma parcela, el rendimiento de maíz en monocultivo aumentó al aplicar el follaje de *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* como cobertura (Gallegos-Pérez *et al.*, 2013). Ello concuerda con lo reportado por Jama *et al.* (1991), quienes sostienen que el uso de leguminosas arbóreas (i.e. *L. leucocephala*) como abono verde en el cultivo de maíz incrementa el rendimiento de maíz en 24 a 76 %. Lo anterior fue corroborado por Rippin *et al.* (1994) con otras leguminas arbóreas como *Erythrina poeppigiana* y *Gliricidia sepium*. En este contexto, es posible señalar que los sistemas agroforestales tienen el potencial para generar sistemas de producción sostenibles al propiciar un mejor control de arvenses.

Supresión potencial de arvenses

Los potenciales de supresión de arvenses variaron de 23 % a 36 % en los sistemas agroforestales evaluados, en comparación con el monocultivo de maíz. El sistema agroforestal *Guazuma* + maíz presentó el mayor potencial, seguido por los sistemas *Moringa* + maíz y *Leucaena* + maíz. En consecuencia, el monocultivo de maíz tuvo la mayor proporción relativa de arvenses que los sistemas agroforestales (Figura 4).

El efecto supresor de arvenses de los árboles reportado por Jama *et al.* (1991) también se observó en nuestro estudio, pero en un grado menor porque los sistemas agroforestales evaluados redujeron de 23 % a 36 % la biomasa de arvenses, comparado con el monocultivo. Este efecto supresor fue más evidente con el maíz asociado con *G. ulmifolia*, por razones ya explicadas: tamaño de las hojas que limita la entrada de luz, permanencia de hojarasca en el suelo de esta

(1991), who sustain that the use of leguminous trees (i.e. *L. leucocephala*) as green organic fertilizer in maize cultivation increases yield by 24 to 76 %. This was also corroborated by Rippin *et al.* (1994), who used other leguminous trees, such as *Erythrina poeppigiana* and *Gliricidia sepium*. In this context, it is possible to point out that agroforestry systems have the potential to generate sustainable production systems by promoting better weed control.

Potential weed suppression

Potential weed suppression varied from 23 % to 36 % in the agroforestry systems evaluated, relative to the maize monocrop. The *Guazuma* + maize agroforestry system had the highest potential, followed by the *Moringa* + maize and *Leucaena* + maize systems. Consequently, the maize monocrop had the highest relative proportion of weeds (Figure 4) of the four treatments.

The weed-suppressing effect of trees reported by Jama *et al.* (1991) was also observed in our study, although to a lesser degree; the agroforestry systems we evaluated produced 23 % to 36 % less weed biomass than the monocrop. This suppressing effect was more evident with maize associated with *G. ulmifolia* for the reasons given above: leaf size limiting the entry of light, permanence of leaf litter on the soil, and modification of the microclimate. It is also feasible that the nature and content of chemical compounds, especially of secondary metabolites in the plant leaves, have significant effects on weed germination and growth. For example, *L. leucocephala* leaf litter contains compounds that limit weed development (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001). The amino acid mimosine is possibly the main compound responsible for this effect. However, few studies focus on determining whether said compounds act individually or in conjunction, in order to promote them for weed control, particularly in agroforestry systems.

The search for sustainable alternatives for weed management involves maximizing beneficial ecological processes in agroecosystems to maintain weed populations at low thresholds so they do not negatively affect crop growth and development (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001; Cummings *et al.*, 2012). To this end, it is necessary to identify the type of biodiversity that is desirable to maintain or

especie, y modificación del microclima. También es factible que la naturaleza y contenido de compuestos químicos, en especial de metabolitos secundarios en las hojas de las plantas, puedan ejercer efectos significativos en la germinación y crecimiento de arvenses. Por ejemplo, la hojarasca de *L. leucocephala* tiene compuestos que limitan el desarrollo de arvenses (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001). El aminoácido mimosina es el principal compuesto posiblemente responsable de tal efecto. Sin embargo, hay pocos estudios para determinar si dichos compuestos actúan individualmente o en conjunto, y así promoverlos para controlar arvenses, más aún en sistemas agroforestales.

La búsqueda de alternativas sustentables para el manejo de las arvenses involucra maximizar los procesos ecológicos benéficos dentro de los agroecosistemas. Así, se busca mantener las poblaciones de arvenses a umbrales bajos para que no afecten negativamente el crecimiento y desarrollo de los cultivos (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001; Cummings *et al.*, 2012). Para ello es necesario identificar el tipo de biodiversidad deseable a mantener o ampliar, para plantear las mejores prácticas (Lin *et al.*, 2004; Barbier *et al.*, 2008), y reducir el uso de herbicidas a niveles mínimos (Cummings *et al.*, 2012). Si bien los sistemas agrícolas son más simples en comparación con los ecosistemas naturales, hay opciones para rediseñar y manejar sistemas agroecológicos y reducir las poblaciones de las arvenses (Charudattan, 2001). En esas alternativas están los sistemas agroforestales, por las bondades que ofrecen al productor y al ambiente.

CONCLUSIONES

La presencia de especies arbóreas en sistemas agroforestales contribuye a reducir la biomasa y la cobertura de arvenses en el cultivo de maíz, comparado con el monocultivo de maíz. En especial, por la forma y disposición de las hojas parece ser el elemento clave en el control de arvenses. La especie leñosa *G. ulmifolia*, asociada con maíz, reduce la biomasa, la densidad y la riqueza de arvenses, comparado con el monocultivo; así contribuye a su control en los sistemas productivos. Además, ofrece una alternativa para reducir el uso de agroquímicos (i.e. herbicidas), lo que puede promover la producción de alimentos inocuos y contribuir a la conservación de los recursos naturales.

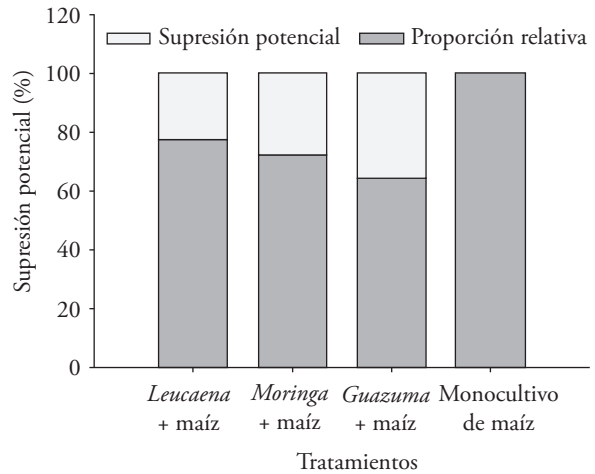


Figura 4. Supresión potencial y proporción relativa de arvenses en sistemas agroforestales conformados por árboles forrajeros y maíz comparado con un monocultivo de maíz, en dos ciclos de cultivo, en Xmatkuil, Yucatán, México.

Figure 4. Potential suppression and relative proportion of weeds in agroforestry systems consisting of forage trees and maize compared with a maize monocrop, in two crop cycles in Xmatkuil, Yucatán, México.

broaden in order to propose better practices (Lin *et al.*, 2004; Barbier *et al.*, 2008) and reduce the use of herbicides to minimal levels (Cummings *et al.*, 2012). Although agricultural systems are simpler than natural ecosystems, there are options for redesigning and managing agroecological systems and reduce weed populations (Charudattan, 2001). Among these alternatives are included agroforestry systems, which offer benefits for both the farmer and the environment.

CONCLUSIONS

The presence of tree species in agroforestry systems contributes to decreasing weed biomass and cover in associated maize crops, as compared with maize monocrop. In particular, the shape, angle and placement of the leaves seems to be the key element in controlling weeds. The woody species *G. ulmifolia*, associated with maize, reduces weed biomass, density and diversity, relative to the maize monocrop, contributing to weed control in productive systems. Moreover, they offer an alternative to the use of agrochemicals (i.e. herbicides), which could promote production of safe foods and contribute to the conservation of natural resources.

LITERATURA CITADA

- Ayala-Sánchez, A., L. Krishnamurthy, J. A. Basulto-Graniel, and J. A. Leos-Rodríguez. 2007. Native tree legumes for improvement of slash-and-burn maize system in Yucatan, Mexico. *Terra Latinoam.* 25: 195-202.
- Bainard, L. D., A. M. Koch, A. M. Gordon, and J. N. Klironomos. 2013. Growth response of crops to soil microbial communities from conventional monocropping and tree-based intercropping systems. *Plant Soil* 363: 345-356.
- Balandier, P., C. Collet, J. H. Miller, P. E. Reynolds, and S. M. Zedaker. 2006. Designing forest vegetation management strategies based on the mechanisms and dynamics of crop tree competition by neighboring vegetation. *Forestry* 79: 3-27.
- Barbier, S., F. Gosselin, and P. Balandier. 2008. Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved a critical review for temperate and boreal forests. *For. Ecol. Manage.* 254: 1-15.
- Bautista, F., G. Palacio-Aponte, P. Quintana, and J. A. Zinck. 2011. Spatial distribution and development of soils in tropical karst areas from the Peninsula of Yucatan, Mexico. *Geomorphology* 135: 308-321.
- Bellon, M. R., D. Hodson, and J. Hellin. 2011. Assessing the vulnerability of traditional maize seed systems in Mexico to climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108: 13432-13437.
- Blanco, Y., y Á. Leyva. 2010. Abundancia y diversidad de especies de arvenses en el cultivo de maíz (*Zea mays*, L.) Precedido de un barbecho transitorio después de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Trop.* 31: 12-16.
- Caamal-Maldonado, J. A., J. J. Jiménez-Osornio, A. Torres-Barragán, and A. L. Anaya. 2001. The use allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. *Agron. J.* 93: 27-36.
- Caamal-Maldonado, J. A., F. Casanova-Lugo, A. González-Moreno, J. Caamal-Caamal, P. Xiu-Canché, A. J. Navarro, J. B. Castillo-Caamal. 2012. Producción de alimento, forraje y servicios ambientales de sistemas agroforestales en Yucatán, México. *In: Castelán O., A. Álvarez-Macías, A. Bernués-Jal, J. C. Ku-Vera, y V. Silveira (eds). Avances de Investigación en Producción Animal en Iberoamérica. Ediciones de la UADY, México. pp: 79-104.*
- Casanova-Lugo, F., J. Petit-Aldana, F. Solorio-Sánchez, D. Parsons, and L. Ramírez-Avilés. 2014. Forage yield and quality of *Leucaena leucocephala* and *Guazuma ulmifolia* in mixed and pure fodder banks systems in Yucatan, Mexico. *Agrofor. Syst.* 88: 29-39.
- Casanova-Lugo, F., L. Ramírez-Avilés, F. J. Solorio-Sánchez. 2010. Effect of pruning interval on foliage and root biomass in forage tree species in monoculture and in association. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 12: 33-41.
- Charudattan, R. 2001. Biological control of weeds by means of plant pathogens: Significance for integrated weed management in modern agro-ecology. *BioControl* 46: 229-260.
- Cummings, J. A., I. M. Parker, and G. S. Gilbert. 2012. Allelopathy: a tool for weed management in forest restoration. *Plant Ecol.* 213: 1975-1989.
- Ferrari, H., C. Ferrari, y F. Ferrari. 2006. CobCal v 2.1. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Paraguay. <http://www.cobcal.com.ar/> (Consulta: Marzo 2014).
- Gallegos-Pérez, M., A. Caamal-Maldonado, F. Casanova-Lugo, y R. Tzuc-Martínez. 2013. Rendimiento de forraje de especies arbóreas en sistemas agroforestales y su uso como abono verde para el maíz. *In: La contribución del sector pecuario a la seguridad alimentaria en México. Chay-Canul, A.J., y F. Casanova-Lugo (eds). UJAT, Villahermosa, Tabasco, México. pp: 943-946.*
- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, D.F.
- Graefe, S. 2003. Crop and Soil Variability in Traditional and Modern Mayan Maize Cultivation of Yucatán, Mexico. Kassel University Press.
- Gutiérrez-Báez, C., y P. Zamora-Crescencio. 2012. Especies leñosas de la selva baja caducifolia de Xmatkuil, Yucatán, México. *Foresta Veracruzana* 14: 9-14.
- Jama, B., A. Getahun, and D. N. Ngugi. 1991. Shading effects of alley cropped *Leucaena leucocephala* on weed biomass and maize yield at Mtwapa, Coast Province, Kenya. *Agrofor. Syst.* 13:1-11.
- Latournerie, L., J. Tuxill, E. Yupit-Moo, L. Arias-Reyes, J. C. Alejo, and D. I. Jarvis. 2006. Traditional Maize Storage Methods of Mayan Farmers in Yucatan, Mexico: Implications for seed selection and crop diversity. *Biodivers. Conserv.* 15: 1771-1795.
- Lin, D., E. Tsuzuki, Y. Dong, H. Terao, and T. D. Xuan. 2004. Potential biological control of weeds in rice fields by allelopathy of dwarf lilyturf plants. *Biocontrol* 49: 187-196.
- Pacini, C., A. Wossink, G. Giesen, C. Vazzana, and R. Huirne. 2003. Evaluation of sustainability of organic, integrated and conventional farming systems: a farm and field-scale analysis. *Agric. Ecosyst. Environ.* 95: 273-288.
- Rippin, M., J. P. Haggard, D. Kass, and U. Kopke. 1994. Alley cropping and mulching with *Erythrina poeppigiana* (Walp.) O. F. Cook and *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp.: effects on maize/weed competition. *Agrofor. Syst.* 25: 119-134.
- SAS Institute. 2004. Statistical Analysis System, Users. SAS Institute, Cary, N.C. USA.
- Segura-Rosel, A., F. Casanova-Lugo, F. J. Solorio-Sánchez, and A. J. Chay-Canul. 2012. Association of woody species in fodder banks: influence on litter production, decomposition and nitrogen release. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.* 15: 61-69.