



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
DOCTORADO EN CIENCIAS (BIOLOGÍA)  
FACULTAD DE CIENCIAS  
LÍNEA DE ECOLOGÍA

MANEJO DE ARVENSES Y MEJORAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE MAÍZ CON  
LEGUMINOSAS DE COBERTURA, EN YUCATÁN

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
DOCTOR. EN CIENCIAS

PRESENTA:  
JESÚS ARTURO CAAMAL MALDONADO

TUTOR:  
DR. JUAN JOSÉ MARÍA JIMÉNEZ OSORNIO  
CAMPUS DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS,  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR  
DRA. ANA LUISA ANAYA LANG  
INSTITUTO DE ECOLOGÍA, UNAM  
DRA. SILVIA DEL AMO RODRÍGUEZ  
CENTRO DE INVESTIGACIONES TROPICALES  
UNIVERSIDAD VERACRUZANA

MÉXICO, D.F. NOVIEMBRE 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD**

“Este trabajo no ha sido aceptado para el otorgamiento de título o grado alguno. La tesis es resultado de las investigaciones del autor, excepto donde se indican las fuentes de información consultadas. El autor otorga su consentimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México para la reproducción del documento, con el fin de intercambio bibliotecario”

M. en C. Jesús Arturo Caamal Maldonado

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mis amados padres: Leyla y Alfredo.

En recuerdo de mi hermano Alfredo Armando y de mis hermanitas Beatriz del Rosario y Leyla Guadalupe. Nunca los olvidaremos.

Con todo el inmenso cariño para mis hermanitas Rosa Catalina y Velia Araceli, con quienes hemos conformado una familia maravillosa; también para sus respectivos compañeros, Óscar y Arturo.

Para todos mis sobrinos (as), que son en verdad como mis hijos (as): en riguroso orden de aparición en nuestras vidas: Gustavo Alfredo, Diego David, Jehiely Itzel, Diana Leyla, Mariana Melissa. Y claro, para el más reciente, el sobrino nieto, el adorado Matías. También, por supuesto, para mis sobrina Julieta, compañera de Gustavo y para Adán, compañero de Jehiely.

Para mis queridas primas por el lado materno, Emma y Rosa Isela, con quienes nos encontramos de nuevo en la bella Mérida, luego de haber crecido en el añorado Distrito Federal.

Para mis queridas primas por el lado paterno: Lupita, María Eugenia, Linda y Paulina, con las que he compartido momentos muy especiales desde que llegué a vivir a la hermosa ciudad de Mérida; también para sus queridos hijos, que representan a mi familia extensa en Yucatán.

Para todos mis amigos, pues tengo la fortuna de tener muchos; en verdad han demostrado que lo son, en gran medida.

Por último, pero no menos importante, para ti, que llegaste en realidad como caída del cielo, para alegrar mi corazón; en él vivirás siempre como su auténtica dueña, aunque la vida nos lleve por distintos caminos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi agradecimiento a las personas e instituciones que hicieron posible la finalización de mi tesis de Doctorado; espero que la memoria sea capaz de reconocer a todos los que fueron fundamentales para llegar a esta etapa académica.

En primer lugar, a la UNAM, mi casa de siempre, en la cual inicié mi formación desde bachillerato, la continué como Biólogo y en la que ahora concluyo esta etapa del posgrado. En particular, a la Facultad de Ciencias, sitio que dejó su huella indeleble en mi pensamiento.

A la Universidad Autónoma de Yucatán, con especial mención al ahora Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CCBA), antes Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ), donde pude continuar mi formación como persona, profesor e investigador, y en la cual he conocido gente valiosísima en lo profesional y en lo personal. Gracias mil a los directores que me permitieron realizar allí los experimentos cuyos resultados ahora presento: M. en C. Fernando Herrera y Gómez, Dr. José de Jesús Williams y M. en C. Marco Torres León.

Mi mayor agradecimiento al Dr. Juan José Jiménez Osornio, Director de esta Tesis, por todo su apoyo y motivación durante tantos años.

A las Dras. Ana Luisa Anaya y Silvia del Amo, integrantes del Comité Tutorial, por todas las revisiones, sugerencias y consejos durante la elaboración de la tesis; pero, más que eso, por ser auténticas guías para mi crecimiento personal y profesional

A la Dra. Rocío Cruz Ortega, integrante del sínodo, por sus acertadas correcciones al documento final. También por su gran amistad y todas sus palabras de motivación durante tantos años.

Al Dr. Javier Solorio, por sus acertados comentarios sobre el documento de tesis, y por todo su apoyo durante el proceso de graduación.

Al Dr. José B. Castillo Caamal, por su valiosa amistad y por las sesiones de discusión sobre la tesis, formales e informales, que fueron fundamentales para guiar este trabajo. Muchas gracias, en verdad.

Al Dr. Roberto Belmar Casso, gran amigo, quien gracias a su presión y apoyo constantes, en su muy peculiar estilo, hizo que llegara a la meta añorada.

Al Dr. Fernando Casanova, joven y gran investigador, quien fue de invaluable apoyo en la sección de sistemas agroforestales de esta tesis, tanto en la discusión de aspectos particulares como en el análisis estadístico.

Un especial reconocimiento a los trabajadores de campo, sin cuyo apoyo no hubiese sido posible realizar esta tesis. Gente sencilla y afable, vecinos de las comunidades cercanas al CCBA: Emilio Narváez, Miguel Maas, José Cocom, Rogelio Cocom, Santos Pool, Julio Cocom, Jorge Pool, Antonio Pool. También en el mismo sentido a los trabajadores del Área de Nutrición Animal: en especial a Rafael Carcaño, Eugenio, Don Víctor, Don Ángel, y todos los que en algún momento apoyaron en los muestreos y mantenimiento de las parcelas experimentales

Quiero también agradecer a todos mis excompañeros del Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales (PROTROPICO), del CCBA, de la UADY, por haber sido parte importante de mi formación: Dr. William Aguilar Cordero, Dra. Arisbe Mendoza, Mucuy Kak, M. en C. Aliza Mizrahi, M. en C. Francisco Xuluc, Fernando Ancona, Dra. Patricia Montañez, M. en C. Rocío Ruenes Morales y al Dr. Héctor Estrada Medina. En particular, un agradecimiento enorme a la Br. Rosa María Canul Sosa, mi gran amiga, por todo su apoyo logístico, administrativo y motivacional, durante tanto tiempo. Muchísimas gracias por todo, Rosita.

También mi sincero agradecimiento para todos mis actuales compañeros en el Departamento de Producción Animal en Agroecosistemas Tropicales, del CCBA de la UADY; con ellos encontré un espacio propicio para la discusión académica y para el desarrollo de grandes amistades: Doctores: Iván René Armendáriz Yáñez (q.e.p.d.), Roberto Belmar Casso, Armín Ayala Burgos, Luis Sarmiento Franco, Ronald Santos Ricalde, Rubén Cetina Góngora, José Castillo Caamal, Érika Betancourt Velázquez, Carlos Sandoval Castro, Carlos Aguilar Pérez, Luis Ramírez y Avilés, Wilbert Trejo Lizama y Javier Solorio Sánchez. Un agradecimiento particular para Maricely Chan, por su excelente apoyo secretarial y administrativo, por su constante motivación para finalizar esta meta y por su valiosísima amistad. Muchísimas gracias, Marichely.

También quisiera expresar mi gratitud enorme para Ángela Zapata Orozco, quien gracias a su excelente trabajo en la Coordinación de la Licenciatura en Agroecología, representó un baluarte para poder avanzar en la finalización de mi tesis. Además, por ser una valiosísima persona, quien siempre tiene una sonrisa para brindar y un trato maravilloso. Muchísimas gracias, Angelita.

Por último, pero no menos importante, mi sincera gratitud para mi prima Emma Leticia Maldonado, quien en los momentos más difíciles me brindó su hospitalidad. Gracias a ello, pude retomar impulso para terminar este proceso. De todo corazón, Lety.

## RESUMEN

En el sureste de México, en particular en Yucatán, el sistema tradicional de roza-tumba-quema (rtq) o milpa, ha sido la base de la subsistencia campesina durante centurias. Sin embargo, se han reducido los periodos de descanso (barbecho) posteriores al ciclo agrícola, lo que ha ocasionado el incremento de arvenses (malezas) y rendimientos decrecientes del principal cultivo: maíz. Para enfrentar estos problemas se usan agroquímicos de forma indiscriminada, lo que ha generado contaminación ambiental, daños a la salud humana, dependencia de insumos externos al sistema y la pérdida de la biodiversidad agrícola. Una opción agroecológica para enfrentar la situación es el uso de leguminosas de cobertura, que pueden servir para reducir la presencia de plantas que compitan con el cultivo y como abono para mejorar la producción. En esta investigación, se realizaron dos experimentos: el primero tuvo como propósito evaluar el efecto de leguminosas como coberturas vivas (*Mucuna deeringiana* y *Canavalia ensiformis*) o en forma de mantillos o mulch (*Leucaena leucocephala* y *Lysiloma latisiliquum*) sobre el desarrollo de las arvenses asociadas con el maíz y el rendimiento de éste cultivo. El segundo experimento tuvo como objetivo determinar el efecto de especies forrajeras arbóreas, una de las cuales fue *L. leucocephala*, asociadas con el cultivo de maíz en sistemas agroforestales (cultivo en callejones) sobre el rendimiento de la gramínea y la producción de biomasa forrajera. En el primer trabajo con leguminosas usadas como cobertura viva o muerta, se preparó una parcela experimental mediante el sistema de rtq en la que se establecieron, en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones, los siguientes tratamientos: a) *M. deeringiana* intercalada con maíz, b) *C. ensiformis* intercalada con maíz, c) *L. leucocephala* aplicada como mantillo en maíz, d) *L. latisiliquum* aplicada como mantillo en maíz; e) aplicación del herbicida paraquat; deshierbe manual en maíz y deshierbe manual sin maíz. El experimento fue monitoreado durante cinco años consecutivos, en los que se estimaron el número, la biomasa, la riqueza y el valor de importancia relativa (VIR) de las diferentes especies de arvenses, así como el rendimiento de grano del maíz. Se demostró que todas las leguminosas, tanto las asociadas como cultivo de cobertura como las aplicadas como mantillo, afectaron negativamente el crecimiento de las arvenses; de entre ellas, destacó *M. deeringiana* por ser la que mayor reducción en biomasa de esas plantas causó (68%) en relación con el deshierbe manual (testigo). Las leguminosas también mejoraron el rendimiento del cultivo durante los primeros dos años del experimento, y lo mantuvieron en un nivel promedio de 1 ton/ha en el resto del periodo evaluado.

En el segundo experimento, cuyo primer ciclo de cultivo se reporta, se establecieron tratamientos conformados por la asociación de cada una de tres

especies arbóreas forrajeras: *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera*, con maíz, así como la asociación de parejas de esas plantas (una de ellas *L. leucocephala*) con la gramínea. Los tratamientos establecidos en cultivo en callejones, fueron: a) maíz asociado con *L. leucocephala*, b) maíz asociado con *G. ulmifolia*, c) maíz asociado con *Moringa oleifera*; d) maíz asociado con *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* en pareja y e) maíz asociado con *L. leucocephala* y *M. oleifera* en pareja. Un sexto tratamiento: maíz en monocultivo, no prosperó en el ciclo reportado. Las variables evaluadas fueron el rendimiento de maíz y la producción de biomasa forrajera (material comestible por el ganado). La producción de maíz asociado con *L. leucocephala* alcanzó 2,813 kg/ha y fue muy similar ( $p>0.05$ ) al grano producido en el tratamiento donde se combinaron *L. leucocephala* y *G. ulmifolia* (2,619 kg/ha) y en la asociación de *G. ulmifolia* con maíz (2,329 kg/ha). Cabe destacar que este último tratamiento fue considerado en el trabajo como monocultivo de maíz, pues las plantas forrajeras no se desarrollaron lo suficiente para producir biomasa forrajera. En relación con los tratamientos donde estuvo presente *M. oleifera*, sola con maíz o acompañada, la prueba estadística no fue capaz de evidenciar que los valores de rendimiento fuesen diferentes de los tratamientos anteriores, a pesar de que los valores numéricos fueron bastante menores: 1,331 kg/ha y 1,107 kg/ha, respectivamente. Es decir, en términos estadísticos todos los tratamientos fueron similares, a pesar de las marcadas diferencias en los valores de rendimiento del cultivo. No obstante, los resultados indican claramente que la presencia de *L. leucocephala* no afectó el desarrollo productivo del maíz, al menos en el primer ciclo de cultivo. En cuanto a la producción de forraje en el sistema agroforestal, *L. leucocephala* demostró ser la especie más adaptada a las condiciones del experimento, pues alcanzó valores similares estadísticamente ( $p>0.05$ ) tanto cuando estuvo sólo asociada con maíz (450 g MS/planta, como asociada con *M. oleifera* (301 g MS/planta) y con *G. ulmifolia* (538 g MS/planta). Sin embargo, en este último tratamiento, el forraje total producido por ambas especies (769 g MS/planta) superó al obtenido en los otros tratamientos ( $p=0.045$ ). Por su parte, el valor de forraje generado por *M. oleifera* solo asociada con maíz fue bajo (169 g MS/planta) y el producido junto con *L. leucocephala* (398 g MS/planta) fueron similares a los de *L. leucocephala* sola. Finalmente, *G. ulmifolia* en asociación con *L. leucocephala* y maíz alcanzó aproximadamente 200 g MS/planta, pero no produjo forraje cuando estuvo sólo intercalada con maíz. Los resultados de ambos experimentos indican que es posible controlar las arvenses sin el uso de agroquímicos tóxicos, a la vez que se mantienen los rendimientos del cultivo en niveles aceptables (de acuerdo con los promedios de la región) y se diversifica la oferta de productos, como el forraje. En resumen, se demostró que con la inclusión de leguminosas locales como *L. leucocephala* es factible desarrollar esquemas agroecológicos sostenibles para la

producción de maíz en Yucatán; ello permitiría contribuir al mejoramiento de la calidad de vida de los campesinos yucatecos.

## SUMMARY

In southeast Mexico, particularly in Yucatan, the traditional slash- and burn, or *milpa*, has been the base of peasant's subsistence for centuries. However, reduced resting periods (fallow) after the agricultural cycle, have led to the increase of weed and the decrease of the main crop: corn. To address these problems, agrochemicals are used indiscriminately, which has led to environmental pollution, damage to human health, external input to the system and the loss of agricultural biodiversity. An agro ecological alternative to cope with the situation is the use of leguminous-covered crops, which may serve to reduce the presence of plants that compete with the crop and also may work as fertilizer to improve production. In this research, two experiments were conducted: the first one was to assess the effect of leguminous cover crops –live cover-(*Mucuna deeringiana* and *Canavalia ensiformis*) or as mulch (*Leucaena leucocephala* and *Lysiloma latisiliquum*) in the growth of weeds associated with corn and the yield of the crop. The second experiment's objective was to determine the effect of forage tree species, one of which was *L. leucocephala*, associated with corn cultivation in agroforestry (alley cropping) on the yield of corn and forage biomass production. In the first study with legumes used as cover -alive or dead-, an experimental plot was prepared by the slash and burn system in which they were applied, in a complete block design with three random replications, the following treatments: a) *M. deeringiana* intercropped with maize, b) *C. ensiformis* intercropped with maize, c) *L. leucocephala* applied as mulch in maize, d) *L. latisiliquum* applied as mulch in corn e) application of the herbicide Paraquat: hand weeding with corn and without it. The experiment was monitored for five consecutive years in which were estimated the number, biomass, richness and relative importance value (RIV) of different species of weeds and grain yield of corn. It was shown that all legumes, associated both as a cover crop such as those applied as mulch, negatively affected the growth of weeds, among them, *M. deeringiana*, having the greatest reduction in biomass caused in such plants (68%) in connection with the hand weeding (control). Legumes also improved crop yield during the first two years of the experiment, and kept an average of 1 ton / ha in the rest of the evaluated period.

In the second experiment, whose first crop cycle is reported, treatments formed by the association of each of three fodder tree species, were applied: *Leucaena leucocephala*, *Moringa oleifera* and *Guazuma ulmifolia*, with corn, and the association of pairs of these plants (one of them, *L. leucocephala*) with the grass. Treatments applied in alley cropping, were: a) corn associated with *L. leucocephala*, b) maize associated with *G. ulmifolia*, c) maize associated with *Moringa oleifera*, d) corn associated with *L. leucocephala* and *G. ulmifolia* in pairs and e) maize associated with *L. leucocephala* and *M. oleifera* in pairs. A sixth

treatment: maize in monoculture, was unsuccessful in the reported cycle. The evaluated variables were corn yield and forage biomass production (material edible by livestock). Corn production associated with *L. leucocephala* reached 2.813 kg/ha and was similar ( $p > 0.05$ ) to the grain produced with the combined treatment where *L. leucocephala* and *G. ulmifolia* (2,619 kg/ha) and the association of *G. ulmifolia* with corn (2.329 kg/ha). It is important to notice that this treatment was considered as corn monoculture because *G. ulmifolia* plants were not developed enough to produce feedstock biomass.

Regarding the treatments where *M. oleifera*, was present, alone or accompanied with corn, the statistical test wasn't able to show that the performance values were different from previous treatments, although the numerical values were significantly lower: 1,331 kg/ha and 1.107 kg/ha, respectively. That is, in statistical terms, all treatments were similar, despite the marked differences in the values of crop yield. Nevertheless, the results clearly indicate that the presence of *L. leucocephala* did not affect maize production development, at least in the first crop. As for forage production in agroforestry, *L. leucocephala* proved to be the most adapted species to the conditions of the experiment, reaching similar values statistically ( $p > 0.05$ ) both, when he was only associated with maize (450 g DM/plant), as associated with *M. oleifera* (301 g DM/plant) and *G. ulmifolia* (538 g DM/plant). However, in this treatment, the total forage produced by both species (769 g DM/plant) was higher than that obtained in the other treatments ( $p = 0.045$ ). Meanwhile, forage generated by *M. oleifera* associated only with maize was low (169 g DM/plant), and the produced together with *L. leucocephala* (398 g DM/plant) was similar to those of *L. leucocephala*, alone. Finally, *G. ulmifolia* in association with *L. leucocephala* and maize reached approximately 200 g DM/plant, but it did not produced forage when intercropped only with maize.

The results of both experiments indicate that it is possible to control weeds without the use of toxic agrochemicals while maintaining crop yields at acceptable levels (according to the average of the region) and diversified product offers, as fodder. In summary, it was shown that the inclusion of local leguminous as *L. leucocephala* is feasible to develop sustainable agroecological schemes for maize production in Yucatan, which would contribute to improve the quality of life of the rural Yucatan.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>Capítulo 1. Introducción general</b> .....	<b>1</b>
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
<b>Capítulo 2. Marco Teórico</b> .....	<b>5</b>
Impactos de la actividad agropecuaria en los ecosistemas tropicales.....	5
Problemas agrícolas derivados de la simplificación de los agro-ecosistemas tropicales.....	8
La situación agropecuaria particular en el sureste de México.....	10
El sistema de roza-tumba-quema (rtq) y la “revolución verde”.....	10
La agricultura mecanizada y sus implicaciones en el deterioro ambiental en el sureste de México.....	14
La ganadería extensiva en el sureste de México.....	15
Estrategias para enfrentar la problemática agropecuaria en las regiones tropicales.....	16
Agroecosistemas templados y tropicales.....	16
Perspectivas para una agricultura sostenible en el sureste de México.....	18
El enfoque hacia el manejo de las arvenses en las regiones tropicales.....	19
Diversificación de la agricultura en las regiones tropicales: sistemas agroforestales.....	22
<b>Capítulo 3. La sucesión secundaria en los ecosistemas y agro-ecosistemas Tropicales - el henequén (<i>Agave fourcroydes</i>) en el contexto de la Diversificación</b> .....	<b>25</b>
La sucesión secundaria.....	26
Impactos sobre el ecosistema por las actividades humanas.....	26
Importancia e Implicaciones del Sistema Agrícola de Roza-Tumba-Quema en el Proceso Sucesional.....	26
Impactos sobre el ecosistema por un manejo inadecuado de la RTQ.....	27
El Henequén ( <i>Agave fourcroydes</i> ) dentro del contexto de diversificación como recurso sustentable.....	28
Bibliografía.....	28

<b>Capítulo 4. The Use of Allelopathic Legume Cover and Mulch Species for Weed Control in Cropping Systems.....</b>	<b>31</b>
Abstract.....	31
Materials and methods.....	32
Results and discussion.....	34
Conclusions.....	39
Acknowledgments.....	40
References.....	40
<b>Capítulo 5. Producción de maíz y de especies forrajeras arbóreas en sistemas agroforestales.....</b>	<b>41</b>
Introducción.....	41
Objetivo general.....	43
Objetivos específicos.....	43
Metodología.....	43
Resultados y discusión.....	47
Conclusiones.....	55
<b>Capítulo 6. Discusión general.....</b>	<b>56</b>
<b>Capítulo 7. Conclusiones generales.....</b>	<b>69</b>
<b>Capítulo 8. Bibliografía.....</b>	<b>71</b>

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN GENERAL

En las regiones tropicales de México, especialmente en el sureste del país, el sistema agrícola de roza-tumba-quema (rtq) o milpa, ha sido base de la subsistencia de millones de campesinos durante milenios. Esta estrategia agrícola basa su eficiencia en la rotación de tierras cultivadas y en descanso (barbecho) (Levy y Hernández, 1992; Ayala y Basulto, 2004; Ayala *et al.*, 2007); no obstante, en años recientes tal esquema de rotación se ha alterado, disminuyendo los años de descanso, lo que ha hecho perder las bases que hacían a la milpa sostenible (Cuanalo y Uicab-Covoh, 2005).

En el sistema de rtq, después de un primer periodo de cultivo de dos años sigue un tiempo de reposo (barbecho) del sitio cultivado, que dura 20 años en promedio (Arias, 1995; Ayala y Basulto, 2004), y luego se retorna a él para reiniciar el ciclo de laboreo. Si existe una mayor demanda de tierra o escasez de terrenos para la rotación, el tiempo de descanso se acorta, a sólo cuatro o cinco años, en el mejor de los casos (Jiménez-Osornio, 1993). En estas circunstancias se incrementan los problemas con las arvenses y la producción declina (Cuanalo y Uicab-Covoh, 2005), además de que el establecimiento de especies arbóreas disminuye, dando lugar a una “sucesión interrumpida” (Terán y Rasmussen, 1992).

La interrupción del proceso regenerativo del ecosistema original al disminuir el periodo de barbecho limita la viabilidad misma del sistema de rtq (Terán y Rasmussen, 1992; Altieri, 2003); en efecto, el tiempo y el tipo de vegetación en el periodo de descanso de un terreno tienen una relación directa con la calidad del suelo, la incidencia de arvenses y el rendimiento de los cultivos (Ayala y Basulto, 2004). Un claro ejemplo de ello se presenta particularmente en la zona ex-henequenera del estado de Yucatán, ubicada en su porción suroeste, donde se cultivó de manera extensiva el henequén (*Agave fourcroydes*) durante décadas. Por las grandes extensiones que se destinaron a ese monocultivo se limitó la

regeneración natural por lo que al retomarse en años recientes el cultivo de la milpa las principales limitantes que enfrentan los productores son los escasos rendimientos de maíz criollo, cercanos en promedio a 750 kg/ha, y la alta proliferación de arvenses (Arias, 1992; Levy y Hernández, 1992; Mariaca, 1992; Zizumbo, 1992; Caamal, 1995). Para enfrentar tales problemas los agricultores utilizan agroquímicos de forma indiscriminada, principalmente el herbicida de contacto Paraquat y el hormonal Esterón. El uso no racional de estos herbicidas agrava la situación y adiciona otros impactos negativos: contaminación ambiental, daños a la salud, dependencia de insumos externos al sistema y pérdida de la diversidad de cultivos (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001).

La situación descrita hace evidente que se requiere una estrategia para intensificar la utilización de los terrenos bajo rtq, mediante el uso continuo de los mismos durante un periodo mayor a dos años (dos ciclos de cultivo de temporal) mediante el desarrollo de prácticas que mantengan o mejoren los niveles de productividad y que logren controlar eficientemente las arvenses, haciendo un menor uso de insumos externos al sistema (Jiménez-Osornio, 1993; Cuanalo y Uicab, 2005).

Una opción para enfrentar la problemática de los bajos rendimientos de maíz y la competencia con las arvenses, deriva de la experiencia particular de grupos campesinos en México y Centroamérica. Ellos han desarrollado prácticas agrícolas que incluyen el uso de algunas especies de leguminosas asociadas con el maíz para cubrir el terreno (coberturas vivas) como un mecanismo para mantener o mejorar las condiciones del suelo y controlar las arvenses (Caamal, 1995; Castillo-Caamal, 2005; Castillo-Caamal *et al.*, 2010).

Una de las leguminosas más promisorias para ser incorporada al sistema rtq como cobertura viva es *Mucuna deeringiana*; su rápido desarrollo le permite cubrir de forma total el terreno con lo que se evita el desarrollo excesivo de las arvenses (Castillo-Caamal *et al.*, 2010).

Asimismo, se ha planteado la utilización de las hojas de algunas leguminosas

arbóreas o arbustivas como coberturas muertas (“mulch” o mantillo); la intención es que el material cortado *ex profeso* para ser aplicado en el terreno, puede contribuir a controlar las arvenses, además de que puede representar un excelente abono natural y aportar nutrimentos al cultivo (Caamal, 1995). Entre las especies arbóreas que pueden ser utilizadas de esta forma se encuentran *Leucaena leucocephala* y *Lysiloma latisiliquum*, mismas que son muy abundantes en Yucatán; de forma particular, la primera se encuentra distribuida por todo el estado (Ayala *et al.*, 2007).

En este contexto, un primer propósito de este trabajo fue evaluar las especies de leguminosas mencionadas como coberturas vivas o mantillos, en las condiciones específicas de la zona ex-henequenera de Yucatán (clima subhúmedo y suelos pedregosos y heterogéneos), como paso inicial para la sustitución de insumos externos (herbicidas y fertilizantes) por recursos vegetales locales (Gliessman, 2002).

Un segundo propósito, derivado del anterior, está relacionado con la diversificación agrícola en el agroecosistema milpero. Esto se refiere a la inclusión de especies de leguminosas, arbustivas y arbóreas, no sólo a través del corte y el depósito de sus hojas sobre el terreno, sino como plantas asociadas al maíz en sistemas agroforestales (Gliessman, 2002). En este sentido, fue de particular interés monitorear el desarrollo del cultivo y de la propia leguminosa arbustiva, *Leucaena leucocephala*, en cultivo en callejones

En esencia, el trabajo de ésta tesis se diseñó para aportar elementos que coadyuven a transitar de la agricultura de monocultivos hacia la diversificación agropecuaria, una tendencia que se ha hecho más relevante en años recientes actualidad (Gliessman, 2002; Altieri, 2003; Harvey *et al.*, 2008; Scherr y Mcneelly, 2008; Shennan, 2008); ello incluyó el rescate de las variedades de cultivos locales que están más adaptadas a las condiciones ambientales particulares de la región, como es el caso de los maíces criollos.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el potencial de leguminosas herbáceas y arbóreas para el control de arvenses y el mejoramiento del rendimiento de maíz en la región ex-henequenera de Yucatán, México, mediante experimentos en campo y en invernadero.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Estimar el control de arvenses ejercido por *Mucuna deeringiana*, *Leucaena leucocephala* y *Lysiloma latisiliquum*, asociada la primera con maíz como cobertura viva, y las segundas aplicadas como mantillo (mulch).
2. Cuantificar el rendimiento de maíz al ser asociado con *Mucuna deeringiana* y al recibir el aporte de *Leucaena leucocephala* y *Lysiloma latisiliquum* como mantillos .
3. Cuantificar el rendimiento de maíz asociado con *Leucaena leucocephala* y otras especies forrajeras (*Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleífera*) en cultivo en callejones (sistema agroforestal).
4. Determinar la biomasa forrajera producida por *Leucaena leucocephala* y otras especies arbóreas forrajeras (*Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera*) al ser asociadas con maíz en sistemas agroforestales.

En capítulos subsecuentes se presentará la forma en que se evaluaron los objetivos enunciados, en experimentos de campo.

## **CAPÍTULO 2**

### **PROBLEMÁTICA AGROPECUARIA EN LAS REGIONES TROPICALES**

#### **IMPACTOS DE LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA EN LOS ECOSISTEMAS TROPICALES**

En la actualidad, casi el 80% de la gente pobre en el mundo vive en áreas rurales (UN, 2004) y la mayoría depende para su subsistencia de la agricultura y de la crianza de animales (FAO, 2009; The Royal Society, 2009). Al respecto, datos de la FAO (2007) indican que en 114 países el 60% de los hogares rurales posee ganado.

La ganadería en sí contribuye con el 40% del valor mundial de la agricultura y genera bienes y alimentos para casi un billón de personas. Aún más, esta actividad contribuye con el 15% de la energía que proviene de los alimentos además de aportar el 25% de la proteína en la dieta (FAO, 2009).

No obstante su importancia, la generación de productos de origen animal provoca una presión creciente sobre los recursos naturales (Herrero *et al.*, 2009; CEPAL-FAO-IICA, 2010), y tiene un costo ambiental superior a la significancia económica que tiene en algunas regiones pobres (FAO, 2009). Tales impactos se traducen principalmente en su contribución al cambio climático global y en la deforestación que provoca (FAO, 2010a y b), así como en la pérdida de la biodiversidad y el efecto negativo sobre los recursos naturales (FAO, 2006b).

Su repercusión sobre el clima se da por la sustitución de la vegetación original por pastos, con lo que se limita la captura de carbono (C), o por la emisión directa por los animales de gases de efecto invernadero (GEI), como el metano (FAO, 2006b; Casanova-Lugo *et al.*, 2010; FAO, 2010b).

Ejemplo de lo anterior es que la ganadería contribuye con menos del 2% del producto doméstico bruto (PDB) de los hogares rurales, pero produce el 18% de las emisiones de GEI atribuibles al hombre (Steinfeld *et al.*, 2006; Herrero *et al.*, 2009). En la actualidad, se estima que genera a nivel mundial casi 2.4 billones de toneladas de bióxido de carbono (CO<sup>2</sup>) (Steinfeld *et al.*, 2006; IPCC, 2007; FAO, 2010b), lo que sitúa a esta actividad agropecuaria como la que mayor aporte tiene en las emisiones de este compuesto a la atmósfera (Cantú-Silva *et al.*, 2010; FAO, 2010b).

Tan sólo el sector lechero, aporta casi el 4% de la emisión total de GEI relacionada con las actividades antropogénicas. En esta contabilización se incluyen tanto las emisiones asociadas con la producción y el transporte de productos lácteos como las generadas por la carne producida por los animales involucrados en esta actividad (FAO, 2010b).

El metano genera el mayor impacto ambiental de la actividad lechera, al alcanzar casi el 52% de los GEI, tanto en países desarrollados como en los en vías de desarrollo. Por su parte, el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) llega al 27% de las emisiones gaseosas en esos primeros países y al 38% en los segundos. Finalmente, el porcentaje de CO<sub>2</sub> emitido es mayor en los países desarrollados (21%), que en los que están en vías de serlo (10%) (FAO, 2010b).

Los datos de este impacto dramático sobre el ambiente son muy completos, pues el reporte de la FAO (2010b) abarca la mayor parte de los sistemas de producción de lácteos, desde los rebaños nómadas hasta las operaciones intensificadas. Se enfoca en la cadena productiva en su totalidad, lo que incluye la producción, el transporte de insumos, el procesamiento de la leche y sus productos y el empaquetamiento de los mismos, así como la distribución final a los sitios de consumo.

Pero el impacto sobre el ambiente no sólo se queda en la emisión de contaminantes al ambiente, sino que la afectación de la propia vegetación original es considerable: el pastoreo ocupa 26% de la superficie terrestre libre de hielo y la producción de ganado consume el 33% de la superficie agrícola (FAO, 2010a).

Más aún, existe la tendencia de convertir una mayor superficie de bosques en pasturas para el ganado vacuno y en abrir grandes extensiones para cultivos como la soya, que sirven como alimento a cerdos y aves a escala industrial (Steinfeld *et al.*, 2006). De continuar el incremento en dicha superficie se puede generar una mayor deforestación en algunos países (FAO, 2006a) a la vez que la intensificación de la actividad puede causar sobrepastoreo en otros (Steinfeld, *et al.*, 2006; FAO, 2007; FAO, 2009; The Royal Society, 2009; FAO, 2010a).

Además, muchos de estos cultivos para la ganadería a gran escala son transgénicos, con lo que la situación se torna más compleja. Primero, porque se desconocen con certeza los impactos sobre la salud animal y humana por el uso de esas semillas; segundo porque su liberación indiscriminada puede afectar la biodiversidad agrícola y, en tercer lugar, por la dependencia que su uso puede generar en los agricultores en relación con las compañías que los producen y distribuyen. En efecto, dadas las distorsiones del mercado de semillas generadas por las grandes compañías de agroquímicos los agricultores se encuentran en una situación vulnerable (Álvarez-Buylla y Piñeyro, 2009). El caso de Brasil con la presencia de miles de hectáreas para el cultivo de soya transgénica, es paradigmático (Steinfeld *et al.*, 2006).

Lo antes descrito nos permite entender por qué en la actualidad casi el 90% del territorio ocupado originalmente por ecosistemas naturales en el mundo está afectado por las actividades humanas, de forma principal por las de carácter agropecuario (Gliessman, 2002; Donald, 2004; Green *et al.*, 2005; FAO, 2009; The Royal Society, 2009).

En el escenario antes descrito, los escasos ecosistemas que podrían considerarse poco perturbados están dispersos dentro de un paisaje dominado por terrenos dedicados a la obtención de productos agrícolas o pecuarios, principalmente en forma de monocultivos y ganadería (Gliessman, 2002; FAO, 2006; Vandermeer y Perfecto 2007; FAO, 2009).

Tales fragmentos están embebidos en una matriz que limita la conectividad entre ellos (FAO, 2006), lo que tiene impactos sobre la biodiversidad y sobre los procesos ecológicos (Tejeda-Cruz *et al*, 2010). Por ejemplo, hay escasa dispersión de semillas de la vegetación natural (Didham y Lawton, 1999; Holl, 1999) y se dificulta la migración de animales entre parches de vegetación, lo que podría propiciar extinciones locales de especies (Vandermeer *et al.*, 2007; FAO, 2009). En otras palabras, la matriz del ecosistema natural con parcelas de cultivos se ha cambiado a una matriz agropecuaria con cada día menor número de fragmentos, y de menor tamaño, del ecosistema original.

## **PROBLEMAS AGRÍCOLAS DERIVADOS DE LA SIMPLIFICACIÓN DE LOS AGROECOSISTEMAS TROPICALES**

La simplificación de los sistemas agrícolas acarrea otras consecuencias para el agricultor, pues tan pronto como se elimina la vegetación natural, las arvenses, insectos y otros organismos incrementan su presencia (Pimentel, 1985). De hecho, las semillas de los cultivos germinan al igual que las de otras especies, que por cientos están en el suelo, en espera de una perturbación que rompa su estado de latencia; la mayoría de ellas pertenece a las plantas de las etapas pioneras de la sucesión secundaria, las que inician la regeneración del ecosistema (Alemán, 2004).

Los insectos también se adaptan ampliamente a las condiciones generadas por la apertura del terreno al cultivo, alimentándose de una gran variedad de plantas cultivadas. Aunado a ello, la eliminación de sus depredadores naturales presentes en la vegetación original incrementa su abundancia (Pimentel, 1985; Altieri, 2003;

Anaya, 2006). Asimismo, la concentración de alimentos y plantas hospederas en los sistemas agropecuarios simplificados hace que tales organismos plaga tiendan a dominar en el agroecosistema, a expensas de la biodiversidad propia del ecosistema (Vandermeer *et al.*, 2007).

Por otra parte, las variedades cultivadas de alto rendimiento son a menudo más propensas a las enfermedades y a las plagas, debido principalmente a la alta densidad de plantas y a la simpleza estructural de los monocultivos (Vandermeer *et al.*, 2007). De hecho, los microorganismos que persisten en los ecosistemas alterados por las actividades agropecuarias utilizan a las plantas cultivadas como sus nuevas hospederas; algunos de ellos pueden ser altamente patogénicos para las mismas (Agrios, 1997).

Para aquilatar los frecuentes problemas de plagas y enfermedades que conlleva la simplificación estructural de los sistemas de producción, baste decir que se han identificado hasta 80,000 enfermedades de plantas, 30,000 especies de arvenses, 1,000 especies de nematodos, y más de 10,000 especies de insectos que afectan la productividad agrícola (Radcliffe *et al.*, 2008). Para tratar de controlar tales amenazas, se usan plaguicidas de forma indiscriminada. Estos constituyen una amplia variedad de compuestos químicos elaborados para afectar principalmente a las arvenses, las plagas insectiles y los hongos que producen enfermedades a las plantas. De estos productos los herbicidas representan el 60%, los insecticidas el 25% y el restante 15% corresponde a los fungicidas. A pesar del amplio uso de plaguicidas y otro tipo de controles, el 37% del total de los cultivos se pierde cada año en el mundo debido a problemas con insectos (13%), patógenos (12%) y malezas (12%) (Radcliffe *et al.*, 2008).

Además, la aplicación sin control de agroquímicos tiene un efecto más allá de los cultivos y las plagas para las cuales se han producido, pues afectan otros aspectos del ecosistema, incluyendo el suelo, el agua, los alimentos, e inclusive a los organismos benéficos silvestres que muchas veces son enemigos naturales de

las plagas (Altieri y Liebman, 1986).

De forma colateral, el uso excesivo de plaguicidas representa costos sociales que no siempre se toman en cuenta. De forma principal, se presenta un peligro significativo para los humanos pues se trata de sustancias tóxicas o venenosas, diseñadas para matar a los organismos (biocidas). Por ejemplo, se ha comprobado en estudios de laboratorio que algunos plaguicidas, administrados a ciertas dosis pueden generar cáncer en los animales (FAO, 2004). Por tanto, la gente que utiliza estos productos, o que entra regularmente en contacto con ellos, debería conocer su toxicidad relativa y los efectos potenciales sobre su salud.

## **LA SITUACIÓN AGROPECUARIA PARTICULAR EN EL SURESTE DE MÉXICO**

El panorama antes descrito para los ecosistemas tropicales es similar en las regiones tropicales de México, especialmente en el sureste del país, donde el sistema agrícola tradicional de roza-tumba-quema (RTQ) o milpa, base de la subsistencia de millones de campesinos durante décadas, ha sufrido cambios drásticos que generan problemas para satisfacer sus necesidades alimenticias.

### **El sistema de roza-tumba-quema (rtq) y la “revolución verde”**

El sistema rtq, roza-tumba y quema, o milpa, como se le conoce en México, es la base de la producción de alimentos en diversas regiones, e involucra un 30% de las tierras cultivables en el mundo, siendo la principal fuente de subsistencia de 300 a 500 millones de personas, en su mayor parte asentadas en las regiones tropicales (Bandy *et al.*, 1994).

La rtqL es el fundamento del agroecosistema con la más larga historia de uso del fuego (Gliessman, 2002), y su origen se remonta hasta las culturas indígenas que han habitado las regiones tropicales, cuando menos desde hace 3,000 años.

Asimismo ha contribuido a la subsistencia, hasta el presente, de estas culturas, junto con otras formas de manejo más intensivo de la tierra (policultivos, huertos, silvicultura, etc.) (Mariaca, 1992; Terán, 1992; Zizumbo, 1992; Gliessman, 2002).

En particular, en Yucatán, la milpa es todavía practicada en 165,000 ha, con lo que se genera el 80% de la producción alimentaria en el estado (Terán y Rasmussen, 1992; Zizumbo, 1992; Ayala-Sánchez *et al.*, 2007).

La *rtq* inicia con la apertura de un claro en la matriz de la vegetación, a través de la roza y tumba de la misma. Posteriormente, el material cortado y seco se quema, lo que posibilita que los nutrientes contenidos en la ceniza sean aprovechados por el cultivo (Brady, 1994;). El periodo de cultivo dura de 2 a 3 años, al cabo de los cuales se abandona el terreno por la reducción en los rendimientos y el incremento de las poblaciones de arvenses (malezas), de un ciclo a otro (Caamal y del Amo, 1987; Arias, 1995); esto obliga a utilizar nuevos sitios para el cultivo.

Puede decirse que el sistema *rtq* está adaptado a las condiciones ecológicas de las regiones tropicales, dado que toma en consideración los procesos de regeneración de la vegetación original (sucesión secundaria) (Caamal y del Amo, 1987; Caamal-Maldonado y Armendáriz-Yáñez, 2002). En efecto, la etapa de descanso del terreno o barbecho, dura de 15 a 25 años, lo que permite restablecer el reciclaje de nutrientes extraídos del sistema por la cosecha y por otros procesos como la lixiviación, además de que permite reducir la disponibilidad de semillas viables de arvenses, reduciendo su potencial de competencia con el cultivo, al iniciar un nuevo ciclo productivo (Ayala-Sánchez *et al.*, 2007).

Además, la propia rotación de espacios en cultivo y en descanso durante el manejo con *rtq* , genera parches con diferentes grados de sucesión y diversidad, a manera de un mosaico. Aunado a ello, en las parcelas de cultivo puede aprovecharse la heterogeneidad de los suelos para cultivar una variedad de cultivos que van desde el maíz hasta las hortalizas, leguminosas y otras familias

de plantas comestibles, entre las que se encuentran: calabaza (*Cucurbita pepo*, *C. moschata*), camote (*Ipomoea batatas*), frijol (*Phaseolus vulgaris*), ib (*Phaseolus lunatus*) y xpelón (*Vigna unguiculata*), entre otros (Caamal y del Amo, 1987; Arias, 1995).

No obstante, este eficiente sistema productivo tradicional se ha visto enfrentado a diversos problemas que se remontan a los años 40, con la implantación de la denominada “Revolución Verde” en nuestro país. Esta consistió en la sustitución del germoplasma nativo con semillas mejoradas, aunado con el incremento en el uso de agroquímicos (fertilizantes, herbicidas y plaguicidas) y con el fomento del uso de nuevos equipos y técnicas de laboreo del suelo (Torres *et al.*, 2000).

De hecho, en el periodo de principios de los años 60 a finales de los 80, los países en vías de desarrollo, incluido México, incrementaron su producción de cereales en más del 100%. Esto se logró principalmente con el desarrollo de “paquetes tecnológicos” caracterizados por el establecimiento de monocultivos, la irrigación, el uso de variedades mejoradas y la aplicación de agroquímicos.

No obstante, desde entonces, se ha acumulado evidencia de experimentos y sitios agrícolas que indica la disminución en los rendimientos de los principales cereales de la “Revolución Verde” bajo cultivo intensivo, aún en las mejores tierras (Torres *et al.*, 2000). Parte de la explicación de esa tendencia parece deberse a que las plantas no sólo necesitan de los elementos presentes en los fertilizantes comerciales, sino que los microelementos son esenciales para ellas. Así, la deficiencia de ellos en el suelo, provocada por el uso continuo de los paquetes tecnológicos, va en sentido contrario al logro de una agricultura sostenible (Torres *et al.*, *ibid*).

El “éxito” relativo de los paquetes tecnológicos de altos insumos externos también ha generado problemas ambientales mayúsculos en sistemas adyacentes, como los ribereños o los marinos. En efecto, la producción de alimentos en tales ecosistemas se ve impactada por la contaminación química de los cuerpos de

agua. La principal fuente de esa contaminación se relaciona con la aplicación de fertilizantes nitrogenados, a una tasa anual de 100 millones de toneladas, equivalente a la suma de todos los procesos biológicos (Torres *et al.*, 2000).

Algo paradójico es que en áreas de alta aplicación de agroquímicos, los cultivos no aprovechan entre el 30 y el 80% de los fertilizantes aplicados; así, gran parte del nitrógeno (N) que se emplea se desperdicia y va a parar a las aguas de los ríos o mares. En particular, se ha demostrado que el N proveniente de la aplicación de fertilizantes en sistemas agrícolas es la principal fuente de eutroficación de ríos y lagos en los Estados Unidos (Torres *et al.*, 2000).

Siguiendo con el análisis del impacto de la “Revolución Verde” a nivel regional, se propició de forma significativa una mayor degradación ambiental, pues al intensificarse el uso de la tierra, los sistemas tradicionales, como la RTQ, perdieron las bases que los hacían sostenibles. En ese contexto la milpa se tornó poco productiva, lo que indicaba un severo agotamiento de la productividad natural; tal circunstancia favoreció la expansión de la frontera agrícola (Ayala-Sánchez *et al.*, 2007).

Otra de las consecuencias más impactantes de la aplicación de esta política basada en la tecnología moderna, que se usaba ya en los países del primer mundo cuyo clima es mayoritariamente templado, fue la modificación de los patrones de producción, al pasar de cultivos en asociación (policultivos) a un sistema de monocultivos (Terán, 1992). Es decir, se generó una pérdida de la biodiversidad agrícola característica de la agricultura tradicional tropical (Arias, 1992). Al respecto, cuando los cultivos se siembran asociados, surgen varias ventajas en la producción, tanto ecológicas como económicas. Por el contrario, en el monocultivo hay mayor vulnerabilidad y riesgo de pérdida de la cosecha debido a las plagas, enfermedades y otras contingencias (Gliessman, 2002), lo que puede propiciar la mayor dependencia de los campesinos a los agroquímicos y a los apoyos gubernamentales.

El cambio en el sistema de manejo agrícola trajo consigo todos los problemas mencionados y, además, tuvo efectos sociales negativos, ya que propició la desarticulación comunitaria. En sí, la imposición de paquetes de manejo de cultivos generados en las oficinas sin la participación de los productores propició la transculturación en el manejo de la tierra, cuando los campesinos se vieron obligados a incorporar una serie de mecanismos e insumos que no necesariamente respondían a sus condiciones y necesidades locales (Toledo, 1994; Torres *et al.*, 2000).

### **La agricultura mecanizada y sus implicaciones en el deterioro ambiental en el sureste de México**

Por otra parte, el uso de maquinaria pesada para abrir nuevas áreas de cultivo, incrementa la problemática de conservación de la biodiversidad debido a la gran extensión de las mismas. Este proceso de por sí dramático bajo las condiciones climáticas tropicales, es particularmente dañino en Yucatán donde el suelo es muy escaso (Bautista *et al.*, 2005; Leirana-Alcocer *et al.*, 2009).

La labranza mecánica se asocia con un incremento, en el corto plazo, de la fertilidad del suelo, debido a la mineralización de la materia orgánica como consecuencia del arado. Sin embargo, en el mediano o largo plazo la materia orgánica se reduce. Ésta es esencial para la productividad agrícola ya que no solo provee los nutrientes al cultivo, sino que contribuye a la estabilización de la estructura del suelo (Berry, 2005). El mismo autor comenta que al perderse la materia orgánica, la mayoría de los suelos se degrada bajo una agricultura arable intensiva y prolongada. Esta degradación estructural del suelo resulta en la formación de costras y compactación, y al final, conduce a la erosión del mismo.

La utilización en particular de tractores para labrar los suelos tiene otro efecto negativo, ya que favorece la formación de praderas, debido a que destruye los

tocones, que son las partes del tronco de los árboles que quedan unidas a las raíces cuando se cortan; esto impide la recuperación de las especies que se regeneran a partir de ellos en las zonas tropicales (Otero -Arnaiz *et al.*, 1999).

### **La ganadería extensiva en el sureste de México**

Al inducir la formación de praderas en los trópicos, la actividad agrícola realizada con el uso de maquinaria favorece el paso hacia la explotación ganadera. La transformación de ecosistemas naturales diversos en potreros es una problemática común en nuestro país, pues el propio manejo de estas áreas no es sostenible; al contrario, propicia el agotamiento de los nutrientes con mayor rapidez (Herrero *et al.*, 2009).

Si se considera que el coeficiente de agostadero en la explotación ganadera en las regiones tropicales es menor a una cabeza de ganado bovino por hectárea, en los mejores terrenos, es fácil deducir que la naturaleza extensiva de la ganadería puede conducir hacia una sobre-explotación del terreno (sobrepastoreo) en época de secas (FAO, 2009; Herrero *et al.*, 2009). Por el contrario, en la época de lluvias puede subutilizarse la biomasa de los pastos, con el añadido de que puede suceder la lignificación de los mismos lo que provoca que pierdan sus propiedades nutritivas en detrimento del ganado. Aunado a ello, el sobrepastoreo puede incrementar la compactación del suelo cuando la carga animal es elevada (FAO, 2006b).

El resultado final ha sido la alteración completa del paisaje natural en grandes extensiones del sureste mexicano, que contrastan drásticamente con los ecosistemas naturales que aún sobreviven en esas zonas tropicales (Leirana-Alcocer *et al.*, 2009). Este marcado y evidente mosaico de unas cuantas zonas naturales dispersas entre las áreas de explotación agrícola, similar a lo que sucede a escala mundial, pone en peligro la continuidad de los ecosistemas naturales en la región (Vandermeer *et al.*, 2007).

## **Estrategias para enfrentar la problemática agropecuaria en las regiones tropicales**

Para reducir el impacto sobre el ambiente, generado por las actividades agropecuarias, se requieren acciones emergentes, que no deben limitarse a proteger los parches o relictos de la vegetación original (Vandermeer y Perfecto 2007; Vandermeer *et al.*, 2007). Por el contrario, se requiere que la actividad agropecuaria se sustente en bases ecológicas, para preservar la calidad ambiental y alcanzar una producción agrícola más diversificada, así como para hacer un uso sostenible de los recursos naturales (FAO, 2007; FAO, 2009; The Royal Society, 2009; Herrero *et al.*, 2009).

### **Agroecosistemas templados y tropicales**

Aquí es importante no perder de vista que aunque los problemas de la agricultura son globales y las soluciones a los mismos deberían serlo también, algunos aspectos particulares frecuentemente son regionales. En tales circunstancias, las soluciones deberían ser aquellas adaptadas a la situación ecológica y social particular y no a las demandas económicas globales (Allen y Van Dusen, 1988; Chou, 1995). En relación con lo anterior, deben considerarse las profundas diferencias entre las características climáticas y ecológicas de los ecosistemas templados y tropicales (Montagnini y Jordan, 2005). En consecuencia, el manejo agrícola debe estar en concordancia con las condiciones particulares de cada región.

En el hemisferio norte, el clima es templado y se caracteriza por ser estacional, con temperaturas que llegan a niveles bajo cero en el invierno y son húmedas y templadas o calientes en verano. Asimismo, la precipitación oscila entre 700 a 1900 mm por año y los suelos están generalmente bien desarrollados y son fértiles (Mackenzie *et al.*, 1998). En cambio, en los trópicos, el clima puede ser o no

estacional y la temperatura media anual varía alrededor de 28° C, con una precipitación media anual de 700 a 4000 mm; ello provoca una excesiva lixiviación y la acidificación de los suelos.

Dado que la energía se mueve más rápido a través de los ecosistemas tropicales, cabe esperar que los nutrientes también se reciclen de forma más acelerada que en las zonas templadas. En efecto, luego de la descomposición de detritos del suelo los nutrientes, una vez libres, son retomados por las plantas. En consecuencia, el almacenamiento de los mismos en los suelos tropicales es escaso, lo que le confiere a estos una escasa fertilidad (Montagnini y Jordan, 2005); así, si se aplican las prácticas agrícolas modernas utilizadas en las zonas templadas, como la labranza, los suelos tropicales pierden rápidamente su potencial productivo debido a la lixiviación de los nutrientes ocasionada por las fuertes lluvias (Gliessman, 2002).

Por otra parte, las selvas no han sufrido nunca una glaciación, por lo que las especies han podido proliferar en comunidades con una larga historia evolutiva, complejas y biodiversas (Mackenzie *et al.*, 1998). La deforestación con fines agropecuarios en los trópicos, en particular para el establecimiento de pastizales para el ganado, ocasiona la pérdida de tal biodiversidad. Así, los agroecosistemas resultantes de la apertura de la selva se encuentran en desventaja comparados con los templados.

La pérdida de la biodiversidad acarrea una infestación de plagas más intensa en los trópicos, porque las condiciones de calor y humedad son propicias para el desarrollo de las poblaciones de insectos (Agris, 1997); además, al no existir el congelamiento que acompaña al invierno en las regiones templadas, no existe una reducción estacional del crecimiento de sus poblaciones. De igual manera, el clima en los trópicos favorece la sobrevivencia y multiplicación de enfermedades en los cultivos durante todo el año, dada la presencia prolongada o continua de hospederos primarios o alternos y un gran número de vectores activos como los

propios insectos (Agrios, 1997; Rodríguez del Bosque, 2008).

Estos problemas en los países tropicales, frecuentemente se intensifican aun más por los bajos niveles educativos y la falta de financiamiento para llevar a cabo programas efectivos de control de plagas y enfermedades de las plantas (Agrios, 1997).

### **Perspectivas para una agricultura sostenible en el sureste de México**

Debe reconocerse que el sector agropecuario es un sistema complejo, dependiente del cambio climático, con encadenamientos productivos con otros sectores económicos (CEPAL-FAO-IICA, 2010). En tal contexto y ante la preocupación creciente sobre la conservación de los recursos naturales (que no son tan renovables como se pensaba), se ha hecho énfasis en que las ciencias agronómicas deben incorporar las tres principales características de los sistemas ecológicos en el manejo de las tierras agrícolas: biodiversidad, funciones ecosistémicas y heterogeneidad espacial (Torres *et al.*, 2000; Gliessman, 2002).

Un enfoque ecológico de la agricultura, es decir una perspectiva agroecológica, es fundamental para el desarrollo de la producción agropecuaria sostenible. En primer lugar, porque la biodiversidad representa los recursos genéticos provenientes de las plantas, animales y microorganismos esenciales para la producción agrícola; en segundo, porque las relaciones funcionales entre esos componentes son las que hacen posible una agricultura sostenible, y en tercer lugar, porque el espacio físico donde se dan esas interacciones no es uniforme, de tal manera que los sistemas agropecuarios deben adaptarse a tal heterogeneidad. Esto último implica el aprovechamiento de los gradientes ambientales en la producción agrícola y no forzar el desarrollo de sistemas homogéneos, como los monocultivos (Torres *et al.*, 2000).

Por lo anterior, para lograr las metas de una 'nueva agricultura', sostenible y

orgánica, la investigación científica y tecnológica debe enfocarse hacia el manejo de la fertilidad de los suelos y la labranza, la protección de los cultivos y las posibles combinaciones de los mismos (Chou, 1992; Rizvi and Rizvi, 1992; The Royal Society, 2009).

Por tanto, una estrategia plausible sería establecer un eje de continuidad entre los agroecosistemas y los ecosistemas naturales, por medio de la diversificación espacial y temporal, reduciendo los contrastes tan marcados entre ambos (Gliessman, 2002; Harvey *et al.*, 2008).

### **El enfoque hacia el manejo de las arvenses en las regiones tropicales**

Cabe mencionar que los agricultores tradicionales han producido alimentos sin acudir a la tecnología moderna, dependiendo solamente de los componentes de sus agroecosistemas (Gliessman, 1983; Bentley, 1987). Un buen ejemplo de ello lo representa el manejo que hacen de las denominadas malezas (arvenses), que son uno de los componentes de estos sistemas agrícolas. El papel ecológico que estas juegan coadyuva a mantener y mejorar la producción en tales sistemas campesinos (Gliessman, 2002). Lo anterior es de suma importancia si se recuerda que uno de los principales problemas generados por la reducción de los periodos de descanso en el sistema milpero es la gran abundancia de arvenses desde el segundo año de cultivo (Caamal *et al.*, 1996).

Barberi (2002), asegura que se ha puesto relativamente poca atención a la investigación del manejo de las arvenses como partes integrantes de los agroecosistemas, un tema que es frecuentemente abordado desde una perspectiva reduccionista. En tal sentido, no sólo se trata de su control *per se* en un momento dado, sino la integración con otras prácticas culturales en un periodo amplio de tiempo, con el fin de optimizar de manera integral el sistema de cultivo.

El manejo exitoso de las arvenses implica poner en práctica el concepto de

diversificación de los agroecosistemas (Gliessman, 2002); aunque con frecuencia esto se complica porque las soluciones prácticas tienen que pasar a través de los filtros locales (suelo y condiciones climáticas, disponibilidad y accesibilidad de insumos externos -semillas, el cultivo de las plantas, la maquinaria, etc.) y los obstáculos socio-económicos (el mercado, la tenencia de la tierra, la actitud frente al riesgo de la empresa, etc.).

La transición hacia una agricultura más orgánica puede tener un profundo impacto sobre el ecosistema. Los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo durante la misma, impactan indirectamente la dinámica de insectos, enfermedades y arvenses. En los agroecosistemas orgánicos puede encontrarse una gran riqueza de especies de malezas, pero la densidad y biomasa total de las mismas son generalmente menores comparadas con el sistema convencional (Alemán, 2004).

El mejoramiento en el control de malezas en la agricultura orgánica puede deberse a los efectos combinados de diversos factores; entre ellos se incluyen la depredación de semillas, tanto por los microorganismos del suelo como por los insectos fitófagos (Menalled *et al.*, 2007; Gaines y Gratton, 2010), así como los efectos físicos y alelopáticos de las plantas (Jiménez-Osornio y Gliessman, 1987), en particular los cultivos de cobertura que son ampliamente utilizados en este tipo de producción (Waller, 1987; Ngouajio and McGiffen, 2002).

El término coberturas se refiere al uso de plantas, principalmente leguminosas, como mantillo (mulch) o asociadas con el cultivo principal (maíz). Su uso puede promover la diversidad de las comunidades de insectos, hongos, bacterias o micorrizas y alterar los efectos antagónicos y/o competitivos en beneficio de los cultivos y en detrimento de las arvenses (Anaya, 2006). Dichas especies pueden tener efectos físicos y alelopáticos sobre las arvenses (Ngouajio and McGiffen, 2002), a la vez que pueden mejorar el contenido de materia orgánica del suelo (Castillo-Caamal *et al.*, 2010).

Asimismo, la integración de leguminosas de cobertura es una opción para mejorar la fertilidad del suelo, dado que estas especies pueden fijar el N de la atmósfera y mejorar sus propiedades físicas y químicas. También pueden reducir la erosión del mismo así como aumentar su actividad biológica. De forma paralela se han empleado como alimento o forraje (Castillo-Caamal *et al.*, 2010).

Una de las especies más empleadas en América y en otras partes del mundo, como abono verde y cultivo de cobertura (AV/CC) ha sido *Mucuna deeringiana*. Esta leguminosa se desarrolla en una amplia variedad de condiciones, y genera una gran cantidad de biomasa (por arriba de las 10 TM ha<sup>-1</sup>), además de que produce una alta cantidad de semillas. Por tanto, funciona muy bien como abono verde/cultivo de cobertura (Eilittâ y Carsky, 2003).

*Mucuna* fue muy utilizada a principios de siglo en los Estados Unidos y fue reintroducida en las regiones desde ese país a principios del siglo pasado. Su cultivo extensivo se dio en gran parte del sudeste africano y en algunas regiones centroamericanas. Su uso continuó durante la primera mitad del siglo XX en África y Asia, y en menor escala en Centroamérica. No obstante, en esta región fue usada como sustituto del café (frijol Nescafé) (Eilittâ y Carsky, 2003).

Después de la primera mitad del siglo pasado, *Mucuna* cayó en desuso, en particular por la popularidad de los fertilizantes inorgánicos; de igual forma contribuyó a ello el incremento en el cultivo de la soya, lo que redujo el uso de aquella como forraje. En particular, en los Estados Unidos la importancia de *Mucuna* disminuyó por el cambio estructural en el sistema agrícola; en efecto, las pequeñas propiedades donde la producción de cultivos y de ganado estaba integrada, cambiaron a fincas especializadas, ya fuese en la producción de cultivos o de animales (Eilittâ y Carsky, 2003).

No obstante, en los años 80 se renovó el interés para investigar las propiedades de *Mucuna*, debido al decremento creciente de la fertilidad del suelo en muchos países en desarrollo. Esta leguminosa se convirtió así en la principal protagonista en la búsqueda de una agricultura sostenible, por sus características de alta producción de biomasa, además de sus efectos positivos sobre los cultivos asociados y el control que ejerce sobre las arvenses como cultivo de cobertura (Carsky *et al.*, 2001). En este aspecto, se ha demostrado que *Mucuna* puede evitar el desarrollo de algunas arvenses tan difíciles de controlar como *Imperata cylindrica*, un problema grave en la producción agrícola en las regiones tropicales (Chikoye and Ekeleme, 2000).

Por todo lo anterior, algunas organizaciones, se dieron a la tarea de reintroducir el cultivo de *Mucuna* en los terrenos de los pequeños productores (Caamal *et al.*, 1996; Bunch, 2002). La investigación se ha complementado con el uso de otras leguminosas como cultivos de cobertura. En esto han jugado un papel relevante las especies locales, como *Vigna unguiculata* en Yucatán, México (Castillo-Caamal, *et al.*, 2010); otras especies arbustivas son empleadas como mantillos (mulch), al aplicar su follaje para el control de las arvenses y como abono.

### **Diversificación de la agricultura en las regiones tropicales: sistemas agroforestales**

La intercalación de cultivos de cobertura en el cultivo de maíz, para controlar arvenses y mejorar el rendimiento, es sólo un primer paso hacia el diseño de sistemas agrícolas diversificados, que imiten de alguna manera a los ecosistemas naturales (Gliessman, 2002). La idea de la diversificación de los agroecosistemas no es nueva, pues se sabe que en los sistemas productivos de los mayas se imitaba la diversidad de la vegetación natural, a través del establecimiento de policultivos que incluían tanto especies anuales como especies maderables, frutales y de otros usos (Terán, 1992; Caamal-Maldonado y Armendáriz-Yáñez, 2002). Estos policultivos de carácter agroforestal son un sistema de uso de la tierra que combina la producción de cosechas de especies anuales y el desarrollo

de especies forestales de forma simultánea o secuencial. Así, se aprovecha el tiempo y el espacio para generar productos agrícolas mientras las especies arbustivas o arbóreas se desarrollan (Petit *et al.*, 2010).

Obviamente, un sistema agroforestal puede diseñarse de diversas formas y combinaciones, dado que la propia diversidad de especies involucradas así lo permite. Asimismo, las posibilidades e intereses del productor determinarán también las combinaciones que finalmente se establezcan. Al respecto, Phillips y Sorensen (1993) establecen que mientras más integrados estén los sistemas agropecuarios, menor es el peligro de que causen problemas ambientales, logrando a su vez una mayor estabilidad en la producción.

Krishnamurty (2000) destaca los resultados exitosos de sistemas agroforestales con una gran diversidad de especies para llegar a una agricultura sostenible. Indica que esa diversidad puede permitir el diseño de agroecosistemas adaptados a las diferentes condiciones en los trópicos. El autor enfatiza el uso de leguminosas, que coadyuvan a la fertilidad de los suelos y a la alimentación animal, aspecto en el que coincide con Armendáriz-Yáñez (1998).

Aunado a todo lo anterior, debe considerarse que el establecimiento de sistemas agroforestales integrados con especies locales, propicia beneficios ambientales relacionados con la captura de C (Casanova-Lugo *et al.*, 2010). Este es un aspecto de suma importancia dadas las evidencias del cambio climático a nivel mundial ocasionado en buena medida por la liberación al ambiente de gases de tipo invernadero, como el CO<sub>2</sub>, por las actividades humanas.

En los años recientes, se ha incrementado el interés en la asociación de especies forrajeras leñosas para la producción pecuaria; ello se relaciona con la necesidad de buscar alternativas locales para la creciente demanda de productos de origen animal, que a la vez reduzcan la dependencia de insumos externos y que minimicen el impacto sobre el ambiente y los recursos naturales (Chakeredza, *et al.*, 2007; Petit *et al.*, 2010). Es entonces un reto conciliar la necesidad de una

mayor productividad con la reducción de los impactos ambientales de la producción agropecuaria (Chakeredza et al., 2007; FAO, 2009).

Los arreglos agroforestales de carácter pecuario tienen la particularidad de aportar nutrimentos a los agroecosistemas (Montagnini, 2000); en particular pueden incorporar N, constituyente esencial de las proteínas, y el principal factor cuya ausencia limita la producción animal en los trópicos (Nair, 2004). Además, la hojarasca que proviene de las plantas contribuye a incrementar la materia orgánica en el suelo (Montagnini, 2000).

En virtud de lo antes expuesto, en los capítulos subsecuentes se abordarán las experiencias obtenidas en este trabajo sobre las opciones ecológicas de manejo de sistemas agropecuarios en las regiones tropicales de México. En particular se hará referencia al manejo de las arvenses en los sistemas milperos través del uso de leguminosas de cobertura y a la diversificación de dichos sistemas con la inclusión de árboles forrajeros adaptados a las condiciones particulares de la zona exhenequenera de Yucatán.

## CAPÍTULO 3

Caamal-Maldonado, A.; Armendariz-Yañez, I.  
**LA SUCESIÓN SECUNDARIA EN LOS ECOSISTEMAS Y AGROECOSISTEMAS  
TROPICALES - EL HENEQUÉN (*Agave fourcroydes*) EN EL CONTEXTO DE LA  
DIVERSIFICACIÓN**  
Tropical and Subtropical Agroecosystems, Vol. 1, Núm. 1, agosto-sin mes, 2002, pp. 28  
-32  
Universidad Autónoma de Yucatán  
México

Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=93911238005>

**Tropical and Subtropical  
Agroecosystems**  
An international multidisciplinary journal

*Tropical and Subtropical Agroecosystems*  
ccastro@uady.mx  
Universidad Autónoma de Yucatán  
México

## Foro - Forum

### LA SUCESIÓN SECUNDARIA EN LOS ECOSISTEMAS Y AGROECOSISTEMAS TROPICALES – EL HENEQUÉN (*Agave fourcroydes*) EN EL CONTEXTO DE LA DIVERSIFICACIÓN

#### *Tropical & Subtropical Agroecosystems*

#### [THE SECONDARY SUCCESSION IN TROPICAL ECOSYSTEMS AND AGROECOSYSTEMS -THE SISAL (*Agave fourcroydes*) IN THE CONTEXT OF DIVERSIFICATION]

Caamal-Maldonado, A., Armendariz-Yañez, I.

*Departamento de Agroecología*

*Faculty of Veterinary Medicine and Animal Science-University of Yucatan,*

*km. 15.5 carret. Xmatkuil. PO Box 4-116, Mérida, Yucatán, 97100, México, e-mail: arcaamal@hotmail.com*

#### **La sucesión secundaria**

Todos los ecosistemas sufren de perturbaciones naturales o antropogénicas, pero después de la perturbación, el ecosistema sufre un proceso de recuperación o regeneración vegetal (Radosевич y Holt, 1974; Gliessman, 1997).

En los ecosistemas tropicales, durante el ciclo de crecimiento arbóreo se producen aberturas en la cobertura de las especies dominantes por perturbaciones naturales (caída de árboles, huracanes, fuego), lo que genera diferentes condiciones microclimáticas que favorecen, según su tamaño, la entrada de especies pioneras que llegan al hueco en el momento de producirse éste, o que se encontraban en estado de latencia en el suelo de la selva (Clark y Clark, 1993; Vandermeer, *et al.*, 1997; Vandermeer *et al.* 1998).

Las aberturas en el dosel favorecen también el crecimiento de los estados juveniles de las especies primarias, que en sus diferentes etapas vitales pueden ser umbrófilas y heliófilas (Longman y Jenik, 1987; Didham y Lawton, 1999), iniciándose con todo ello el proceso de regeneración de la vegetación denominado sucesión secundaria.

El tamaño de los huecos producidos en la vegetación tiene influencia en la sucesión posterior, haciendo de la matriz boscosa un gran mosaico de diferentes condiciones o estados sucesionales, influenciado también por la alta heterogeneidad espacial (Radosевич y Holt, 1984; Longman y Jenik, 1987).

La importancia de la sucesión secundaria derivada de procesos naturales, se aprecia por los muchos rasgos que cambian en la comunidad a medida que un ecosistema se desarrolla y madura: la biomasa, el número de nichos, el grado de crecimiento de los productores primarios, el grado de diversidad de las especies y el reemplazo de las mismas, llegando a la etapa de un clímax dinámico (Gliessman, 1997).

En las regiones tropicales la sucesión secundaria es un proceso complejo y múltiple, que puede considerarse más probabilístico que predecible, y que puede desarrollarse por diferentes rutas desde la fase pionera hasta la madurez (Ewel, 1980). Así, la regeneración que se presenta en los sitios perturbados dentro de la matriz boscosa así como en los bordes de la misma, es una especie

de "lotería" entre las especies pioneras y las semillas forestales en latencia y las plántulas de las mismas (Longman y Jenik, 1987; Didham y Lawton, 1999).

#### **Impactos sobre el ecosistema por las actividades humanas**

Hasta ahora se ha hablado de perturbaciones de carácter natural, pero datos recientes indican que casi el 90% del territorio ocupado originalmente por ecosistemas naturales en el mundo está afectado por las actividades humanas, en gran medida por las de tipo agropecuario (Veldkamp, 1997; Gliessman, 1998).

Las parcelas campesinas representan un ejemplo especial de la sucesión secundaria, dado que son continuamente perturbados. En condiciones ideales, una vez que las actividades agrícolas cesan, se da el reemplazo sistemático de los estadios primarios e intermedios, llegando a la etapa sucesional más avanzada, no necesariamente idéntica al ecosistema original. Sin embargo, es común que en los sistemas agrícolas haya una manipulación continua de la vegetación por medios culturales como la labranza o el chapeo, o por el uso de herbicidas o fuego, propiciando que las arvenses (malezas) puedan ocupar los estadios primarios de la sucesión secundaria (Uhl y Kauffmann, 1990). En el ambiente natural, las arvenses podrían ser clasificadas como pioneras o invasoras (Radosевич y Holt, 1984).

En México y otras partes de Latinoamérica, la deforestación acelerada ha conducido al reemplazo de los ecosistemas nativos por sistemas de producción que en conjunto forman mosaicos integrados por tierras en cultivo, potreros, vegetación secundaria en diferentes grados de sucesión y fragmentos (casí relictos) de la vegetación original. Cuando en tal mosaico la parte dominante la constituyen grandes extensiones de pasturas para el ganado (Ferrufino, 1991; Holl, 1999; Otero-Arnaiz, *et al.*, 1999), se establece un contraste marcado con el ecosistema original, que resulta así fragmentado (Gliessman, 1997; Zahawi y Augspurger, 1999), y disminuyendo la materia orgánica en el suelo, en específico el carbono orgánico (Gliessman, 1997; Veldkamp, 1994).

#### **Importancia e Implicaciones del Sistema Agrícola de Roza-Tumba-Quema en el Proceso Sucesional**

Dentro de tal contexto, el sistema agrícola de roza-tumba-quema (RTQ) adquiere gran relevancia para el proceso sucesional. La RTQ es el agroecosistema con la más larga historia de uso del fuego (Gliessman, 1997). Este tipo de agricultura se remonta en su origen a las culturas indígenas que han habitado las regiones tropicales, cuando menos desde hace 3,000 años (Coe y Flannery, 1981; Gliessman, 1997; Mariaca, 1992; Terán, 1992; Zizumbo, 1992).

En Yucatán este tipo de agricultura contribuyó, durante milenios, al desarrollo de las comunidades mayas con niveles poblacionales relativamente altos, no obstante las condiciones limitantes de la región, sobre todo la pedregosidad de los suelos (Arias, 1992 y 1995). Actualmente, este sistema itinerante es practicado en 165,000 ha de milpa (como se le conoce localmente en Yucatán), contribuyendo con ello al 80% de la producción alimentaria en el estado (Jiménez-Osornio, 1993).

Aunque parece algo muy simple, la roza, tumba y posterior quema de la vegetación antes de iniciar el cultivo, constituyen una trilogía adaptada a las condiciones ecológicas del trópico (Bandy *et al.*, 1994; Duch, 1992). Después del fuego, el movimiento de nutrientes se hace muy dinámico, por lo que los cultivos necesitan tomar rápidamente los nutrientes añadidos al suelo por las cenizas, pues de otra forma serían lavados o aprovechados por las arvenses. De hecho, la pérdida de nutrientes, aunque variable, suele ser muy rápida y considerable (Gliessman, 1997).

Por lo anterior, en la RTQ se toma en consideración el proceso de la sucesión secundaria para restablecer la fertilidad perdida: después de un periodo de cultivo corto (2-3 años), el terreno se deja en descanso (barbecho), que permite la recirculación de minerales entre el suelo y la fitomasa y la reincorporación de la materia orgánica disminuida durante el ciclo de cultivo (Arias, 1992; Levy y Hernández, 1992). Incluso durante la preparación del terreno se dejan tocones y algunos individuos arbóreos que contribuirán a la ulterior regeneración.

Al abandonar un espacio cultivado, se abre una nueva área dentro de la matriz boscosa para un nuevo ciclo de cultivo, estableciendo con ello una rotación de terrenos con diferentes edades de barbecho, hasta llegar a utilizar de nuevo el espacio utilizado en un principio. A final de cuentas, diferentes parcelas con diferentes tiempos de regeneración generan un verdadero mosaico sucesional dentro del ecosistema en su conjunto (Caamal y Del Amo, 1986; Gliessman, 1997).

Obviamente, el sistema de RTQ trabaja bien cuando se permite que el proceso de la sucesión natural tome suficiente tiempo para restaurar la fertilidad perdida por la perturbación causada y por la cosecha de los productos de la milpa (Gliessman, 1997). Además, el periodo de descanso coadyuva a la supresión de poblaciones de arvenses, a instancias del mismo proceso sucesional (Caamal y del Amo, 1986).

## **Impactos sobre el ecosistema por un manejo inadecuado de la RTQ**

Cuando el sistema de RTQ se maneja mal, ya sea por la extracción de madera para leña, por la introducción de cultivos no apropiados, por el sobrepastoreo o, sobre todo, por la reducción del periodo de barbecho, se propicia la invasión de arvenses nocivas o se genera la ruptura del proceso que posibilita la recuperación de la cobertura del suelo por las especies nativas (Gliessman, 1998).

En relación con el periodo de barbecho, debe enfatizarse que el sistema de RTQ es eficiente bajo condiciones de baja presión sobre las tierras en descanso (Jiménez-Osornio, 1993; Kleinman, P. *et al.*, 1995). Si, por el contrario, hay mayor demanda de tierra, por una mayor densidad poblacional o escasez de terrenos con suficiente tiempo de descanso, los periodos de barbecho pueden acortarse considerablemente (Bandy *et al.*, 1994), permitiendo la invasión de arvenses nocivas, y rompiendo el proceso que permite la recuperación de la cobertura de las especies nativas. El sobreuso del fuego, al quemar para dar inicio a nuevos ciclos de cultivo después de periodos cortos de descanso propicia que el sistema no sea sostenible (Cochrane y Schulze, 1999; Gliessman, 1997; Holl, 1999).

En la actualidad, la disminución de los periodos de descanso es la norma, por lo que el rendimiento del cultivo declina, y el establecimiento de especies arbóreas se inhibe, dando lugar a una "sucesión interrumpida" (Landsberg *et al.*, 1999).

De hecho, el esquema actual de manejo en las regiones tropicales de México inicia con la extracción selectiva de especies maderables del ecosistema, para una posterior utilización agrícola por un corto periodo, dados los problemas con malezas y bajos rendimientos, para posteriormente establecer pastizales para la ganadería extensiva (Gómez-Pompa, *et al.*, 1993; Montagnini *et al.*, 1998) con lo cual el proceso natural de sucesión secundaria se ve degradado (Otero-Arnaiz, *et al.*, 1999).

Aunado a lo anterior, parece haber un sinergismo entre la perturbación causada por la ganadería y la extracción selectiva de madera. Se ha demostrado que en tierras degradadas por este tipo de explotaciones los incendios son frecuentes, porque los bosques presentan gran cantidad de residuos de la vegetación arbórea y herbácea, a la par que hay cambios en el microclima por la disminución en la cobertura arbórea, incremento en las temperaturas máximas diarias, incremento en la velocidad del viento y en el déficit de la presión de vapor (Cochrane y Schulze, 1997).

A medida que se incrementan la intensidad y frecuencia de los incendios, decrece la cobertura arbórea, la biomasa y la densidad de árboles adultos hasta en un 70%. Las partes no perturbadas se presentan como parches dentro de la parte quemada, representando un porcentaje muy bajo del total, lo que implica una fragmentación marcada del ecosistema. La intensidad del fuego favorece la abundancia de especies pioneras, que dominan en los estratos bajos, y disminuyendo la riqueza de especies en proporción inversa con la severidad del incendio (Longman y Jenik, 1987; Cochrane y Schulze, 1997).

Para enfrentar el impacto descrito sobre los ecosistemas, la estrategia debería ser la creación de un eje de continuidad entre estos y los sistemas de producción agropecuaria (Gliessman, 1997); éstos últimos tienen que jugar un papel fundamental en la protección y restauración de la biodiversidad regional y global.

Moverse de un agroecosistema uniforme, en monocultivo, a uno más diverso y sostenible, no es un proceso fácil ni inmediato. Por ello, los esfuerzos de reconversión deben realizarse paso a paso hasta llegar a la meta de la sostenibilidad mediante la diversificación.

Es factible presentar esquemas de manejo diversificado que pueden evaluarse con la participación de los actores locales, las comunidades campesinas. En pocas palabras, la secuencia que sería deseable lograr sería: diversificación-sostenibilidad-conservación de la biodiversidad (Del Amo, 1993; Gliessman, 1998), generando opciones agroecológicas que aprovechen las interacciones y sinergismos ecológicos que permitan el reemplazo de insumos ajenos a los agroecosistemas (Caamal *et al.*, 2001).

#### **El Henequén (*Agave fourcroydes*) dentro del contexto de diversificación como recurso sustentable**

De acuerdo con lo antes expuesto, cabría preguntarse el papel que deberá jugar la producción de henequén (*Agave fourcroydes*) en el contexto de una agricultura diversificada y sustentable en Yucatán. Para ello, es necesario considerar las condiciones en que se encuentra actualmente la producción henequenera en dicho estado.

La agroindustria henequenera, tal como existe en la actualidad es, desde luego, producto de su historia (que se inicia desde antes del siglo XIX), pero sobre todo de la evolución que ha tenido en las últimas cuatro décadas (Mizrahi *et al.*, 1997; Colunga, 1998; Macossay y Castillo, 1986). En efecto, ante la demanda de fibra cordelera que se dio en E.U., particularmente en la segunda mitad del siglo XX se plantaron grandes extensiones de henequén (Macossay y Castillo, 1986), que propiciaron la erosión de la diversidad genética de la agaveacea. Actualmente sólo se cultivan tres variedades: Sak ki, Yaax ki y Kitam ki, las dos últimas con poblaciones pequeñas (Colunga, 1998). Aunque hubo beneficios económicos de magnitud tal que el 80% del PIB de Yucatán provenía del henequén, estos se concentraron en un reducido grupo de hacendados que establecieron relaciones de carácter casi feudal sobre los campesinos asalariados (Baños, 1994, citado por Mizrahi, *et al.*, 1997; Macossay y Castillo, 1986).

En la región henequenera de Yucatán, localizada en su porción oriental, y llamada así porque desde los años 50 se trabajó casi exclusivamente el monocultivo extensivo del henequén para la obtención de fibra; el problema se tornó crítico cuando, a partir de 1992, se eliminó el subsidio que las autoridades agrícolas proporcionaban a los productores de la fibra (Jiménez-Osornio, 1993, 1995).

Por lo anterior, en los últimos años el abandono de los henequenales se ha acelerado, reiniciado la actividad milpera. No obstante, como el cultivo extensivo de la agaveacea propició la escasez de vegetación secundaria con suficiente tiempo de descanso para permitir un manejo adecuado de los recursos bajo el

sistema de RTQ, los rendimientos de maíz son muy escasos (cerca de 750 kg/ha) (Jiménez-Osornio, 1993, 1995).

El proceso de sucesión secundaria en los henequenales abandonados se ve afectado para la extensión de la perturbación. Aún en los henequenales abandonados con más de 20 años de descanso, la dominancia de especies sucesionales pioneras es marcada, con muy pocas especies de etapas serales tardías. La ausencia de especies de lento crecimiento en sitios con suficiente tiempo de descanso, puede deberse a la carencia de fuentes de semilla, a una limitada capacidad de dispersión, o a la sucesión detenida debido a la perturbación y manejo humanos (Mizrahi *et al.*, 1997).

En años recientes ha recobrado cierto auge la producción de fibra de henequén, pero sobre todo, se ha considerado utilizar el bagazo de la planta para producir un cierto tipo de tequila, debido a la crisis en que se encuentra la industria tequilera por la escasez de su pariente cercano, *Agave tequilana* (Larqué, 2001). Ante las perspectivas que se vislumbran, es necesario no colocar de nueva cuenta al henequén como el "oro verde" (Jiménez-Osornio, 1995), sino integrar el cultivo en esquemas de manejo diversificados. El pasado nos da lecciones sobre ello, pues el henequén era normalmente cultivado como parte de un sistema agrícola más complejo debido al tiempo que requería para alcanzar su madurez y posterior aprovechamiento (Mizrahi *et al.*, 1997).

En efecto, por lo común se abría un área forestal, y el henequén era cultivado a la par de la milpa. Esta continuaba produciendo los alimentos básicos de los campesinos por dos o tres años, mientras que la agaveacea maduraba, en un esquema agroforestal tipo Taungya (durante el establecimiento de árboles de importancia económica, se siembran cultivos anuales o bianuales) (Caamal y del Amo, 1986; Mizrahi *et al.*, 1997).

La estrategia sería entonces conservar y aprovechar integralmente el germoplasma disponible del henequén, recuperando las variedades que puedan incorporarse a sistemas diversificados de producción agroforestal o silvopastoril y de uso múltiple de la agaveacea (Colunga, 1998; Jiménez-Osornio, 1995).

#### **Bibliografía**

- Anderson, L.; Sinclair, F. 1993. Ecological interactions in agroforestry systems. *Forestry Abstracts* 54: 489-523.
- Arias, L. 1992. El proyecto dinámica de la milpa en Yucatán. In D. Zizumbo, C.H. Rasmussen, L.M. Arias, S. Terán. (Eds). *La Modernización de la Milpa en Yucatán: Utopía o Realidad. II. Racionalidad Tecnológica e Innovaciones*. Colegio de Posgraduados, México. p. 195-202.
- Arias R., L. 1995. La producción milpera actual en Yaxcabá, Yucatán. En: Hernández X. (ed.). *La Milpa en Yucatán*. Colegio de Posgraduados. México.
- Bandy, D.; Garrity, D.; Sanchez, P. 1994. El problema mundial de la agricultura de tala y quema. *Agroforestería en las Américas* (C.R.) 1(3):14-20.

- Caamal, A.; Del Amo, S. 1986. La milpa múltiple como punto de partida del manejo de la sucesión secundaria. *Turrialba*. 37: 1-25
- Cadish, G.; Imhof, H.; Urquiaga, S.; Boddey, R.; Giller, K. 1996. Carbon turnover ( $\delta^{13}C$ ) and nitrogen mineralization potential of particulate light soil organic matter after rainforest clearing. *Soil Biology and Biochemistry*. 28: 1555-1567.
- Clark, D. B.; Clark, D. A. 1993. Comparative analysis of microhabitat utilization by saplings of nine tree species in neotropical rain forest. *Biotropica* 25: 397-407.
- Cochrane, M.; Schulze, M. 1999. Fire as a recurrent event in tropical forests of the Eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition. *Biotropica* 31: 2-16.
- Colunga, P. 1998. Origen, variación y tendencias evolutivas del henequén (*Agave fourcroydes* Lem.). *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 62: 109-128.
- Del Amo, S. y Ramos, J. 1993. Use and management of secondary vegetation in a humid-tropical area. *Agroforestry Systems* 21:27-42.
- Didham, R.; Lawton, J. 1999. Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. *Biotropica* 31: 17-30.
- Ewel, J. 1980. Tropical succession: manifold routes to maturity. *Biotropica* 12: 2-7.
- Ewel, J.; Campello, E.; Da Silva, E.; De Faria, S. 1992. Revegetacao de solos degradados. Comunicado Técnico No. 9. EMBRAPA, Brasil. Pp. 1-9.
- Gliessman, S. 1997. Agroecology. Ecological processes in sustainable agriculture. *Ann Arbor Press*. USA. 357 p.
- Gomez-Pompa, A.; Kaus, A.; Jimenez-Osornio, J.; Bainbridge, D.; Rorive, V. 1993. Sustainable agriculture and the environment in the humid tropics. Chapter Mexico. *National Academy Press*, Washington, D.C. USA. Pp. 483-548.
- Holl, K. 1999. Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed germination, microclimate, and soil. *Biotropica*. 31: 229-242.
- Jimenez-Osornio, J. 1993. Mejoramiento de la calidad de vida en la zona henequenera de Yucatán mediante sistemas de producción agrosilvícolas. Informe del Programa de Manejo Conservación de Recursos Naturales Tropicales, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 22 p.
- Jimenez-Osornio, J. 1995. Después del oro verde, ¿qué?. *Red Gestión de Recursos Naturales*. Año 3. Núm. 5-7.
- Kleinman, P.; Pimentel, D.; Bryant, R. 1995. The ecological sustainability of slash-and-burn agriculture. *Agriculture Ecosystems and Environment* 52: 235-249.
- Landsberg, J.; O'Connor, T.; Freudenberger, D. 1999. The impacts of livestock grazing on biodiversity in natural ecosystems. In: H.J. Jung and G. Fahey Jr, (Eds.) *Nutritional Management for Free-Ranging Livestock*, 5th International Symposium on the Nutrition of Herbivores. American Soc. of Animal Science, San Antonio, TX, USA. pp. 752-777.
- Larque, S. 2001. Entrevista en el Diario de Yucatán. Mérida, Yuc.
- Levy, S.; Hernandez, X. E. 1992. La sucesión secundaria y su manejo en el sistema roza-tumba-quema. In D. Zizumbo, Ch. Rasmussen, L.M. Arias, S. Terán (eds.). *La Modernización de la Milpa en Yucatán: Utopía o Realidad*. III. Racionalidad Tecnológica e Innovaciones. p. 203-214.
- Longman, K. A.; Jenik, J. 1987. *Tropical forest and its environment*. 2nd. Ed. John Wiley and Sons. New York Longman Scientific and Technical. USA. Pp. 65-69.
- Maco assay, M.; Castillo, M. 1986. *Telchac Pueblo: una comunidad henequenera*. Universidad Autónoma Chapingo. Colección Cuadernos Universitarios. Serie Agronomía No. 14. 178 p.
- Mizrahi, A.; Ramos-Prado, J.; Jimenez-Osornio, J. 1997. Composition, structure, and management potential of secondary dry tropical vegetation in two abandoned henequen plantations of Yucatan, Mexico. *Forest Ecology and Management* 96: 273-282.
- Montagnini, F.; Eibl, B.; Szczipanski, L.; Rios, R. 1998. Tree regeneration and species diversity following conventional and uniform spacing methods of selective cutting in a subtropical humid forest reserve. *Biotropica* 30: 349-361.
- Otero-Arnaiz, A.; Castillo, S.; Meave, J.; Ibarra-Manrique, G. 1999. Isolated pasture trees and the vegetation under their canopies in the Chiapas Coastal Plain, Mexico. *Biotropica* 31: 253-254.
- Quintana-Ascencio, P.; Gonzalez-Espinosa, M.; Ramirez-Marcial, N.; Dominguez-Vazquez, G.; Martinez-Ico, M. 1996. Soil seed banks and regeneration of tropical rain forest from milpa fields at the Selva Lacandona, Chiapas, Mexico. *Biotropica* 28: 192-209.
- Radosevich, S.; Holt, J. 1984. *Weed ecology*. Implications for vegetation management. John Wiley and Sons. New York. USA. Pp. 15-20.
- Uhl, CH.; Kauffman, J. 1990. Deforestation, fire susceptibility, and potential tree responses to fire in the eastern Amazon. *Ecology* 71: 437-449.
- Vandermeer, J.; Granzow, I.; Boucher, D. 1997. Contrasting growth rate patterns in eighteen tree species from a post-hurricane forest in Nicaragua. *Biotropica* 29: 151-161.
- Vandermeer, J.; Brenner, A.; Granzow, I. 1998. Growth rates of tree height six years after hurricane damage at four localities in eastern Nicaragua. *Biotropica* 30: 502-509.

Veldkamp, E. 1994. Organic carbon turnover in three tropical soils under pasture after deforestation. *Soil Science Society of America Journal*. 58: 175-180.

Zahawi, R.; Augspurger, C. 1999. Early plant succession in abandoned pastures in Ecuador. *Biotropica* 31: 540-552.

## CAPÍTULO 4

### The Use of Allelopathic Legume Cover and Mulch Species for Weed Control in Cropping Systems

Jesús Arturo Caamal-Maldonado, Juan José Jiménez-Osornio, Andrea Torres-Barragán, and Ana Luisa Anaya\*

#### ABSTRACT

Traditional weed control practices in Mexico use legumes as cover crops or manures. Legumes used in these practices play a dual role in agroecosystems by protecting the soil from erosion and by enriching it with organic matter and N through *Rhizobium* symbiosis. Farmers in the tropical regions of Mexico use *Mucuna* spp., *Canavalia* spp. and other legumes to control weeds in their fields. We conducted in vitro bioassays and greenhouse experiments to evaluate the toxic effect of four legumes velvetbean [*Mucuna deeringiana* (Bort) Merr.], jackbean [*Canavalia ensiformis* (L.) DC.], jumbiebean [*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit], and wild tamarind [*Lysiloma latisiliquum* (L.) Benth.] on weed growth, and on the survival of insects and nematodes. The aqueous leachates (1%) of the four legumes were tested on three test plants by seed germination and radicle growth bioassays in petri dishes. The aqueous leachates of all four legumes exhibited strong phytotoxic effect on the radicle growth of the test plants. The effects of velvetbean and jackbean leachates were also evaluated on the survival of phytopathogenic nematodes. Both leachates had nematotoxic effects. Greenhouse experiments were conducted to evaluate the effect of the four legumes dried leaves incorporated as mulches to potting soil, on the number and biomass of weeds, and on the biomass of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plants. The decomposition of velvetbean and jackbean leaves in potting soil significantly reduced (>50%) the development of phytopathogenic nematodes in the roots of tomato. A 5-yr field experiment conducted at the University of Yucatan (UADY) evaluated the effect of velvetbean and jackbean used as living cover crops, and jumbiebean and wild tamarind used as dead mulches incorporated on soil surface, on weed growth, and corn (*Zea mays* L.) yield. The experimental field was treated with the traditional slash and burn system in February 1994. In July 1994 the experiment was performed using the local agricultural practices in a complete randomized block design with three repetitions. The treatments were: corn+velvetbean, corn+jackbean, corn+jumbiebean, corn+wild tamarind, corn+Paraquat (1,1'-dimethyl-4,4'-bipyridinium ion) herbicide, corn weeded by hand, and plots without corn weeded by hand. The number, biomass, diversity, and relative importance of weeds, as well as corn yield, were evaluated. In addition, taxonomic composition of weeds was determined. All legumes reduced weed growth with velvetbean (as living cover crop) producing the largest weed biomass reduction (68%). These legumes also improved the yield of corn during the first 2 yr of the experiment. For better management of natural resources, the use of legumes as biological tools in agriculture to control weeds and improve soil conditions should be encouraged through coordinated efforts between farmers, academic, and governmental institutions.

**S**OIL is a strategic resource for agriculture. The use of organic fertilizers to improve soil is very old.

J.A. Caamal-Maldonado and J.J. Jiménez-Osornio, Departamento de Manejo y Conservación de los Recursos Naturales Tropicales, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), Km. 15.5, Carretera Mérida-Xmatkuil, 97000, Mérida, Yucatán, México; and A. Torres-Barragán and A.L. Anaya, Instituto de Ecología, UNAM, Ciudad Universitaria, AP 70-243, México, 04510, D.F. Received 29 Nov. 1999. \*Corresponding author (aanaya@ifisiol.unam.mx).

Published in Agron. J. 93:27–36 (2001).

Theophrastus (372–287 BC), Cato (234–149 BC), and Xenophanes (44 BC), pointed out the importance of legumes and grasses as mulches. Other common organic fertilizers included dung of birds and bats (guano), fish fertilizer, dry blood, and dry meat. The Maya people fertilized their crops with dead leaves from the tropical forest, secondary and savanna plant communities, and animal manures. All these organic compounds help improve the soil by increasing water retention capacity, thus impeding nutrient loss by leaching, by decreasing erosion and surface drainage, and by helping control weeds and other pests (Rosado-May, 1986; Anaya et al., 1987).

Ramos et al. (1983) reported the use of various species of Commelinaceae that cover extensively the soil of shaded coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Coatepec, Veracruz. Coffee farmers manage the growth of these plants and use them as green fertilizers and weed controllers. Similarly, some species of *Ipomoea* are used as green manures and as a weed controller in some tropical regions of Mexico. In sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) fields of the state of Morelos, Mexico, farmers promote *Ipomoea tricolor* (Cav.) growth before sugarcane cultivation. Its allelopathic potential was described by Anaya et al. (1990). Pereda-Miranda et al. (1993) identified Tricolorin A from the resin glycoside mixture of the plants as the major phyto-growth inhibitor.

Likewise, some tropical bean plants are used in Mexico, the Caribbean, and Asian countries for the same purposes. These bean plants are annual vines or shrubs that grow vigorously for a short time after being sowed, and cover the soil with a thick layer of growth, thus reducing light, preventing extreme temperature changes, and impairing weed growth (Lanini, 1987; Radosевич and Holt, 1984). Some of these legumes have allelopathic potential that affects the growth of other weeds (Hart, 1986; Vandermeer, 1989; Lathwell, 1990; Trenbath et al., 1990; Fujii, 1999). In tropical American countries, these bean plants are intercropped with corn, sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], and millet [*Pennisetum americanum* (L.) Leke]. Velvetbean (*Mucuna deeringiana*, *M. cochinchinensis*, and *M. pruriens*) are among the important widely used bean plants because of their fast growth and abundant biomass (Buckles and Barreto, 1994). Some are used also as fodder (Chacón and Gliessman, 1982; Anaya et al., 1992). In Tabasco and Veracruz, *Mucuna* spp. weed control practices helped maintain corn production around 3.0 t/ha (Arévalo and Jiménez-Osornio, 1988). In Yucatan, ex-

**Abbreviations:** Alelomez, Laboratorio de Alelopatía; UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México; UADY, Universidad Autónoma de Yucatán; LD, low dose; RD, recommended dose; GI, gall index; DW, dry weight; RIV, relative index value; SD = maximum standard deviation.

perimental practices of jumbiebean and wild tamarind leaves as mulches at the UADY fields are promising (Jiménez-Osornio, 1989).

In the Yucatan Peninsula of Mexico, the production of traditional crops is dependent upon the rainy season. Some of these regions are inadequate for conventional agriculture, primarily because of heavy soil erosion, a situation that is common to most tropical regions of the world. The cultivation of henequen (*Agave fourcroydes* Lem.) at the end of the 19th century to the present was based on the traditional *slash and burn* system. Today, this system is considered obsolete due to the ecological, social, and economic circumstances of the whole area (Hernández-Xolocotzi, 1985).

In the northern part of the Yucatan peninsula, the soil is very rocky and scarce. Crop production is poor and it is limited only to a 2-yr period. The fallow period is very short (<8 yr). This reduces secondary vegetation growth, and consequently crops are cultivated in poor soil with no organic matter. The average corn yield in Yucatan is approximately 750 kg/ha, much lower than the national average yield of 2 t/ha. In addition, pest problems are severe, particularly in weed-infested areas resulting in the heavy use of herbicides such as Paraquat dichloride (Gramoxone) and 2,4-D (Esteron) (2,4-dichlorophenoxyacetic acid) (Hernández-Xolocotzi, 1985; Levy and Hernández-Xolocotzi, 1992). In southeastern Mexico, this has led to the drastic reduction of companion crop diversity traditionally associated with corn, such as squash (*Cucurbita* L. spp.), and beans, 'ib' (*Phaseolus lunatus* L.) and 'xpelón' [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. The use of herbicides causes another problem, that of the selective growth of weeds (Caamal et al., 1996).

New resources management initiatives are necessary to restore the soil; increase organic matter and nutrients; control pests; improve crop production; and find adequate techniques to reach a sustainable production (Warren, 1983; Weston, 1996). The Department of Management and Conservation of Natural Tropical Resources (PROTROPICO) of the Facultad de Veterinaria y Zootecnia of UADY has established a program to improve agricultural practices leading to increase crop yield, control pest growth, and limit usage of harmful agrochemicals (Caamal et al., 1996).

The goal of the present study was to evaluate the effects of some legumes used as living cover crops and dead mulches, on the growth of crops and weeds. The objectives were:

1. To evaluate the effect of velvetbean, jackbean, jumbiebean, and wild tamarind used as dead mulches on the growth of tomato and weeds, and on the survival of nematodes and insects, using greenhouse experiments and in vitro bioassays.
2. To evaluate the effect of these legumes on weed growth and corn yield in a 5-yr field experiment (1994–1998) in which velvetbean and jackbean were used as living cover crops, and jumbiebean and wild tamarind as dead mulches incorporated to the soil surface.

## MATERIALS AND METHODS

**In Vitro Bioassays with Seeds.** Leaves of the four legumes were collected in the experimental fields of UADY in 1994, air-dried, and transported to Alelomex Laboratory at the Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). The herbarium samples were kept at the UADY herbarium. Leaves were crushed by hand, and aqueous leachates were prepared by soaking 2 g of each plant in 100 mL of distilled water for 4 h. Each leachate was filtered and osmotic pressure was measured in a freezing-point osmometer (Osmette A. Precision Systems) to prevent the negative effects of a high-concentration solution on the germination and growth of the test plants. Each aqueous leachate (2%) was mixed (50:50) with 1.5% pure agar to obtain a 1% test solution. Pure agar (0.75%) was used as control.

Phytogrowth inhibitory activities of the aqueous leachates were determined by seed germination and radicle growth bioassays in petri dishes on three test species: barnyardgrass [*Echinochloa crusgalli* (L.) P. Beauv. (Poaceae)], alegría or amaranth [*Amaranthus hypochondriacus* (L.) Amaranthaceae], and tomato.

Treatments were set up in 5.5-cm Petri dishes. Ten seeds randomly selected from a sample of the seed population were sown equally spaced in a circle on the agar of each dish. Four repetitions were used per treatment in a completely randomized block design. Petri dishes were incubated in darkness at 27°C. Germination and radicle growth were measured after 24 h for alegría, 48 h for barnyardgrass, and 72 h for tomato. Data were analyzed with the ANOVA and Tukey's test.

**Bioassays with Nematode Larvae.** To evaluate the effect of aqueous leachates (1%) of the four legumes on the survival of phytopathogenic nematodes, a bioassay was conducted using the phytopathogenic nematodes *Meloidogyne incognita* Kofoid & White, and *Nacobbus aberrans* Thorne as test species. Larvae were hatched from eggs obtained from the roots of infested tomato plants at the Colegio de Posgraduados, in Texcoco, by placing the eggs in water in a petri dish and incubating at 24°C until hatched. Treatments were: leachates (1%) from velvetbean, jackbean, jumbiebean, and wild tamarind leaves, and distilled water was used as control. For bioassay, 10 larvae J2 of *M. incognita* or *N. aberrans* were placed in a 3-cm petri dishes containing 3 mL of each treatment including control in a complete randomized design with four repetitions per treatment. After 24 h incubation at room temperature, the petri dishes were examined and the percent nematode survival was calculated as follows: [(No. of live nematode)/10] × 100. Results were analyzed by ANOVA.

**Bioassay with Nematode-Infested Seedlings.** The treatments used in this experiment were the same as the previous one. Vials containing 20 g of sterile sand were moistened with 2.5 mL of water. Then, 3-mL of solution comprising of 1 mL of each test larvae suspension (1000 larvae/mL) and 2 mL of each leachate treatment, or distilled water (for the control) was added to each vial. The vials were incubated at room temperature for 24 h. Thereafter, a 6-wk old tomato seedling (with two true leaves) was transplanted into each vial and kept at room temperature for 3 wk. Seedlings were moistened when needed and 1 mL of a nutrient solution (Triple 17: N, P, K at 3%) was added weekly. At the end of the experiment, the gall index in the roots of each plant (Bridge and Page, 1980) and their dry weight were determined. The results were analyzed by ANOVA.

**Bioassays with Insects.** The toxic effect of legumes was evaluated on army worm (*Spodoptera frugiperda* Smith, Lepidoptera, Noctuidae). Insects were obtained from the Colegio

de Posgraduados, in Texcoco. First and second instar larvae were kept in aired jars with a special diet consisting of:

Water, 750 mL  
 Agar, 10 g  
 Soybean flour, 50 g  
 Corn flour, 96 g  
 Beer yeast, 40 g  
 Wheat germ, 200 g  
 Sorbic acid, 2 g  
 Ethyl alcohol, 5 mL  
 Choline chloride, 2 g  
 Ascorbic acid, 4 g  
 Methyl p-hydroxybenzoate, 2.5 g  
 Salts mixture W, 7 g  
 Vitamins, 2.5 g  
 Formaldehyde 40%, 15 mL  
 Aureomycin, 5 g  
 Streptomycin, 0.025 g

This formula was mixed with warm agar (2.5%) by stirring for 10 min until completely homogenized, and kept at 4°C. When the larvae reached the third stage, they were transferred to individual jars to avoid cannibalism. Adults male (gray with small dark spots) and females (gray) were grouped in 10 to 12 couples and placed in wax paper bags. Egg masses were collected daily and placed in new jars with the diet. The treatments were as follows: Control (distilled water) and aqueous leachates (1 and 2%) of: velvetbean, jackbean, jumbiebean, and wild tamarind leaves. Each treatment was added to a petri dish containing 30 g of the diet. The same amount of treatment sufficient to wet the diet was previously established. The prepared diet was divided in 10 equal parts (3 g approximately) and placed in separate jars. Two first instar larvae were added per jar and maintained at room temperature for 10 d. Survival was recorded after this time. The bioassay was set up in a complete randomized block design with three repetitions. Results were analyzed by ANOVA.

**Greenhouse Experiment 1.** A greenhouse experiment was conducted to evaluate the effect of the legume dried leaves used as mulches in potting soil, on the number and biomass of weeds growing spontaneously from the seed bank of the soil, and on the biomass of tomato plants. Crushed leaves of each test plant were added (1 and 2%) to soil (300 g) in pots. Vermiculite was added (1 and 2%) to the control pots. Herbicide was added to the soil at the same time as the mulches. Pots were watered to field capacity and kept in the greenhouse for 8 d. A 21 d old tomato seedling was transplanted to each pot. Experimental pots were maintained in the greenhouse for 6 wk and watered when needed. Treatments evaluated were:

1. Control soil + vermiculite (1%)
2. Control soil + vermiculite (2%)
3. Soil + velvetbean (1%)
4. Soil + velvetbean (2%)
5. Soil + jackbean (1%)
6. Soil + jackbean (2%)
7. Soil + jumbiebean (1%)
8. Soil + jumbiebean (2%)
9. Soil + wild tamarind (1%)
10. Soil + wild tamarind (2%)
11. Soil + vermiculite (1%) + herbicide (LD)
12. Soil + vermiculite (2%) + herbicide (RD)

[Herbicide: DACTHAL W-75 (Fermenta ASC, dimethyl tetrachloroterephthalate). Recommended dosage (RD) = 11.2 kg/ha. Low dosage (LD) = 0.5 of RD].

Volcanic deep clay Feozem soil from a crop field from San

Pablo Oztotepec hills, Milpa Alta, Mexico City, was used in this experiment. Physical and chemical characteristics of this soil show that it is a clay-loam soil with a pH slightly acid (6.3), with 2.4% of organic matter, extremely poor in K (1.12 cmol<sub>e</sub>/kg), poor in available Ca (0.8 cmol<sub>e</sub>/kg) and Mg (0.20 cmol<sub>e</sub>/kg), and rich in P (500 mg/kg) and N (3010 mg/kg). The soil was air-dried and sieved before use. A completely randomized block design was used with four repetitions per treatment. The results were analyzed by ANOVA and Tukey tests.

Effects of the water collected from pots containing legume mulches on radicle growth. The objective of this experiment was to test the effect of the water collected from mulch-treated pots on the radicle growth of alegría and barnyardgrass. Water was collected five times from pots during the course of the experiment filtered through a filter paper and mixed (1:1) with agar (1.5%) in a petri dish. Control petri dishes contained only distilled water plus agar. Ten seeds of alegría or barnyardgrass were placed in each dish. Bioassays were performed in a randomized complete block design with four repetitions per treatment. Petri dishes were maintained in the dark at 27°C. Radicle growth was measured after 24 h for alegría and 48 h for barnyardgrass. The results were analyzed by ANOVA.

**Greenhouse Experiment 2.** This experiment evaluated the effects of velvetbean and jackbean used as mulches on the survival of nematodes in tomato-infested plants. In this experiment only velvetbean and jackbean were evaluated because they showed a more toxic effect in vitro on larvae survival. Both plants were dried, crushed by hand, and incorporated (1 and 2%) to potting (300 g). Pots were watered to field capacity and kept 8 d in the greenhouse. Three mL of a J2 larvae suspension (1000 larvae/mL) or distilled water for the control were added to each pot. A 15 d old tomato seedling was transplanted into each pot. Pots were watered as needed. Treatments were as follows:

1. Control 1 soil + vermiculite (1%)
2. Control 2 soil + vermiculite (2%)
3. Soil + velvetbean (1%)
4. Soil + velvetbean (2%)
5. Soil + jackbean (1%)
6. Soil + jackbean (2%)
7. Soil + vermiculite (1%) + nematicide LD
8. Soil + vermiculite (2%) + nematicide RD

[Nematicide: NEMACUR 400 CE (Bayer, ethyl-3-methyl-4-(methylthio) phenyl (1-methylethyl) phosphoramidate. Recommended dosage (RD) = 17.5 kg/ha. Low dosage (LD) = 0.5 of RD. Nematicide was added 15 min after the inoculation of soil with nematodes].

A complete block design with six repetitions was performed. Two months later, the gall index in the roots of each plant (Bridge and Page, 1980) was determined. The results were analyzed by ANOVA and Tukey tests.

**Field Experiment.** To evaluate the effect of the four legumes on weed growth and on corn yield, a 5-yr field experiment was conducted (from 1994 to 1998) in an abandoned henequen (*Agave fourcroydes* Lem.) experimental field of PROTROPICO (Program of Conservation and Management of Tropical Natural Resources, UADY) at Xmatkuil, Merida, Mexico. Velvetbean and jackbean were used as living cover crops, jumbiebean and wild tamarind as soil-incorporated dead mulches or green manures. The climate of the region is warm and subhumid, with a dry season in winter and a shorter dry season in summer. Average annual temperature fluctuates around 27.5°C, and the average rain (May–November) is about 900 mm annually (García, 1973). The soil is heterogeneous, shallow, rocky (limestone), clay-loam, with a pH about 7.7,

**Table 1. Effects of aqueous aerial part leachates (1%) of velvetbean, jackbean, jumbiebean, and wild tamarind on the radicle growth of three test species.**

Treatments	Alegria†	Barnyardgrass	Tomato
	% of radicle growth		
Control	100	100	100
Velvetbean	34.0*	73.8*	52.2*
Jackbean	37.5*	93.0	34.3*
Jumbiebean	74.3*	72.0*	42.7*
Wild tamarind	46.9*	87.5	42.4*

\* Significant at  $p < 0.05$ . Numbers are the mean of four repetitions.

† *Amaranthus hypochondriacus* L.

and 16% organic matter. The experiment depended solely on the rainy season for water. The experimental field (50 by 60 m) subdivided into 5 by 10 m plots was treated with the traditional slash and burn system in February 1994. In July 1994 the experiment was established following a complete block design with three repetitions. Treatments were:

1. Corn with velvetbean
2. Corn with jackbean
3. Corn with jumbiebean
4. Corn with wild tamarind
5. Corn with herbicide (Paraquat)
6. Corn weeded by hand
7. Plots without corn weeded by hand

Two corn seeds were sowed, each 50 cm apart (60 000 plants/ha). Velvetbean or jackbean were sowed, each 50 cm apart, 20 d after the corn sowing between the furrows. Distance between furrows was 1 m. Due to the rocky conditions, jumbiebean and wild tamarind (mulches) could not be incorporated into the soil, so they were added on the furrows surface (12 t/ha of fresh leaves) 2 d before the sowing of corn. Following local common practices, Paraquat herbicide was applied over weed seedlings (0.6 kg/ha) 8 d after the sowing of corn. All treatments were hand-weeded once 20 d after the sowing of corn. These procedures were repeated each year.

In 1994 and 1995 a local variety of corn ('Criolla') was cropped. Corn production in 1995 was lost because of hurricane Roxana. From 1996 to 1998 an improved variety of corn (V-528) was cropped because its shorter life cycle and lower height were beneficial to avoid damage caused by the hurricane season.

Weeds were sampled at 20 and 60 d during each crop cycle. The plots (5 by 10 m) were subdivided by two sections (5 by 5 m each) and five random samplings were made in each section using 0.25 m<sup>2</sup> guide in a 3 by 3 working plot. To avoid

**Table 2. Effect of aqueous aerial part leachates (1%) of the four legumes on the survival of J2 larvae of two phytopathogenic nematodes.**

Treatments	<i>Meloidogyne incognita</i>	<i>Nacobbus aberrans</i>
	% of survival	
Velvetbean		
Control	95.00 ± 5.77 (A)*	100.0 ± 0 (a)
Leachate	0.00 ± 0 (B)	15.0 ± 19.14 (b)
Jackbean		
Control	95.00 ± 5.77 (A)	87.50 ± 5.0 (a)
Leachate	12.50 ± 18.9 (B)	0.00 ± 0 (b)
Jumbiebean		
Control	100.0 ± 0 (A)	100 ± 0 (a)
Leachate	50.0 ± 18.2 (B)	27.5 ± 14.10 (b)
Wild tamarind		
Control	100.0 ± 0 (A)	100.0 ± 0 (a)
Leachate	50.0 ± 18.2 (B)	32.5 ± 5.0 (b)

\* Treatments with the same letter within a column are not significantly different ( $p < 0.05$ ). Numbers are the mean of four repetitions.

**Table 3. Effect of aqueous aerial part leachates of velvetbean and jackbean on Gall Index (GI) of *Meloidogyne incognita* in the roots of tomato, and on the dry weight of the infested tomato seedlings.**

Treatments	GI of <i>Meloidogyne incognita</i>	Dry wt. of tomato, g
Control	9.3 ± 4.10 (a)*	0.026 ± 0.008 (A)
Velvetbean	1.8 ± 1.80 (c)	0.033 ± 0.005 (A)
Jackbean	5.1 ± 2.30 (b)	0.031 ± 0.004 (A)

\* Treatments with the same letter within a column are not significantly different ( $p < 0.05$ ). Numbers are the mean of six repetitions.

border effects, the 2-m outer limits of each half plot were not considered for sampling.

The following parameters were determined for each crop cycle: total weed biomass and weed biomass by species, total weed number and diversity, and weed relative abundance and frequency. These data were analyzed by ANOVA using log + 1 biomass and arc-sine cover. Means were compared using orthogonal contrasts (SAS Inst., 1985). Relative importance values (RIV%) of weeds were calculated:

$$\text{Relative biomass} + \text{Relative frequency} \\ + \text{Relative abundance}/3 \times 100$$

$$\text{Relative biomass} = \frac{\text{Biomass of one species}}{\text{Biomass of total species}} \times 100$$

$$\text{Relative frequency} = \frac{\text{Frequency of one species}}{\text{Frequency of total species}} \times 100$$

$$\text{Relative abundance} = \frac{\text{No. of individuals in a species}}{\text{Total no. of individuals}} \times 100$$

Yield of corn was estimated by harvesting grains inside a 3 by 3 m area plot in each 5 by 5 m section. Results were expressed in kg/ha. These data were analyzed by ANOVA using as covariable the number of plants by plot. Orthogonal contrasts were used to compare means (SAS Inst., 1985).

## RESULTS AND DISCUSSION

**In Vitro Bioassays with Seeds.** The results of these bioassays are shown in Table 1.

Almost all the leachates had a significant ( $p < 0.05$ ) inhibitory effect on the radicle growth of test plants. Velvetbean and jackbean caused the highest inhibition on alegria radicle growth. Tomato was strongly inhibited by jackbean and by other treatments an indication that the use of these legumes as mulches in tomato crop should be avoided. Barnyardgrass was most resistant to the effect of aqueous leachates.

**Table 4. Effects of aqueous aerial part leachates (1 and 2%) of the four legumes on the survival of *Spodoptera frugiperda* larvae.**

Treatments	Survival, %
Control	100
Velvetbean 1%	81*
Velvetbean 2%	69*
Jackbean 1%	100
Jackbean 2%	100
Jumbiebean 1%	75*
Jumbiebean 2%	81*
Wild tamarind 1%	94
Wild tamarind 2%	100

\*  $p < 0.05$ . Numbers are the means of three repetitions.

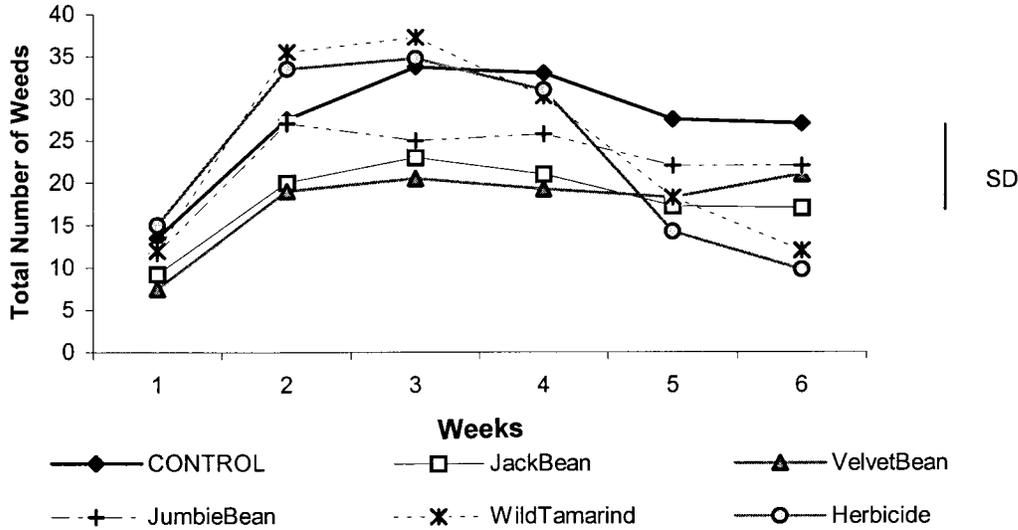


Fig. 1. Total number of weeds in the pots with the different incorporated mulch treatments (2%) during the 6-wk greenhouse experiment (Herbicide at RD) (SD = max. SD = 10) ( $P < 0.05$ ). (1st wk, velvetbean and herbicide are significantly different; 2nd wk, there are three groups: (a) = velvetbean and jackbean, (ab) = jumbiebean and Control; (b) = Herbicide and wild tamarind; 3rd and 4th wk, there are two groups, (a) = velvetbean, jackbean, and jumbiebean, (b) = Control, Herbicide and wild tamarind; 5th wk velvetbean, jackbean, wild tamarind, and Herbicide are significantly different from Control; 6th wk, Herbicide, wild tamarind, and jackbean are significantly different from Control).

**Bioassays with Nematode Larvae.** The results are summarized in Table 2. All leachate treatments had a significant nematotoxic effect on both larvae species.

**Bioassay with Nematode-Infested Seedlings.** The aqueous leachates of both velvetbean and jackbean reduced the gall index of *M. incognita* (Table 3) in the roots of tomato. The nematotoxic effect of velvetbean was stronger than that of jackbean, but there was no significant difference between the tomato biomass of the two treatments.

**Bioassays with Insects.** Table 4 summarized the effects of leaves leachates of the four legumes on the survival of *Spodoptera frugiperda* larvae. Velvetbean and jumbiebean had some toxic effect on *Spodoptera frugiperda* larvae, whereas jackbean and wild tamarind had no effect at all.

**Greenhouse Experiment 1.** We only present the results of the effects of the four mulch legumes at 2% proportion on the number of weeds (Fig. 1), because this proportion showed clearly the influence of each treatment on weed dynamics during this 6-wk greenhouse experiment. During the first week of treatment, only velvetbean and the herbicide treatment were significantly different from each other. The 2nd week revealed three significantly different groups of treatment: a = velvetbean and jackbean exhibiting the lowest number of weed, ab = jumbiebean and control with a medium weed number, and b = herbicide and wild tamarind, with the highest weed number. Third and 4th weeks exhibited the same significantly different two groups of treatments with velvetbean, jackbean, and jumbiebean treatments, showing the least amount of weeds compared

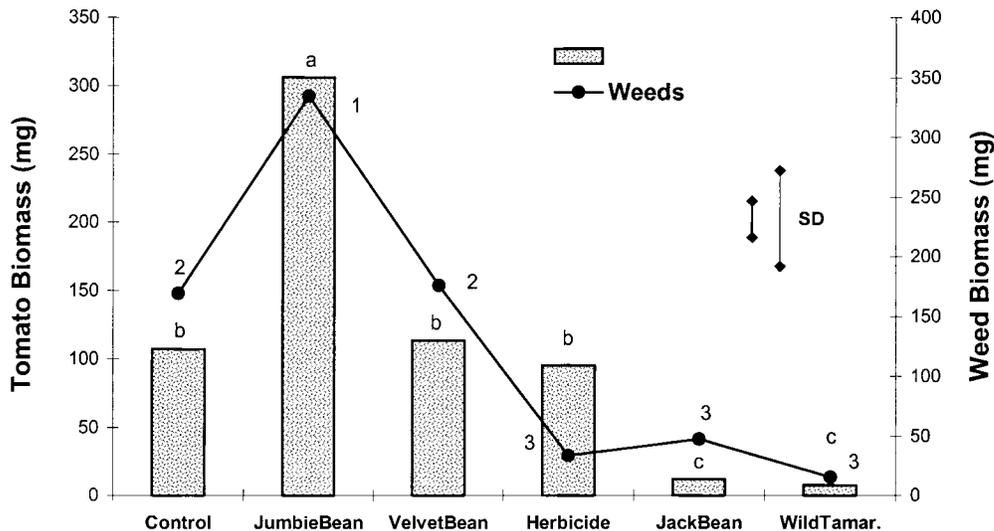


Fig. 2. Mean of tomato and weeds biomass in pots with the incorporated mulch treatments (2%) at the end of the greenhouse experiment (SD = max. SD tomato = 33.1, weeds = 65). Different letters mean significant differences between treatments for tomato biomass. Different numbers mean significant differences between treatments for weed biomass.

**Table 5. Effect of drain water of incorporated mulch† pots collected at different times during the greenhouse experiment on the radicle growth of Amaranth and Barnyardgrass (petri dishes bioassays).**

Treatments	Alegría					Barnyardgrass				
	3 d	10 d	22 d	30 d	60 d	3 d	10 d	22 d	30 d	60 d
	-% of radicle growth									
Control pots	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Velvetbean pots	32.4*	79.0*	49.0*	76.3*	87.3	68.7*	69.9*	78.4*	90.8	84.6
Jackbean pots	54.7*	65.0*	74.0*	98.0	103	76.5*	68.0*	103.4	90.8	92.3
Jumbiebean pots	61.6*	47.6*	50.0*	112.7	81.6	83.5	41.2*	83.3	85.0	78.8*
Wild tamarind pots	32.3*	72.0*	106.0	80.0*	102.5	85.9	76.2*	114.5	100	83.3

\*  $p < 0.05$ . Numbers are the mean of four repetitions.

† Incorporated mulches were at 2%.

with the control, herbicide, and wild tamarind treatments group. In the 5th and 6th weeks, the number of weeds in the control treatment was significantly higher than those in remaining treatments, with herbicide treatment consistently showing the lowest number of weeds.

These results suggest that velvetbean and jackbean were the more effective weed-suppressing mulches. Wild tamarind could act as a weed suppressor the last 2 wk of the experiment. The herbicide had its best effect on weeds in these last 2 wk. However, in the 2nd and 3rd wk wild tamarind and herbicide stimulated the number of weeds, but this effect was reverted the last 2 wk. On the other hand, jumbiebean had a moderate control effect on the number of weeds. However, data on weed biomass (Fig. 2) show that jumbiebean had a stimulatory effect on weed biomass and also on tomato biomass at the end of the experiment. Both wild tamarind and jackbean strongly decreased the biomass of weeds and tomato. The biomass of tomato was similar in the control, herbicide- and velvetbean-treated pots. The biomass of weeds was similar in velvetbean and control treated pots, in spite of the lower number of weeds in velvetbean pots compared with the control pots. Phytotoxic effects of all the legumes were observed, but velvetbean, affected the growth of weeds more than their germination (Fig. 1). The above data indicated that velvetbean could be used as a mulch or living cover crop in tomato field because of its phytotoxic effect on weeds and the fact it does not damage tomato crop.

Effects of the drain water collected from mulch-containing pots on the radicle growth of two test seeds. The results of the bioassays are summarized in Table 5. Alegría was more sensitive to all treatments compared with barnyardgrass response. Water from velvetbean and wild tamarind-containing pots strongly inhibited the growth of the test plants in the first collect (3 d). The inhibitory effect of drain water from velvetbean con-

taining pots on the radicle growth of alegría persisted for 1 mo. Water from wild tamarind containing pots also had a strong inhibitory effect, but only during the first two collections. Water from jackbean- and jumbiebean-containing pots had an inhibitory effect on alegría growth until 22 d. Drain water from all legumes lost their phytotoxicity at 60 d. We have to remember that the pots were watered to field capacity and kept in the greenhouse 8 d before the tomato seedlings were transplanted to each pot. This is probably the reason why drain water from pots with the legumes showed a strong inhibitory effect at the first collection (3 d), which corresponds to 11 d of the decomposition period.

Drain water from velvetbean-containing pots had the stronger inhibition on barnyardgrass radicle growth. This inhibitory effect persisted until 22 d. Water from jackbean-containing pots also inhibited the growth of barnyardgrass, but only the two first collections. Water from jumbiebean- and wild tamarind-containing pots had an inhibitory effect on the radicle growth of barnyardgrass only in the second collection period.

**Greenhouse Experiment 2.** The effects of velvetbean and jackbean used in potting soil on survival of nematodes of infested tomato plants are shown in Table 6. The nematicidal effect of velvetbean and jackbean on *M. incognita* was evident and were in agreement with the results of bioassays performed in vials with sterile sand. Gall index was strongly reduced by the commercial nematicide (Nemacur) at the low dosage and totally inhibited at the recommended dosage. The nematicidal effect of the two legumes is similar. Although we did not observe a total disappearance of nematodes during the decomposition of velvetbean and jackbean in the soil, the significant decrease of these pathogens by the effect of both legume mulches could be beneficial for a tomato crop in natural conditions.

The results obtained in the various bioassays with legume mulches open a promising area of research that offers multiple alternatives to control different agricultural pests. The management of legumes as mulches or cover crops in agrosystems shows a more ecological way to obtain a sustainable agriculture without a negative impact to the environment and biodiversity that commercial pesticides sometimes cause.

**Field Experiment.** The effects of the different treatments during the field experiment (1994–1998) on the mean biomass of weeds ( $\text{g/m}^2$ ) are shown in Fig. 3. Results of corn yield in 1995 are not shown because of

**Table 6. Gall Index of *Meloidogyne incognita* in the roots of tomato plants with the different treatments.**

Treatments	Gall Index
Control 1	6.33
Control 2	6.18
Velvetbean 1%	2.83*
Velvetbean 2%	1.33*
Jackbean 1%	3.16*
Jackbean 2%	1.33*
Nemacur LD	1*
Nemacur RD	0

\*  $p < 0.05$ . Numbers are the mean of six repetitions.

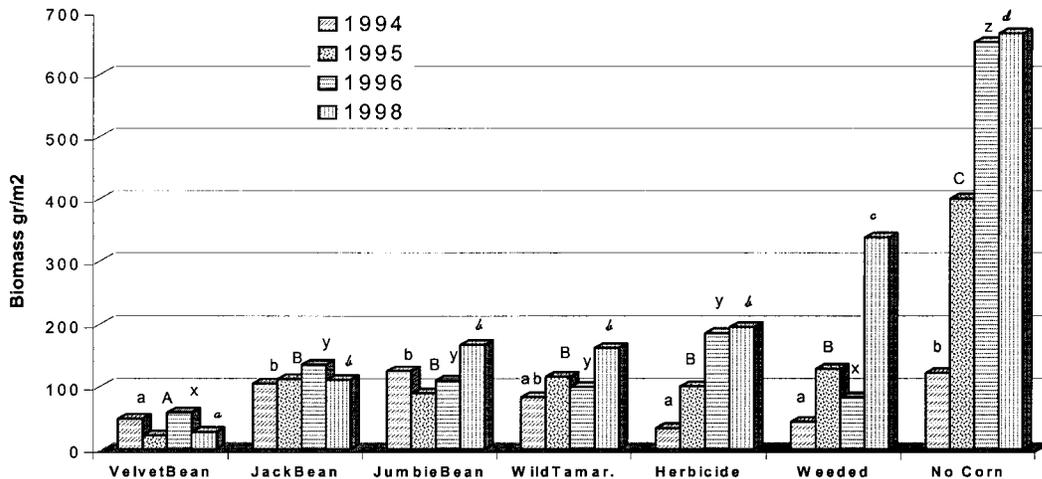


Fig. 3. Mean biomass of weeds from 1994 to 1998 in the plots with the different treatments. Different letters mean significant differences between treatments within years (a,ab,b = 1994; A,B,C = 1995; x,y,z = 1996; a,b,c,d = 1998)  $p < 0.05$ .

damage caused by Hurricane Roxana. Weed biomass was not determined in 1997 because of problems with field workers; only the weed cover (%) in the plots was determined that year (Fig. 4).

The weed composition in experimental plots from 1994 to 1998 are listed in Table 7 and is comprised of 18 families—Asteraceae is the most common with 9 species, followed by Poaceae with 7 and Acanthaceae and Convolvulaceae with 4.

The data in Fig. 3 show that velvetbean (cover crop treatment) was most effective at controlling weeds. The mean weed biomass in the plots with velvetbean was the lowest during all years of the experiment (21.82–58.96 g/m<sup>2</sup>). In addition, velvetbean covered 95 to 100% of plot soil at the end of the crop cycles. This extensive covering means an important contribution of organic matter to the soil. The biomass of weeds was higher in plots with jackbean cover crop. The two species used as mulch, jumbiebean and wild tamarind, also resulted in the reduction of weed biomass during the study period, except in 1998 (Fig. 3). This same tendency was stronger in the plots with herbicide where the weed biomass in 1998 was 195.47 g/m<sup>2</sup>. Overall, jackbean, jumbiebean, wild tamarind, and the herbicide treatments resulted in weed control, compared with the common practice of the one-time hand-weeded corn plot. In this last treatment, from 1994 to 1996, corn contributed in reducing the growth of weeds. In 1998, however, biomass of weeds reached

a high value in this particular treatment. Plots without corn were weeded once each year, but still showed the highest weed biomass from 1995 to 1998, primarily due to the lack of competition with corn.

Weed biomass was not determined in 1997 because of problems with field workers. We report here only data on weed cover (%). Velvetbean-treated field had the lowest weed cover (Fig. 4). This was followed by jumbiebean, jackbean, and the herbicide-treated fields with similar weed cover. The wild tamarind-treated field and the hand-weeded plots had the third highest and similar weed cover. The highest weed cover was obtained in plots without corn.

The field experiment has clearly established three groups of treatment based on their inhibitory effect on weed growth: (i) velvetbean was the best weed controller, (ii) the remaining legumes, the herbicide, and the hand-weeded plots were good weed controllers, and (iii) hand-weeded plots without corn was the least weed control treatment and contained the highest biomass of weeds (665.2 g/m<sup>2</sup> in 1998, Fig. 3).

When the canopy of velvetbean is completely developed, there is a significant decrease in light reaching the soil. This light reduction contributes to the inhibition of other weeds because all of them are heliophytes. In addition we have to consider that velvetbean has a rapid and extensive growth, so it can compete well with other weeds. Finally, it is important to point out its allelopathic

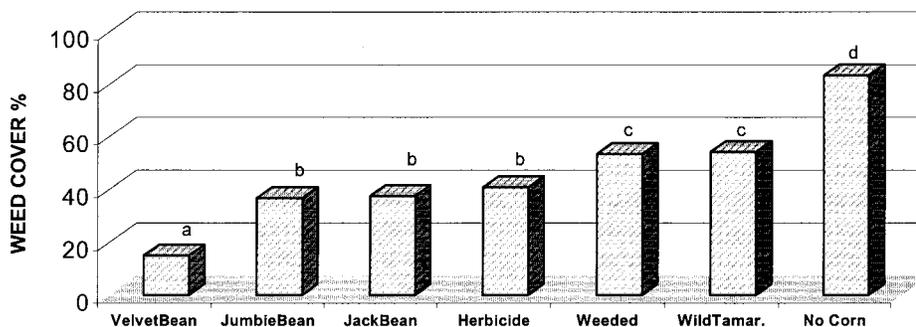


Fig. 4. Percent of weed cover in the plots with different mulch and living crop treatments for the 1997 crop cycle. Different letters mean significant differences between treatments.

**Table 7. Weed species that grow in the plots during the crop cycles from 1994 to 1998.**

Species/families	Common name
<i>Elytraria imbricata</i> , Acanthaceae	Apazote
<i>Ruellia nudiflora</i> , Acanthaceae	Cabaoxán
<i>Tetramerium nervosum</i> , Acanthaceae	Pirámide
Sp. of Acanthaceae	Arrocera espinosa
<i>Amaranthus hybridus</i> , Amaranthaceae	Tez
<i>Amaranthus spinosus</i> , Amaranthaceae	Tez espinoso
<i>Melanthera</i> sp., Asteraceae	Mulita
<i>Parthenium hysterophorus</i> , Asteraceae	Altaniza
<i>Sanvitalia procumbens</i> , Asteraceae	Girasolito xiu
<i>Tridax</i> aff. <i>procumbens</i> , Asteraceae	Rabo de faisán
<i>Tridax</i> sp., Asteraceae	Rabo de faisán pinto
<i>Viguiera dentata</i> , Asteraceae	Tajonal
Sp. of Asteraceae	Candonbú
Sp. of Asteraceae	Chic xul
Sp. of Asteraceae	Unknown
<i>Chenopodium</i> sp., Chenopodiaceae	Pata de ganso
<i>Commelina elegans</i> , Commelinaceae	Jail
<i>Ipomoea crinita</i> , Convolvulaceae	Isakil
<i>Ipomoea purpurea</i> , Convolvulaceae	Isak
<i>Ipomoea</i> sp., Convolvulaceae	Isakil blanco
<i>Merremia aegyptia</i> , Convolvulaceae	Tzoscá
<i>Melothria pendula</i> , Cucurbitaceae	Sandía de conejo
<i>Melothria</i> sp., Cucurbitaceae	Pepinillo
<i>Momordica charantia</i> , Cucurbitaceae	Cundeamor
<i>Dioscorea</i> sp., Dioscoreaceae	Isakil blanco
<i>Acalypha</i> aff. <i>arvensis</i> , Euphorbiaceae	Mis ó cola de gato
<i>Euphorbia hirta</i> , Euphorbiaceae	Xanamucuy
<i>Euphorbia</i> sp., Euphorbiaceae	Polcutz
<i>Aeschynomene americana</i> , Leguminosae	Pega pega
<i>Chamaecrista nictitans</i> , Leguminosae	Tamarindo
<i>Rhynchosia longiracemosa</i> , Leguminosae	Ibes de ratón
Sp. of Leguminosae	Frijolillo
<i>Malvastrum corandelianum</i> , Malvaceae	Sac xiú
<i>Sida acuta</i> , Malvaceae	Chichibé negro
<i>Aristida</i> sp., Poaceae	Chac suc
<i>Brachiaria fasciculata</i> , Poaceae	Canchín
<i>Cenchrus insertus</i> , Poaceae	Muul
<i>Cynodon</i> sp., Poaceae	Cansuc
<i>Digitaria</i> sp., Poaceae	Cusuc
<i>Panicum maximum</i> , Poaceae	Chiliscuc
<i>Panicum</i> sp., Poaceae	Fino suc
<i>Neomillspaughia emarginata</i> , Polygonaceae	Tzaitza
<i>Portulaca oleracea</i> , Portulacaceae	Verdolaga
<i>Borreria leavis</i> , Rubiaceae	Arrocillo
<i>Borreria</i> sp., Rubiaceae	Arrocillo peludo
Sp. of Rubiaceae	Xpay
<i>Waltheria americana</i> , Sterculiaceae	Malva blanca
<i>Corchorus orinocensis</i> , Tiliaceae	Chichibé
<i>Cornutia pyramidata</i> , Verbenaceae	Xoltexnuc
Sp. of Verbenaceae	Tallitos
Unknown sp.	Copte xiu
Unknown sp.	Joc xiu

potential that was clearly shown in all in vitro, greenhouse, and field experiments.

Velvetbean gave good control of spiny amaranth (*Amaranthus spinosus* L.), smooth pigweed (*A. hybridus* L.), field sandbar (*Cenchrus insertus* M.A. (Curtis), and bitterweed (*Parthenium hysterophorus* L.). This last species reached a high abundance in the herbicide plots. The weed RIV (Table 8, Fig. 5 and 6) showed that the herbicide and velvetbean had selective effects on the species of weeds growing in their plots. Acantha-

ceae, Poaceae, and Asteraceae were the main families in velvetbean plots, Asteraceae and Acanthaceae in herbicide plots.

During the crop cycles, the treatments resulted in selective pressure on weed populations. Some of these treatments favored the appearance of species that were not observed at the beginning of the experiment. As an example, bitterweed did not appear frequently in the first cycles, but was the dominant weed in herbicide plots at the end of 1998 cycle (Fig. 6). Weeds RIV (Fig. 5) showed that in velvetbean plots, percentage values were similar for various weed species. Velvetbean plots also showed a higher weed species diversity, but none of these weeds had a RIV >20%. On the other hand, herbicide plots (Fig. 6) had lower weed diversity. This treatment favored dominance of some weed species such as bitterweed and other Asteraceae. This fact represents a risk in a long-term period, because herbicide-resistant weeds could increase and become difficult to eliminate if only one herbicide were used. The same would be true for using one legume continuously, except that weed shifts would probably occur more slowly.

The use of velvetbean and other legumes, particularly jackbean, as living cover crops or dead mulches could contribute to the reduction of the weed seed bank in soils and in the improvement of corn production, delaying weed appearance. This can be obtained if interference with the legumes used as living cover crops and corn can be avoided (Dominguez and de la Cruz, 1990). It is known that the main allelopathic agent of velvetbean is L-DOPA, and also in velvetbean and other legume species used as cover crops, various unusual aminoacids have been found (Fujii, 1999).

Figure 7 shows the corn yield in the 5-yr field experiment. As mentioned before, in 1994 and 1995 a local variety of corn (Criolla) was cropped. But because of Hurricane Roxana in 1995, an improved variety of corn (V-528) was cropped in the following years. In 1994 only jackbean and jumbiebean increased corn yield >1000 kg/ha. In 1996 all treatments resulted in increased corn yield. These are relevant results, considering the average corn yield in the region in the second crop cycle is 700 kg/ha. In 1997 corn yield was lower than in the previous cycle. The best treatments were jackbean, velvetbean, and the herbicide. In the 1998 cycle, corn yield was improved by jumbiebean, wild tamarind, and particularly the herbicide. That year, corn had to be sown twice because of the delayed rainy season. The strong reduction of corn yield in the plots with the living cover crops, velvetbean and jackbean, can be explained because the second corn sowing was made at the same time these two legumes were sowed. This circumstance

**Table 8. Main weed species, with their respective RIV (%), in the plots with herbicide and velvetbean.**

Treatment Herbicide	RIV, %	Treatment Velvetbean	RIV, %
1. <i>Parthenium hysterophorus</i>	48.2	1. <i>Ruellia nudiflora</i>	19.2
2. Unknown Asteraceae	22.76	2. <i>Brachiaria fasciculata</i>	17.4
3. <i>Elytraria imbricata</i>	14.3	3. <i>Tridax</i> aff. <i>procumbens</i>	17.1
4. <i>Sida acuta</i>	6.5	4. <i>Elytraria imbricata</i>	11.3
5. <i>Ruellia nudiflora</i>	5.9	5. Seven species	4.99

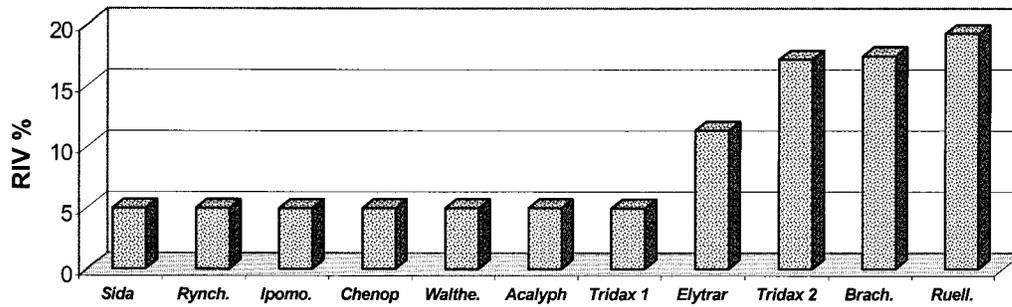


Fig. 5. Relative importance values (%) of main weeds in velvetbean-treated plots in 1998 (from left to right: southern sida (*Sida acuta* Burm. f.), *Rhynchosia longiracemosa* M. Martens & Galeotti, tall morning glory [*Ipomoea purpurea* (L.) Roth], *Chenopodium* sp., *Waltheria americana*, *Acalypha* aff. *procumbens*, *Tridax* sp., *Elytraria imbricata* R. Br., *Tridax* aff. *procumbens*, milha [*Brachiaria fasciculata* (Sw.) R.D. Webster], *Ruellia nudiflora*).

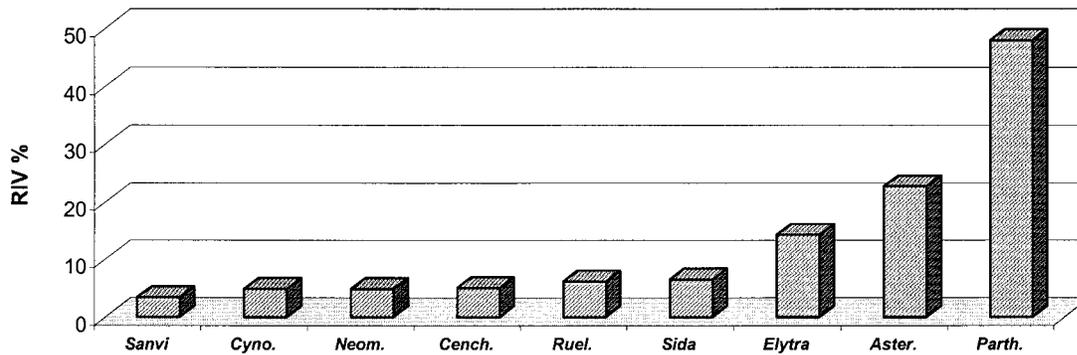


Fig. 6. Relative importance values (%) of main weeds in the herbicide treated plots in 1998 (from left to right: lavender-cotton (*Sanvitalia procumbens* Lam.), *Cynodon* sp., *Neomillspaughia emarginata*, *Cenchrus insertus*, *Ruellia nudiflora*, southern sida, *Elytraria imbricata* R. Br. Unknown Asteraceae, bitterweed (*Parthenium hysterophorus* L.)).

caused a high interference between legumes and corn, resulting in reduction of corn yield. In the previous cycles, legumes were sown 20 d after the corn. Currently we are evaluating the 1999 crop cycle to confirm that interference between velvetbean and jackbean with corn was the reason of the reduction of corn yield in 1998.

### CONCLUSIONS

The analysis of the effect of the treatments tested in this long-term study on weeds and corn production is very important to determine the benefits of legume management and to gain the potential sustainability of this alternative agricultural system. The four legume species studied contribute to increased corn yield, a

beneficial result for the management of resources considering the ecological, social, and economical deterioration of this region of Yucatan. In addition, in crop fields, these legumes help to control weed growth, and may reduce other harmful pests, such as nematodes and probably some insects. Furthermore, they provide significant amounts of organic matter to the soil, particularly the living cover crops (velvetbean and jackbean) and add N from their symbiosis with *Rhizobium*. To obtain the best results from the use of cover crops, it is necessary to avoid interference (competence and allelopathy) of the living cover crops and the companion crops. This could be achieved by using the right density of legumes in the crop field, and sowing them at least 15 to 20 d after the corn has been sown.

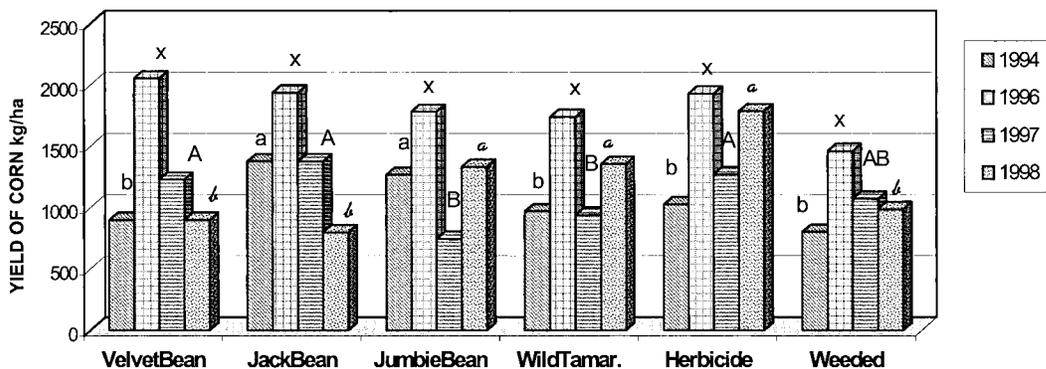


Fig. 7. Yield (kg/ha) of corn from 1994 to 1998. Different letters mean significant differences between treatments within years (a, b = 1994; x = 1996; A, AB, B = 1997; a, b = 1998)  $p < 0.05$ .

We need to follow the effects of legumes as living cover crops and mulches for a longer period of time, and to evaluate their impact on other organisms in the agroecosystem (small animals and microorganisms in the soil). It is also important to test the effects of these legumes on other crops in similar field experiments and in other types of agroecosystems and soils. All these studies require a multidisciplinary collaboration to reach an appropriate management of biotic resources in agroecosystems. The main goal is to get a true ecological and sustainable agriculture, to preserve natural resources, to avoid harmful effects of the over use of agrochemicals, and essentially to conserve worldwide biodiversity.

#### ACKNOWLEDGMENTS

We thank Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), México, for the support given to the projects 1179-N9202, 400346-5-4260N9407, and 498100-5-0306PB. The 5 yr field research was made possible by the generous support of the Rockefeller Foundation. We acknowledge Dr. Sira M. Dabo of Oklahoma State University, and Dr. Rocio Cruz Ortega from Instituto de Ecología of UNAM for their valuable help in the revision and correction of the manuscript. We also acknowledge Rosa María Canul, Laura Meneses, José Castillo, and all the field workers for their support and valuable help in the field experiment.

#### REFERENCES

- Anaya, A.L., M.R. Calera, R. Mata, and R. Pereda Miranda. 1990. Allelopathic potential of compounds isolated from *Ipomoea tricolor* Cav. (Convolvulaceae). *J. Chem. Ecol.* 16:2145-2152.
- Anaya, A.L., R. Cruz Ortega, and V. Nava Rodríguez. 1992. Impact of allelopathy in the traditional management of agroecosystems in Mexico. p. 271-301. *In* S.J.H. Rizvi and V. Rizvi (ed.) Allelopathy: Basic and applied aspects. Chapman and Hall, New York.
- Anaya, A.L., L. Ramos, R. Cruz-Ortega, J. Hernández, and V. Nava. 1987. Perspectives on allelopathy in Mexican traditional agroecosystems: A case study in Tlaxcala. *J. Chem. Ecol.* 13:2083-2101.
- Arévalo, R.J., and J.J. Jiménez-Osornio. 1988. Nescafé (*Stizolobium pruriens*, L. Medic. var. *utilis* Wall ex Wrightt) como un ejemplo de experimentación campesina en el trópico húmedo mexicano. p. 75-89. *In* Cuatro Estudios sobre Sistemas Tradicionales. Amo del, S. (ed.) Instituto Nacional Indigenista, México, D.F.
- Bridge, J., and S.L.J. Page. 1980. Estimation of root-knot nematode infestation levels on roots using a rating chart. *Trop. Pest Manag.* 26:296-298.
- Buckles, D., and H. Barreto. 1994. Aumentando la sustentabilidad de los sistemas de agricultura migratoria con leguminosas de cobertura: Consideraciones técnicas y socioeconómicas. p. 123-138. *In* Taller sobre las políticas para una agricultura sustentable en la sierra de Los Tuxtas y Santa Marta, Veracruz. Marzo, 1994. México.
- Caamal, A., L. Meneses, and J.J. Jiménez-Osornio. 1996. El uso de *Stizolobium pruriens* y *Canavalia ensiformis* como cultivos de cobertura, para el control de arvenses en Yucatán, México. p. 307-309. *In* J. Pérez-Moreno and R. Ferrera-Cerrato (ed.) Nuevos horizontes en agricultura: Agroecología y desarrollo sostenible. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillos, México.
- Chacon, J.C., and S.R. Gliessman. 1982. The use of the non weed concept in traditional agroecosystems of Southeastern Mexico. *Agro-Ecosystems* 8:1-11.
- Dominguez, A., and R. de la Cruz. 1990. Competencia nutricional de *Arachis pintoi* como cultivo de cobertura durante el establecimiento de *Bactris gasipaes* H.B.K. (pejibaye). *Manejo Integrado de Plagas*, Costa Rica 18:1-7.
- Fujii, Y. 1999. Allelopathy of hairy vetch and *Mucuna*; their application for sustainable agriculture. *In* C.H. Chou et al. Biodiversity and allelopathy from organisms to ecosystems in the Pacific. p. 289-300. Academia Sinica, Taipei.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Edición de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), México.
- Hart, R. 1986. Ecological framework for multiple cropping research. p. 40-56. *In* Ch. Francis (ed.) Multiple cropping systems. Macmillan Publ. Co., New York.
- Hernandez-Xolocotzi, E. 1985. La agricultura en la Península de Yucatán. p. 371-409. *In* E. Hernández-Xolocotzi (ed.) XOLOCOTZIA. Obras de Efraim Hernández Xolocotzi. Tomo I. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Jiménez-Osornio, J.J. 1989. Some reflections on intensive traditional agriculture. p. 231-253. *In* C. Gladwin and K. Truman (ed.) Food and farm: Current debates and policies. Univ. Press of America, Lanham, MD.
- Lanini, T. 1987. Organic methods of weed control. p. 90. *In* Organic Farming Training Conf. Proc., Riverside, CA. October 1986. Univ. of California, Riverside, CA.
- Lathwell, D. 1990. Legume green manures: Principles for management based on recent research. p. 1-30. *In* TropSoils Bulletin. 90-01. Soil Management Collaborative Research Support Program, North Carolina State Univ., Raleigh, NC.
- Levy, S., and E. Hernández-Xolocotzi. 1992. La sucesión secundaria y su manejo en el sistema roza-tumbaquema. p. 203-214. *In* D. Zumbo et al. (ed.) La modernización de la milpa en Yucatán: Utopía o realidad. III. Racionalidad tecnológica e innovaciones. Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY), Mérida, Yucatán, México.
- Pereda-Miranda, R., R. Mata, A.L. Anaya, J.M. Pezuto, D.B.M. Wickramaratne, and A.D. Kinghorn. 1993. Structure and biological activities of Tricolorin A, major phyto-growth-inhibitor from *Ipomoea tricolor*. *J. Nat. Prod.* 56:571-582.
- Radosevich, S., and J. Holt. 1984. Weed ecology. Implications for vegetation management. John Wiley & Sons, New York.
- Ramos, L., A.L. Anaya, and J. Nieto de Pascual. 1983. Evaluation of the allelopathic potential of the dominant herbaceous species in a coffee plantation. *J. Chem. Ecol.* 9:1079-1097.
- Rosado-May, F. 1986. El "cadillo" *Bidens pilosa* L., arvense asociada al maíz en La Chontalpa, Tabasco: Planta con Propiedades Nematocidas. *Rev. Mex. Fitopatol.* 4:12-17.
- SAS Institute. 1985. SAS user's guide: Statistics. Version 5 ed. SAS Inst., Cary, NC.
- Trenbath, B.R., G.R. Conway, and I.A. Craig. 1990. Threats to sustainability in intensified agricultural systems: Analysis and implications for management. p. 337-365. *In* S. Gliessman (ed.) Agroecology. Researching the ecological basis for sustainable agriculture. Springer-Verlag, New York.
- Vandermeer, J. 1989. The ecology of intercropping. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Warren, G.F. 1983. Technology transfer in no-tillage crop production in third world agriculture. p. 25-31. *In* I.O. Akobundu and A.E. Deutsch (ed.) No-tillage Crop Production in Tropics, Symp., Monrovia, Liberia. 6-7 Aug. 1981. International Plant Protection Center, Oregon State Univ., Corvallis, OR.
- Weston, L.A. 1996. Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems. *Agron. J.* 88:860-866.

## CAPÍTULO 5

### PRODUCCIÓN DE MAÍZ Y DE ESPECIES FORRAJERAS ARBÓREAS EN SISTEMAS AGROFORESTALES

#### INTRODUCCIÓN

La utilización de leguminosas como cobertura viva o como mantillos (mulch) para el control de arvenses, y también como abono orgánico, se enmarca dentro de lo que se ha denominado sustitución de insumos externos (herbicidas y fertilizantes, en particular). Dicha estrategia es un primer paso en la búsqueda de la sostenibilidad de los sistemas productivos en las regiones tropicales. Un siguiente paso se daría a través de la diversificación de los agroecosistemas, para favorecer las interacciones entre sus componentes y así incrementar su productividad (Gliessman, 2002; Altieri, 2003; Altieri y Nicholls, 2003, 2004).

La diversificación en los agroecosistemas puede contribuir con la regulación de los organismos dañinos, el reciclaje de nutrientes, la producción de biomasa, la generación de materia orgánica, la protección del suelo contra la erosión y el mejoramiento de la calidad de los productos (Finck *et al.*, 2000; Benzig, 2001; Caamal-Maldonado y Armendáriz-Yáñez, 2002; Altieri y Nicholls, 2003; Casanova *et al.*, 2007).

En este contexto, debe reconocerse que aunque la leguminosa arbórea *L. leucocephala* ha demostrado ser eficiente como controladora de arvenses y como fertilizante natural, el tener que podarla y llevar el material cortado a las parcelas implica un costo adicional (Casanova-Lugo *et al.*, 2010). Una forma de disminuirlo es manejar la especie asociada con el maíz, en sistemas agroforestales (cultivo en callejones), con lo que se da la oportunidad de avanzar hacia la diversificación agrícola (Padilla, *et al.*, 1999; Gliessman, 2002).

La integración de varias especies en sistemas agroforestales puede incrementar la productividad por unidad de área. Esto es de suma importancia en un contexto en

que la tierra disponible para actividades agrícolas tiene un límite en las regiones tropicales, a la par que las necesidades se incrementan (Payne, 1985).

Además de disminuir el riesgo de pérdida de la producción e incrementar la eficiencia en el uso del espacio al contar con varias especies en una unidad productiva común, el desarrollo de estos sistemas de policultivo permitiría enfrentar dos problemas relacionados con la producción pecuaria: uno de alcance global, como es el “efecto invernadero” (FAO, 2009, 2010a, 2010b) y otro particular, relacionado con la escasez de forraje de calidad en los sistemas agropecuarios tropicales (Chakeredza *et al.*, 2007; Petit *et al.*, 2010).

El primer problema mencionado se refiere a la deforestación y a la degradación de los suelos, ambos impactos provocados por la ganadería extensiva, con su consecuente emisión de gases de efecto invernadero (GEI) (The Royal Society, 2010). El manejo pecuario puede modificarse para prevenir la pérdida de carbono y transformarse en un auténtico conjunto de estrategias para la remoción de este tipo de emisiones (FAO, 2009). Precisamente, los sistemas agroforestales pueden ser la clave para reducir los impactos ambientales de los sistemas agropecuarios (Melotto *et al.*, 2009), en particular, los que incluyen especies forrajeras para el ganado, como *L. leucocephala*, (Casanova-Lugo *et al.*, 2010).

El segundo problema citado, la escasez de forraje de calidad para rumiantes en la época de secas en las regiones tropicales, podría resolverse con la presencia de *L. leucocephala* en un sistema diversificado (Odunze *et al.*, 2004), algo particularmente cierto en Yucatán (Lizárraga *et al.*, 2001). La capacidad para fijar nitrógeno de esta leguminosa arbustiva podría favorecer el desarrollo del maíz y de otras especies forrajeras asociadas (Petit *et al.*, 2010).

El integrar diversas especies arbustivas o arbóreas en un sitio, implica que éstas cumplan funciones complementarias y, por tanto, que no presenten competencia entre ellas (Montañez-Escalante *et al.*, 2009). En la literatura se resaltan los beneficios de las plantaciones mixtas para combinar las características positivas

de diferentes especies (Kelty, 2006; Nichols *et al.*, 2006). En este sentido, la asociación de *L. leucocephala* con otras especies forrajeras adaptadas a las condiciones locales de la zona exhenequenera de Yucatán, como *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* (Montagnini *et al.*, 2003; Melotto *et al.*, 2009; Bastien-Henri *et al.*, 2010; Petit *et al.*, 2010), podría generar una interacción positiva para éstas, con lo que podría contarse con el suficiente forraje de calidad para los animales.

En concreto, el propósito de este trabajo fue evaluar la producción de sistemas agroforestales en los que se incluyeron árboles forrajeros para la alimentación animal (rumiantes) y cultivos para alimento humano, como el maíz, como una estrategia de diversificación de los agroecosistemas. La meta final de este tipo de estudios es incrementar los beneficios para el productor y disminuir los impactos sobre el ambiente.

## **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la producción y el desarrollo de maíz y árboles forrajeros asociados en sistemas agroforestales (cultivo en callejones)

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estimar el rendimiento de maíz asociado con *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* en diferentes arreglos agroforestales durante un ciclo de cultivo.
- Determinar la biomasa forrajera producida por las especies arbóreas forrajeras *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera* en diferentes arreglos agroforestales

## **METODOLOGÍA**

El presente estudio se llevó a cabo en los años 2004 y 2005 en un área experimental situada en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CCBA) de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). El sitio presentaba

suelos someros y pedregosos (litosoles y rendzinas), bajo condiciones de clima tropical subhúmedo.

La superficie experimental de 0.5 ha, estuvo originalmente cubierta por vegetación secundaria de 5 años de edad y, de forma más reciente, se estableció allí una pradera de pasto Taiwán (*Cynodon nlemfuensis*). Una vez que toda la vegetación fue removida de esta área, fue posible hacer la caracterización del sitio en cuanto a pedregosidad y profundidad del suelo; ello permitió reconocer tres zonas particulares, que conformaron, cada una, un bloque en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones.

En una primera etapa, en junio de 2004, se establecieron en dicho sitio especies arbustivas forrajeras (banco forrajero): *Leucaena leucocephala*, *Guazuma ulmifolia* y *Moringa oleifera*. Estas especies seleccionadas, tienen una amplia adaptación a las condiciones locales y tolerancia al estrés hídrico, por el largo periodo de sequía anual típico del clima de la región. Además, presentan las siguientes características idóneas para un sistema de corte y acarreo de forraje: crecimiento rápido; elevada producción de biomasa; capacidad para enraizar a profundidad; facilidad de establecimiento; tolerancia a la poda continua y una alta capacidad de rebrote. Asimismo son preferidas como alimento por los rumiantes (Casanova *et al.*, 2007; Petit *et al.*, 2010),

Con las especies citadas se establecieron los siguientes tratamientos:

1. *L. leucocephala* (huaxín) en plantación pura
2. *M. oleifera* (*moringa*) en plantación pura
3. *G. ulmifolia* (pixoy) en plantación pura
4. *L. leucocephala* – *M. oleifera* en plantación intercalada
5. *L. leucocephala*- *Guazuma ulmifolia* en plantación intercalada

Las plántulas de los árboles fueron producidas en vivero a partir de semillas que fueron colocadas en bolsas de polietileno negro. A los 45 días fueron trasplantadas en las unidades experimentales respectivas, de acuerdo con la

aleatorización inicial de los tratamientos en el campo. Cada unidad experimental midió 4 x 10 m con un espacio de 2m entre ellas.

El arreglo de las plántulas dentro del sistema fue de tres hileras de árboles (según el tratamiento) con una distancia entre ellas de 2m; entre las plantas individuales la separación fue de 50 cm. El trasplante se hizo en líneas orientadas este-oeste para favorecer la exposición de todas las plántulas a la luz solar.

En el caso de los tratamientos donde se asociaron dos especies arbóreas se colocaron las plántulas en la misma poceta (oquedad): una de *L. leucocephala* con una de pixoy o moringa, según correspondiese. Así, aunque hubo una mayor cantidad de individuos en esos tratamientos (400 plántulas), la densidad de cada especie en asociación fue similar a aquella donde la planta creció sola (200 plántulas de cada especie)

Se realizaron nuevos trasplantes en substitución de las plántulas que no prosperaron en la etapa de establecimiento del sistema. A finales de enero de 2005 se realizó una poda de homogenización, a 1.20 cm del suelo.

Posteriormente, en febrero de 2005 se asoció maíz Nal Xoy (variedad criolla) con las especies arbóreas dentro de cada unidad experimental, con lo que se generó un sistema agroforestal de tipo cultivo en callejones. Los tratamientos definitivos fueron:

1. Maíz en monocultivo
2. *L. leucocephala* + maíz
3. *M. oleifera* + maíz
4. *G. ulmifolia* + maíz
5. *L. leucocephala* – *M. oleifera* + maíz
6. *L. leucocephala*- *G. ulmifolia* + maíz

El maíz fue sembrado en cinco hileras intercaladas entre las líneas de árboles, a una distancia de 1 m entre surcos y a 50 cm entre plantas; se colocaron tres

semillas por poceta para luego dejar las dos más vigorosas. El diseño fue de bloques completos al azar, con tres repeticiones por tratamiento (Fig. 1).

Es pertinente mencionar que en este primer ciclo de evaluación del sistema agroforestal, las plántulas de maíz en monocultivo tuvieron problemas para su desarrollo inicial. Esto se debió, en primer lugar, a la escasez de lluvia y a las fallas en el sistema de riego, lo que retrasó su establecimiento. Aunado a ello, las plántulas de maíz en este tratamiento, quedaron expuestas al ataque de fauna silvestre, y a pesar de que se hizo una resiembra, no alcanzaron a desarrollarse y se retrasaron con respecto a la de las restantes unidades experimentales. Por tal motivo, las parcelas de maíz en monocultivo como tales no se incluyeron en el análisis..



Figura. 1. Distribución de los tratamientos de árboles forrajeros asociados con maíz en un sistema agroforestal, mediante un diseño de bloques completos al azar.

No obstante, se tomó la decisión de considerar a las unidades de maíz asociado con *G. ulmifolia* como “monocultivo”, con las reservas del caso, debido a que ésta última especie no se desarrolló como las otras en este primer año de evaluación (apenas alcanzó 30 cm en promedio). En ciclos subsecuentes, no reportados aquí, el tratamiento de monocultivo de maíz sí pudo establecerse.

Finalizado el primer ciclo de cultivo de temporal (con riego adicional), en junio de 2005, se cosechó el maíz y se podaron los árboles para determinar la biomasa forrajera producida por ellos en los distintos arreglos agroforestales.

### ***Variables de respuesta***

#### ***Biomasa obtenida por las podas de los árboles forrajeros***

Se realizó la poda en cuatro árboles seleccionados al azar dentro cada hilera de cada una de las especies: 12 plantas en total. Se separaron las hojas y los tallos verdes, por un lado y el tallo leñoso de las plantas elegidas, los que fueron pesados en fresco. Luego, el material fue colocado en una secadora durante 72 horas a 80°C para determinar el peso seco de la biomasa forrajera.

#### ***Rendimiento de maíz***

En el caso del maíz, luego de que las mazorcas llegaron a su etapa de madurez fisiológica, las plantas fueron dobladas para permitir su secado. Posteriormente, las mazorcas de las tres hileras centrales de cada subparcela fueron cosechadas, desgranadas y pesadas para estimar el rendimiento por tratamiento.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Rendimiento de maíz**

Los mayores valores numéricos en la producción de maíz se presentaron en el tratamiento donde esta gramínea se asoció con *L. leucocephala* (2,813 kg/ha) y con la combinación *L. leucocephala*-*G. ulmifolia* (2,610 kg/ha). Tales valores fueron similares estadísticamente ( $p > 0.05$ ) entre sí y con el dato del rendimiento obtenido en el tratamiento manejado como “monocultivo” (maíz-Guazuma) (casi

2,329 kg/ha) (Figura 2). Cabe mencionar que los anteriores valores de rendimiento son algo superiores a los que en promedio se obtienen durante el primer ciclo de cultivo en las milpas tradicionales de la zona, por lo que puede decirse que el maíz no fue afectado por la presencia de *L. leucocephala* o la de *G. ulmifolia*. Es decir, al menos en este primer ciclo de cultivo puede decirse que es factible asociar las especies arbóreas forrajeras sin menoscabo de la producción de alimento para consumo humano.

Por otra parte, en este primer ciclo, los valores de rendimiento de maíz en las unidades experimentales donde estuvo presente la especie forrajera *M. oleifera*, sola o asociada con *L. leucocephala*, fueron menores a los otros ya reportados, llegando a 1,331 y 1,107 kg/ha, respectivamente (Figura 2). No obstante, el análisis estadístico no fue capaz de detectar diferencias significativas entre estos “menores” rendimientos y los obtenidos en los otros tres tratamientos, a pesar de que se aprecian claramente marcados contrastes numéricos entre ellos (Fig. 2). Cabe decir que el valor de  $p$  fue de 0.084, no muy distante del valor de  $p < 0.05$  que es el requerido para declarar diferencias significativas entre datos. Asimismo, la salida de la prueba estadística indica que su potencia fue baja, menor al 0.80, lo que no permite detectar que los resultados de las variables son distintos, aunque en la realidad lo sean; es decir, aunque el análisis dice que los rendimientos son similares estadísticamente, hay que tomar con reserva dicho resultado: tal vez en los hechos, las marcadas diferencias sí son atribuibles a los tratamientos donde está presente la especie forrajera Moringa, pero no puede asegurarse debido a la baja potencia de la prueba estadística.

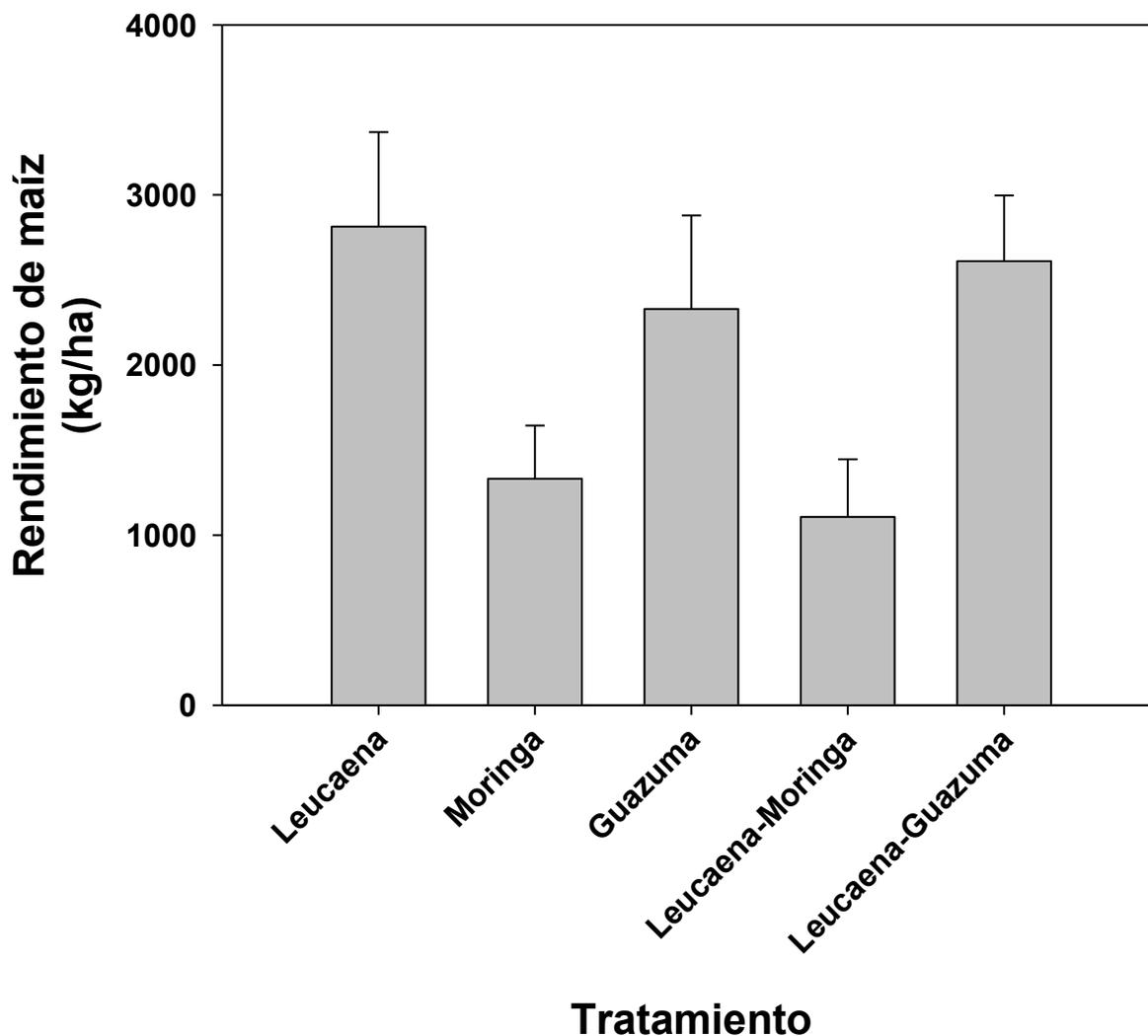


Figura 2. Rendimiento de maíz en tratamientos de asocio de la gramínea con árboles forrajeros, en Xmatkuil, Yuc. Ciclo de invierno (febrero-junio 2005). No se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p=0.084$ )

Con respecto a la relación maíz-*L. leucocephala*, en otros estudios se han reportado resultados parecidos a los obtenidos en el presente trabajo. Rao y Govindarajan (1995) evaluaron seis especies arbóreas en cultivo en callejones en Kenia, donde el rendimiento promedio del maíz intercalado con *L. leucocephala* fue de  $2.5 \text{ t/ha}^{-1}$  por ciclo, comparado con  $1.72 \text{ t/ha}^{-1}$  para parcelas adyacentes con monocultivo de maíz. No obstante, en otras parcelas alejadas de la influencia de *L.*

*leucocephala*, los rendimientos fueron de 3.55 t/ha-1, Es decir, el potencial del cultivo en monocultivo fue mayor que el del asociado con la leguminosa; parece ser que el grado de afectación sobre el rendimiento del cultivo depende del arreglo y la cercanía con dicha especie. No obstante, en el presente trabajo, al menos para el primer ciclo de cultivo, , los rendimientos estuvieron en los rangos esperados sin diferencia entre los tratamientos de maíz en “monocultivo” (maíz-Guazuma) y maíz asociado con *L. leucocephala*.

Con respecto a *M. oleifera*, al observar la gráfica de rendimientos (Fig. 2) parece ser que la presencia de esta especie arbórea inhibió de alguna manera el rendimiento del maíz, aunque dado que la prueba estadística no fue capaz de detectar diferencias entre esos tratamientos y los otros donde no estaba presenta esta especie, no puede concluirse algo al respecto.

Sin embargo, se ha evaluado la producción de maíz en ciclos subsecuentes, no reportados en este trabajo, que permiten observar con mayor claridad lo que sucede con el maíz en su asociación con las especies arbóreas forrajeras. Por ejemplo, en el ciclo de cultivo de 2007, hubo algunos cambios en el rendimiento de maíz respecto a lo que ya se ha reportado en el presente trabajo. En primer lugar, la asociación de maíz con *L. leucocephala* y con *M. oleifera* produjo los mayores rendimientos de maíz, llegando a 1.5 ton/ha al cultivarse junto con esta última especie (Caamal, 2010), valor muy cercano al reportado en este estudio. En esa etapa, que fue el tercer ciclo de cultivo en lamisma parcela experimental, el subsecuente desarrollo de *M. oleifera* no generò una arquitectura con ramificaciones en su parte inferior, por lo que el maíz no se vio sometido a un sombreado excesivo, permitiendo obtener un rendimiento como el ya indicado..

Caamal (2010) reporta que en el ciclo 2007, el maíz en monocultivo y el asociado con *G. ulmifolia*, tuvieron rendimientos similares entre ellos aunque menores a los reportados en este estudio (inferiores a 1 ton/ha). Es pertinente considerar que el árbol asociado con el maíz produjo forraje disponible para el ganado, lo que no sucede con el maíz en monocultivo; de tal suerte puede decirse que el uso de los recursos al asociar el maíz con las especies forrajera es más eficiente.

De manera coincidente con este estudio, Padilla *et al.*, (1999) proponen la vinculación de *L. leucocephala* con cultivos acompañantes, como sorgo y maíz. Esto representa mayores beneficios (valor agregado) para el agricultor, el cual produce granos y forrajes, lo que se traduce en mayores ingresos que pueden cubrir los costos de establecimiento de las especies arbóreas.

### **Producción de forraje**

En cuanto a la producción de forraje en el sistema agroforestal, *L. leucocephala* demostró ser la especie más adaptada a las condiciones del experimento, pues alcanzó valores similares estadísticamente ( $p > 0.05$ ), tanto cuando estuvo solo asociada con maíz (450 g/MS/planta), como asociada también con *M. oleifera* (301 g/MS/planta) y con *G. ulmifolia* (538 g/MS/planta) (Fig. 3). Sin embargo, en este último tratamiento, el forraje total producido por ambas especies (769 g MS/planta) superó al obtenido en los otros tratamientos ( $p = 0.045$ ) (Fig. 3). Es decir, cuando las especies forrajeras no leguminosas fueron asociadas con *L. leucocephala*, la que mejor desempeño tuvo fue *G. ulmifolia*; de hecho, sin la presencia de la leguminosa, sola con maíz, no alcanzó un buen desarrollo: creció menos de 30 cm en promedio. En esas condiciones, no alcanzó la altura suficiente para ser podada y, por tanto, no produjo biomasa forrajera. Parece ser entonces, que su asociación con *L. leucocephala* fue benéfica para ella. Es importante mencionar aquí, que Casanova-Lugo *et al.* (2010) mencionan que *G. ulmifolia* fue una de las especies más productivas en cultivo puro, junto con *L. leucocephala* en subsecuentes ciclos de cultivo en la misma parcela experimental.

Por su parte, los valores de forraje generado por *M. oleifera* asociada con maíz y la misma especie intercalada además de la gramínea con *L. leucocephala* fueron los menores: 169 g MS/planta y 93 g MS/planta, respectivamente, aunque no fueron diferentes entre sí estadísticamente. Sin embargo, al sumar este último valor de forraje de Moringa al generado por la leguminosa en dicho tratamiento, la producción forrajera total alcanzó 398 g MS/plantas) cantidad que fue estadísticamente similar a la obtenida por *L. leucocephala* sola (Fig. 3).

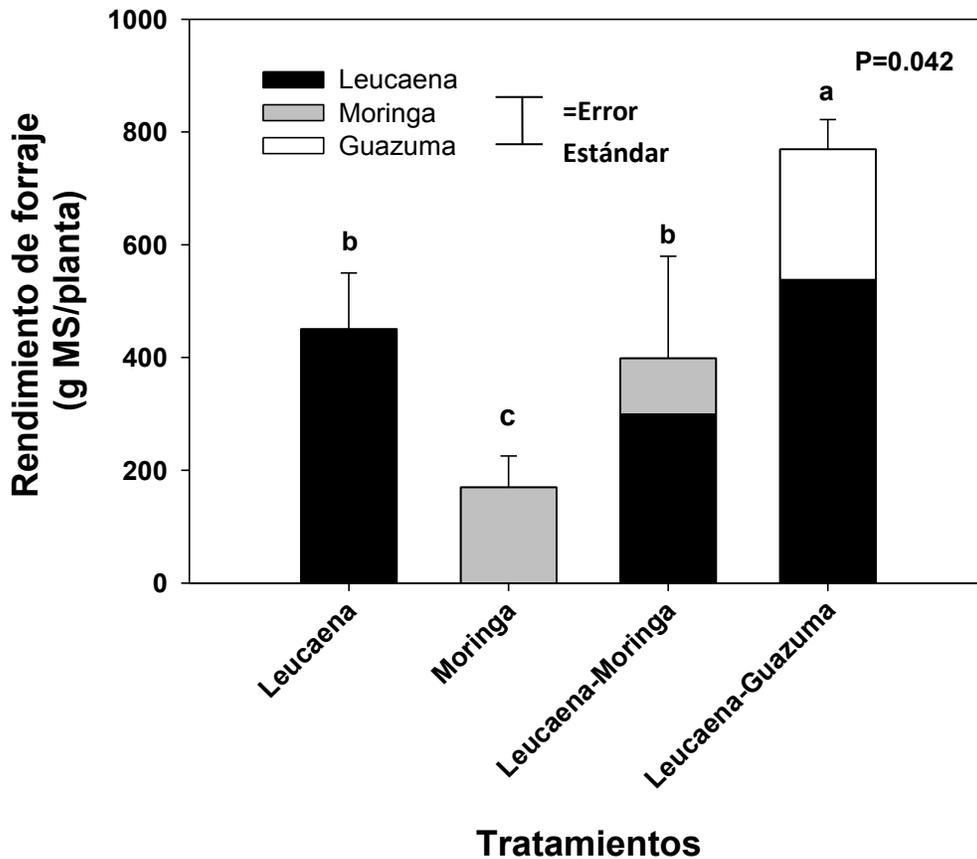


Fig. 3. Producción de forraje (materia seca=MS) de *Leucaena leucocephala* (huaxín), *Guazuma ulmifolia* (pixoy) y *Moringa oleifera* (moringa), en diferentes arreglos en un sistema agroforestal en Xmatkuil, Yuc. No se presenta el forraje de *M. oleifera* en monocultivo pues en esta etapa las plantas de este tratamiento no alcanzaron la altura necesaria para ser podadas.

Lo anterior parecería indicar que no es muy conveniente asociar *L. leucocephala* y *M. oleifera* en el mismo espacio. Por el contrario, la leguminosa y *G. ulmifolia* hicieron una buena pareja; en apariencia, la leguminosa estableció una clase de comensalismo con *G. ulmifolia*, como especie nodriza; ello se ve apoyado por el hecho de que no redujo su propio rendimiento, pues la biomasa producida fue similar a la obtenida en el tratamiento donde no se asoció con *G. ulmifolia* ( $p > 0.05$ ). Tampoco, cabe recordar, la leguminosa sufrió menoscabo en su rendimiento al asociarse con *M. oleifera*.

En relación con los resultados descritos, cabe mencionar que en trabajos subsecuentes realizados en la misma parcela experimental, en los años de 2007 a 2009, se encontró que *G. ulmifolia* tuvo el mejor desempeño forrajero cuando no fue asociado con *L. leucocephala*: 2.5 ton/ha aproximadamente (Caamal, 2010; Casanova-Lugo *et al.*, 2010).

Caamal (2010) reporta que en el ciclo 2007, la producción de biomasa forrajera por *L. leucocephala* fue de casi una ton/ha en base seca, ya fuese sólo o asociado con las otras especies forrajeras. Una de estas, *M. oleifera*, mantuvo el nivel de rendimiento al asociarse con la leguminosa, mientras que *G. ulmifolia* lo disminuyó a la mitad (1.2 ton/ha) comparado con lo que produjo al crecer de forma independiente. Ello significa que *L. leucocephala* ejerció una interferencia negativa sobre dicha especie, (Caamal, 2010), al contrario de lo que sucedió en el primer ciclo de evaluación reportado en este trabajo.

En el primer año de establecimiento del sistema agroforestal se esperaba que al asociar *G. ulmifolia* con *L. leucocephala* ésta funcionara como “nodriza” de la especie no leguminosa, pero eso no pudo determinarse pues no se obtuvo biomasa de esta última especie. Con los datos de Caamal (2010) puede decirse ahora que *G. ulmifolia* en cultivo puro tuvo un mejor desempeño que asociado con la leguminosa al crecer junto con ello tuvo el costo de reducir su propia producción de biomasa.

Casanova y colaboradores (2010) reportan que en otro ciclo subsecuente, al asociar *G. ulmifolia* y *L. leucocephala* redujeron su producción de biomasa, lo que indica que la primera empezó a ejercer una mayor competencia con la leguminosa. Estos autores indican que, posiblemente, el desarrollo de su sistema radical, que ocupa el mismo espacio que el de *L. leucocephala*, es responsable de tal interacción.

En otro reporte derivado de la continuación del experimento agroforestal, Petit y colaboradores (2010) destacan que al asociar las especies forrajeras (*L. leucocephala* con *G. ulmifolia* o *M. oleifera*), los rendimientos de biomasa se reducen, pero a pesar de esto, la suma de la biomasa de ambas especies

asociadas llega a casi 2 ton/ha. Esto es, se alcanza casi el mismo nivel que lo generado cuando las plantas crecen de forma independiente; la ventaja adicional es que el forraje producido por *L. leucocephala* tiene mayor contenido proteico.

En comparación, en otro estudio realizado en una cantera manejada con sistemas agroforestales, Montañez-Escalante y colaboradores (2010) demostraron que la asociación de *L. leucocephala* con *G. ulmifolia* generaba buenos rendimientos de biomasa. Estas asociaciones de especies forrajeras se tornan más efectivas, ya que al mismo tiempo que se acelera el reciclaje de nutrientes en el sistema se proporciona forraje de alta calidad a los animales y se contrarresta el problema de la disponibilidad y calidad irregular de las pasturas en los trópicos (Petit *et al.*, 2010).

Los resultados obtenidos permiten hacer énfasis sobre la ventaja de estos sistemas agroforestales en los cuales, además del maíz, la diversificación genera varios productos que en conjunto elevan la productividad del sistema.

Todo lo anterior concuerda con estudios previos sobre estos agrosistemas (Caamal y del Amo, 1986), donde se evaluaron los aspectos ecológicos en cultivos múltiples (anuales integrados con especies arbóreas). Desde entonces se tienen evidencias de que el uso del espacio con diferentes especies, más que producir competencia entre ellas, para el agricultor funciona de forma complementaria y le permite hacer un uso más eficiente de los recursos, en comparación con sistemas de monocultivo (Payne, 1985; Altieri y Nicholls, 2004).

En concreto, sistemas diversificados como los agroforestales, hacen un mejor uso de los factores físicos y biológicos para intensificar la producción agrícola (Payne, 1985; Gliessman, 2002) y tienen un menor impacto sobre el ambiente que los sistemas convencionales. Además, propician la conservación del suelo con el aumento de la materia orgánica y el aprovechamiento de los recursos disponibles en la región (Gliessman, 2002; Petit *et al.*, 2010). Las especies arbóreas que crecen asociadas, pueden utilizar eficientemente los recursos haciendo más productivo un determinado sitio, como parecen demostrar los primeros resultados obtenidos en el sistema agroforestal al que se refiere el presente trabajo.

Es claro que para que el desarrollo exitoso de tales sistemas es necesario seleccionar las especies más adecuadas que van a utilizarse, de tal manera que éstas se adapten bien al ecosistema natural, buscando una combinación de especies que ofrezca a futuro, la variedad de efectos y productos deseados (Lizárraga *et al.*, 2001).

Finalmente, aunque *G. ulmifolia* tuvo un crecimiento inicial lento y no produjo biomasa en el primer año de evaluación, que es el que aquí se reporta, en años posteriores la situación cambió. En efecto, estudios subsecuentes llevados a cabo en la misma parcela experimental, demostraron que dicha especie incrementó su aporte en cantidad y en calidad en los siguientes ciclos productivos (Caamal, 2010; Casanova-Lugo *et al.*, 2010).

## **CONCLUSIONES**

- El rendimiento de maíz en el ciclo de cultivo de establecimiento del sistema agroforestal alcanzó un nivel superior a dos y media ton/ha al asociarse con la especie forrajera arbórea *Leucaena leucocephala*
- La asociación de especies forrajeras permite obtener un forraje de buena calidad a la vez que diversifica los productos generados por el agricultor
- Los diversos esquemas agroforestales evaluados hacen un uso más eficiente de los recursos que el monocultivo de maíz.

## **CAPÍTULO 6**

### **DISCUSIÓN GENERAL**

El impacto ambiental de la agricultura de monocultivos e industrializada ha sido analizado en capítulos precedentes, donde se enfatiza la necesidad de desarrollar sistemas agropecuarios que sean, a la vez, productivos y menos dañinos para el ambiente (FAO, 2009). En particular, el marco conceptual en el que la presente investigación se desarrolló, fue el del manejo de las interacciones y los procesos ecológicos en los agroecosistemas cuya finalidad está dirigida a lograr una agricultura sostenible (Shiyumi y Koizumi, 2001; Shennan, 2008). Para ello, se hace hincapié en la sustitución de insumos externos por recursos locales (leguminosas de cobertura y abonos verdes) y en el fomento de la diversificación (sistemas agroforestales) (Gliessman, 2002).

La pertinencia ecológica de dicho enfoque agrícola se ha hecho más evidente en la última década, y la relevancia que ha adquirido no se circunscribe a las regiones tropicales sino que también se extiende al ámbito de la agricultura en los países desarrollados. En efecto, la estrategia de buscar, dentro del agroecosistema, soluciones locales a la problemática agropecuaria, ha sido ampliamente analizada en el ámbito de las regiones tropicales americanas y en otras latitudes; lo importante de esta estrategia, es que ahora se incorporan a dicha perspectiva un gran número de países, entre ellos los que poseen mayor desarrollo económico. De esta manera, la percepción de la necesidad de incrementar la productividad, disminuir el impacto ambiental y ejercer una distribución equitativa de los beneficios adquiere ya un rango mundial (Franzluebbers, 2007; Hanson *et al.*, 2007; Current *et al.*, 2009; The Royal Society, 2010). Esto abarca los tres vértices del concepto de sostenibilidad: el ecológico, el económico y el social (Gliessman, 2002).

## **Papel de los cultivos de cobertura para el manejo de las arvenses**

En el presente trabajo se enfatiza que la búsqueda de alternativas para el control de arvenses debe realizarse desde una perspectiva de manejo que no implique la transformación radical del paisaje; es decir, desde un enfoque agronómico basado en el conocimiento tradicional. Ello implica rotaciones de cultivos, cambio de fechas de siembra, desarrollo de prácticas agronómicas que incrementen el nivel competitivo de los propios cultivos y el uso de cubiertas vegetales (mulches) (Gliessman, 2002; Ayala y Basulto, 2004; Curran, 2004).

Es pertinente mencionar que a contracorriente del anterior enfoque, una vertiente de opinión en los países industrializados acerca de la forma de incrementar la productividad, indica que deben dirigirse los esfuerzos al uso de los organismos modificados genéticamente (transgénicos). Este discurso se centra en la investigación biotecnológica como la vía para mejorar la calidad de vida de la gente, disminuir la pobreza y ejercer menor impacto en el ambiente (Piesse and Thirtle, 2010). Sin embargo, esta corriente de opinión no está enfrentando el problema del uso irracional de los recursos, a pesar de que está ofreciendo alternativas ciertamente novedosas, éstas pueden tener fuertes impactos sobre el ambiente además de que no atacan el problema de raíz: la pérdida de la biodiversidad, e insisten en el establecimiento de monocultivos en grandes extensiones lo cual pone en grave peligro esta relevante cualidad del ambiente (Altieri, 2000; Altieri y Toledo, 2011). Por otro lado, no se consideran los aspectos sociales y, especialmente los culturales que se ven afectados por la producción agrícola convencional; los llamados recursos bioculturales deben convertirse en el eje de cualquier actividad agrícola, agroecológica, agroforestal o agrosilvícola (Del Amo., 2011).

Existen, afortunadamente, otras corrientes de investigación en los países desarrollados, que proponen la reintegración de los sistemas productivos pecuario y agrícola, que fueron separados para hacerlos especializados, a raíz del advenimiento de los agroquímicos y de la agricultura a gran escala (Boody *et al.*,

2005). En 2005, se realizó un simposio en los Estados Unidos en el que se abordó la necesidad de colocar a los sistemas agroforestales en la ruta principal para llegar a una agricultura sostenible (Current *et al.*, 2009; Schoneberger, 2009), y se hizo énfasis sobre la necesidad de estimar con claridad los beneficios ecológicos y económicos que pueden brindar (Perry *et al.*, 2009; Schoneberger, 2009).

El presente trabajo fue enmarcado dentro de este contexto, considerando, además, como sugiere Gliessman (2002), que no debe pensarse en hacer, de forma inmediata, el cambio de una agricultura convencional, de monocultivos e insumos externos, a una integrada; este proceso deberá realizarse de manera gradual.

Al respecto, en la investigación sobre coberturas vivas y mantillos en Yucatán, se hizo énfasis en la reducción de los insumos externos en el sistema milpero de la región exhenequenera de este estado, en particular de los herbicidas que se usan todavía de manera indiscriminada para el control de las arvenses en la producción de maíz (Parsons *et al.*, 2009). Este cambio puede realizarse a través del uso de cultivos de cobertura, coberturas vegetales, mantillos o residuos vegetales (mulch), que demostraron que pueden controlar las arvenses y contribuir al mejoramiento del rendimiento del maíz.

El manejo de los residuos de los cultivos o del mulch de plantas alelopáticas para el control de las arvenses, tiene sus bases en algunos procesos naturales. Xiong y Nilsson (1999) analizaron los datos de 35 estudios independientes, a nivel mundial, para analizar los efectos del mulch de diversas plantas sobre la germinación, el establecimiento, la riqueza de especies y la biomasa de las arvenses. Los efectos a corto plazo de estas coberturas vegetales sobre la vegetación, fueron principalmente negativos, aunque su magnitud varió con el tipo de vegetación, el método de estudio, la duración del experimento, la latitud, el hábitat, el tipo y calidad de la cobertura sobre las especies blanco. La riqueza de especies fue más afectada que la biomasa, lo que sugiere que el mulch juega un papel directo en la estructuración de las comunidades vegetales, e influencia la

competencia en hábitats productivos. El mulch tuvo fuertes efectos sobre la germinación de las semillas, más que sobre el establecimiento de las plántulas, lo que sugiere que su impacto se da en las etapas tempranas de la estación de crecimiento.

En particular, la dinámica de las coberturas en los ecosistemas de Yucatán, sigue un comportamiento similar al antes expuesto por Xiong y Nilson (1999), destacando sus variaciones en el aporte de nutrimentos debido a la estacionalidad tan marcada en la zona (Read y Lawrence, 2003).

Lo anterior apuntala el papel que en los sistemas agrícolas pueden jugar los residuos de leguminosas empleadas como coberturas. Es pertinente recordar que en el estudio realizado en Xmatkuil (Caamal-Maldonado *et al.*, 2001), el mayor efecto sobre las arvenses fue logrado con los mantillos de *L. latisiliquum*, cuya tasa de descomposición es menor que la de *L. leucocephala*, por lo que permanece más tiempo en el terreno en interacción con dichas plantas.

El efecto negativo de los mantillos se debe, en parte, a las mezclas de ciertos compuestos secundarios o aleloquímicos que se producen durante la descomposición de la materia orgánica, o bien que son liberados al medio por una planta viva. Cualquiera que sea su origen, los aleloquímicos participan en las relaciones entre las coberturas y las arvenses, y en general en las de las plantas con los microorganismos del suelo; además del efecto negativo de los aleloquímicos sobre el crecimiento de algunas malezas (Jung *et al.*, 2004), otros factores juegan un papel importante, las coberturas disminuyen la entrada de luz que requieren las arvenses para desarrollarse y pueden reducir la temperatura óptima para su establecimiento (Curran, 2004).

Es pertinente comparar los esfuerzos destinados al uso de recursos locales en la agricultura, con otras propuestas de investigación que han surgido en la reciente década, con el mismo propósito de lograr la sostenibilidad agrícola. Los estudios que se han realizado abarcan aquellos que proponen la búsqueda de nuevos herbicidas con mayor especificidad y con menor impacto sobre el ambiente (Duke

*et al.*, 2006; Parsons *et al.*, 2009), así como los que sugieren el desarrollo de productos químicos derivados de plantas con propiedades alelopáticas (Kruse *et al.*; 2000; Iqbal *et al.*, 2003; Dayan y Duke, 2003), lo que implica la síntesis de nuevos herbicidas, más amistosos con el ambiente, a partir de estos productos naturales (Weston y Duke, 2003).

También destaca en la literatura la idea de usar algunas plantas con propiedades alelopáticas, como coberturas vivas para el control de arvenses problemáticas en los cultivos (Kruse *et al.*, 2000; Duke *et al.*, 2002; Dayan y Duke, 2003). Macías *et al.* (2004) mencionan el aislamiento de dos productos muy efectivos para este fin, de *Helianthus annuus*, denominados helioannol y guaianol (sesquiterpenos: fenólicos y lactonas, respectivamente). Hale *et al.* (2004) encontraron tres compuestos que inhiben el desarrollo de las arvenses en los extractos de las hojas de la ruda (*Ruta graveolens*), especie conocida como medicinal en México. Los tres compuestos son inhibidores efectivos de la división celular en ciertos tejidos de las plantas. El efecto de estas plantas alelopáticas, usadas como coberturas, se produce cuando éstas liberan los aleloquímicos inhibidores al medio, como proceso normal de su metabolismo y desarrollo, o bien durante el proceso de descomposición de su hojarasca (Duke, 2003; Iqbal *et al.*, 2003; Weston y Duke, 2003).

Los anteriores ejemplos de investigación sobre estrategias para el control de arvenses, se ubican en la trilogía propuesta por Gliessman (2002) acerca de la gradualidad en el camino hacia una agricultura basada en procesos ecológicos. En efecto, el uso de herbicidas más específicos y, por lo tanto, menos tóxicos para las cadenas tróficas, tiene que ver con la racionalización del uso de los agroquímicos, como insumos externos. En este punto, no se prescinde de ellos, pero su uso es de menor impacto sobre el ambiente. En el mismo rubro estaría el uso de los extractos de las plantas con propiedades alelopáticas para el diseño de nuevos productos que controlen el crecimiento de las malezas. Se pueden diseñar nuevos productos sintéticos, pero basados en la estructura molecular de los aleloquímicos

que tienen efecto sobre las arvenses (Duke *et al.*, 2002; Duke, 2003; Weston y Duke, 2003).

La estrategia seguida en el experimento del presente trabajo realizado en Yucatán se ubicaría en el rubro de sustitución de insumos externos. En lugar de herbicidas comerciales, se aplicaron los residuos de los cultivos alelopáticos como mulches, así como cultivos asociados con el maíz. Una variante sugerida en la literatura sería el uso de un cultivo alelopático en una secuencia de rotación, donde éste puede funcionar como planta protectora o bien, dejar sus residuos para interferir con las arvenses del siguiente ciclo de cultivo (Kruse *et al.*, 2000). Inclusive se ha planteado la posibilidad biotecnológica de crear cultivos de cobertura que entren en senescencia al momento en que inicie el desarrollo del cultivo, para evitar interferir con éste (Duke, 2003).

El enfoque de los cultivos de cobertura para controlar malezas, tiene el valor adicional de su función como abonos verdes, con lo que puede mejorarse la viabilidad económica del sistema productivo a la vez que se reducen los impactos ambientales de la agricultura. Esto es cierto en particular con la fertilidad del suelo, pues el uso de las coberturas como fertilizantes naturales contribuye a disminuir la necesidad del uso de agroquímicos (Sustainable Agricultural Network, 2007).

Un ejemplo en apoyo de lo anterior se presentó en Kenia, África, donde se realizó un experimento de 1989 a 1996, para evaluar el efecto de leguminosas anuales y perennes sobre la fertilidad del suelo, los rendimientos de maíz y los beneficios económicos (Rao y Mathuva, 2000). Se evaluaron seis sistemas de cultivo: 1) monocultivo de maíz continuo, 2) maíz en rotación con *Vigna unguiculata* (leguminosa de ciclo corto), 3) maíz en rotación con *Cajanus cajan* (leguminosa de ciclo largo; 4) maíz intercalado con *C. cajan*, 5) cultivo en callejones de maíz y la leguminosa perenne *Gliricidia sepium* y 6) monocultivo de maíz continuo, con la aplicación de abono verde derivado de la poda de *G. sepium* de un área adyacente (tecnología de corte y acarreo). En dicho experimento se demostró que los sistemas que produjeron los mayores rendimientos fueron la rotación de maíz-

*Vigna* y el cultivo en callejones de *C. cajan* y maíz, con una productividad mayor de 17 y 24% en comparación con el monocultivo continuo de maíz. La rotación maíz-*C. cajan* dio resultados marginalmente mejores. El cultivo en callejones no incrementó la productividad del maíz, porque los incrementos en rendimiento en la época de lluvias no compensaron las pérdidas de los de la época de secas, causados por la competencia por agua entre el cultivo y la leguminosa perenne. El abono verde de *G. sepium* incrementó la producción en un 27% pero la tecnología no fue económicamente viable por los altos costos generados por la producción y el acarreo del material podado para su aplicación al cultivo. Los sistemas basados en maíz y leguminosas anuales fueron 32 a 49% más productivos que el maíz en monocultivos.

En este marco se inserta el uso de *Mucuna deeringiana* como cultivo de cobertura, particularmente en dos aspectos importantes: 1) control de arvenses por la liberación de compuestos alelopáticos y por competir con ellas, y 2) potencial como abono verde/cultivo de cobertura para mejorar la fertilidad de los suelos tropicales.

En lo que respecta a su papel como herbicida natural, *Mucuna* ha destacado en décadas recientes, en diversas regiones tropicales latinoamericanas y en otras regiones del mundo con un régimen climático similar. En Colombia, por ejemplo, Navas y Delgado (2003) demostraron que el uso de esta leguminosa contribuye al manejo de las arvenses y reduce el uso de herbicidas en un 30% en el cultivo de arroz. Estos autores mencionan que la leguminosa logró controlar de forma eficiente el problema generado por *Rottboellia cochinchinensis* (caminadora) y por la falsa caminadora (*Ischaemun rugosum*), dos de las arvenses invasoras que ejercen mayor competencia con el maíz y reducen su rendimiento.

En México, Castillo-Caamal *et al.*, 2010, reportan que los cultivos de cobertura de leguminosas ejercen un control efectivo sobre las arvenses presentes en el cultivo de maíz, en Maní, Yuc. Sin embargo, no encontraron diferencias sustanciales en la biomasa de arvenses en los diferentes tratamientos con leguminosas, con

respecto al testigo, en los dos primeros ciclos de cultivo. Su impacto se manifestó hasta el tercer ciclo, cuando contribuyeron a disminuir la biomasa de las malezas. Esto se entiende si se considera que al llevar a cabo el primer ciclo de cultivo el sitio dispone de un banco de semillas que no es muy significativo, pues no ha recibido el aporte de otras arvenses que depositen sus semillas; de tal manera, las arvenses que germinan en esta etapa inicial no generan una gran interferencia sobre el cultivo. Pero, después de dos o tres ciclos de cultivo, la abundancia de las arvenses se incrementa, lo que coincide con lo reportado por Caamal-Maldonado y colaboradores (2001).

Las coberturas evitan la germinación de nuevas arvenses o provocan que las que germinan no se desarrollen hasta la etapa reproductiva. *M. deeringiana* (frijol terciopelo) reduce la biomasa de las arvenses, lo que coincide con otros trabajos en la región (Caamal-Maldonado *et al.* 2001, Ayala y Basulto 2004), y con los realizados en otros países. Esta reducción se atribuye a la etiolación causada por la sombra del frijol terciopelo, y a los compuestos alelopáticos que produce y libera al medio, como ya se mencionó, lo que resulta muy útil en el control de muchas arvenses (Fujii *et al.* 1992, Caamal-Maldonado *et al.*, 2001).

Delgado y colaboradores (2009) también reportan a *Mucuna* como cobertura eficiente para controlar las arvenses en el cultivo de arroz y de maíz en Colombia. Los autores comentan que el manejo químico de malezas en el cultivo de arroz, aumenta hasta un 20% los costos totales del cultivo, bajando así su rentabilidad. Ellos integraron en un experimento el control con herbicidas y la utilización de leguminosas de cobertura, y encontraron que *M. deeringianum* presentó los más fuertes efectos alelopáticos, con porcentajes promedio de control de malezas- adicionales al efecto de los herbicidas- entre 41 y 62%; en segundo lugar se ubicó otra leguminosa, *Crotalaria ochroleuca*, con porcentajes de control entre 27 y 46% adicionales al sólo uso de los insumos químicos. De tal suerte, en dicho estudio se demostró que las dosis de herbicidas necesarias para incrementar el control de las arvenses fueron 70% menores que las recomendadas de forma convencional. Asimismo, ambas leguminosas aumentaron el rendimiento del

arroz, aunque en el caso del maíz sólo hubo un incremento marginal de casi 300 kg ha<sup>-1</sup> con la intercalación de *C. ochroleuca*. No obstante, las dos leguminosas mejoraron algunas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, por lo que los beneficios agronómicos, múltiples e integrales, obtenidos con el uso de un período de barbecho mejorado muestran su potencial para el manejo alelopático de malezas, y como práctica agroecológica en cultivos de arroz y maíz.

Los trabajos revisados en párrafos precedentes son relevantes para el presente estudio, pues han sido realizados en la misma década en que se hizo el experimento en Xmatkuil, y apoyan lo expuesto en los capítulos precedentes; además, evaluaron otras leguminosas, con resultados similares en el control de arvenses.

En relación con la fertilidad de los suelos, en otro estudio realizado en Costa Rica, Cervantes (1996) demostró que, con una biomasa de 6,000 kg/ha (en base fresca), *Mucuna* fijó 168 kg de N, 12 kg de P, 84 kg de K, 22 kg de Ca y 22 kg de Mg.

En un trabajo de Huerta y colaboradores (2005), se confirmó que la presencia de *Mucuna* generó condiciones que favorecen la presencia de lombrices de tierra (“los ingenieros del ecosistema”), que remueven y hacen disponibles los nutrimentos para las plantas. Estos autores encontraron la mayor densidad y biomasa de lombrices en parcelas donde se aplicó *Mucuna* en la superficie, donde también obtuvieron los mayores rendimientos de maíz, en comparación con las parcelas que no recibieron la hojarasca de la leguminosa

Resulta claro que los abonos verdes/cultivos de cobertura parecen ser una tecnología apropiada para los predios de los pequeños productores, dado que estas especies requieren pocos recursos externos (a menudo sólo en el primer año de la siembra) (Eilittä y Carsky, 2003). Estos resultados entusiasmaron a los agricultores en Centro América debido al rápido crecimiento vegetativo de *Mucuna* y a su alta producción de semillas, sobre todo al considerar que podía crecer en suelos relativamente infértiles (Eilitta *et al.*, 2003a).

Un ejemplo representativo de la adopción inicial del cultivo de *Mucuna* se presentó en las laderas de la costa atlántica de Nicaragua (Philipp y Gamboa, 2003). En esta región, el 80% del maíz se siembra en pendientes, por lo que el uso de *Mucuna* se ha difundido como elemento esencial para conservar el suelo y para incrementar su fertilidad. El rendimiento de biomasa verde (fresca) de *Mucuna* en las laderas de la región varió de 11.5 a 60 t/ha, mientras que el rendimiento correspondiente de maíz osciló entre 1.1 a 5.4 t/ha. Es importante destacar que los agricultores que emplearon su propia semilla en Nicaragua tuvieron los mejores rendimientos de maíz y los mejores beneficios económicos, los que se incrementaron aún más cuando emplearon la mano de obra familiar.

No obstante, la adopción de *Mucuna* como parte de una tecnología apropiada a las condiciones de la región mesoamericana se ha visto limitada, a pesar del entusiasmo inicial que generaron sus beneficios agronómicos; ello, porque hasta ahora no se habían reconocido otros usos, ya fuese como alimento humano o como forraje (Eilittä *et al.*, 2003a, 2003b). Al respecto, con la idea de crear mercados locales para *Mucuna*, algunas organizaciones dirigieron sus esfuerzos a investigar su papel como alimento, enfocando su investigación hacia las formas de reducir el contenido de L-Dopa, el principal factor antinutricional de esta leguminosa (Bunch, 2002; Diallo y Berhe, 2003).

También se ha valorado el papel de *M. deeringiana* como forraje, pues los animales pueden consumir las vainas con semillas y el follaje, con los consecuentes incrementos de peso que en ellos se generan. Hay que considerar que el uso como alimento o como forraje de las hojas puede generar ambigüedad en la utilización de la leguminosa, pues si el material se extrae del sistema para su uso como alimento para animales, no contribuye entonces al reciclaje de nutrientes, uno de los puntos fuertes de esta leguminosa (Nyambati y Sollenberger, 2003). Es necesario lograr un equilibrio entre ambos servicios que ofrece la leguminosa.

Los mercados locales para la comercialización de *Mucuna* en el sureste de México funcionaron de forma limitada en sus inicios, pero luego decrecieron al retirarse los apoyos financieros de organizaciones de financiamiento (en particular, el apoyo de la Fundación Rockefeller). En respuesta a ello, se diversificaron los esfuerzos para buscar otras especies de leguminosas con algún potencial como abono verde/cultivo de cobertura pero además con la posibilidad de que fueran consumidas como alimento humano o como alimento para los animales (Castillo-Caamal *et al*, 2003).

*Mucuna*, por su parte, continuó siendo difundida como la principal leguminosa para mejorar la fertilidad del suelo, pero disminuyó el interés de los investigadores por encontrarle otros usos. No obstante, algunos no cesaron en su esfuerzo y persistieron en la búsqueda para ampliar la utilización de esta leguminosa en otros aspectos del sistema productivo para favorecer su adopción por los campesinos (Castillo-Caamal, *et al.*, 2003).

Al respecto, se han hecho estudios sobre el uso de *Mucuna* como forraje para la alimentación de pequeños rumiantes (cabritos) en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CCBA), de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY). En estos estudios se demostró que el follaje, el grano y la vaina de esta leguminosa, constituyen un buen suplemento alimenticio (Sandoval-Castro *et al.*, 2003). En otro trabajo, se confirmó que el suplemento comercial puede ser substituido por completo con *Mucuna* para favorecer el crecimiento de los cabritos (Castillo-Caamal *et al.*, 2003). Asimismo, el uso de *Mucuna* fue comparable al beneficio obtenido con las hojas del ramón (*Brosimum alicastrum*), especie que es considerada de alto valor forrajero en la región.

La cosecha de *Mucuna* coincide con el inicio de la temporada de secas, cuando el forraje disminuye y, en consecuencia, se incrementan los precios de los insumos externos. Así, la leguminosa tiene el potencial de disminuir algunos de los efectos

adversos de la sequía en estos sistemas de producción, a la vez que juega un papel como herbicida natural y como abono orgánico (Castillo-Caamal *et al.*, 2003).

De acuerdo con lo anterior, los sistemas basados en leguminosas anuales son más benéficos en términos de los retornos económicos relacionados con el uso de la tierra y la mano de obra empleada, que los monocultivos continuos de cereales, con o sin abono verde, y que los sistemas de cultivo en callejones en las áreas semiáridas tropicales. La elección de las leguminosas empleadas se relaciona con la preferencia de los productores para su consumo en el hogar, con los precios de mercado y con las necesidades de una rotación de largo plazo para romper la presión generada por las plagas con el cultivo continuo de las coberturas (Rao y Mathuva, 2000).

Sin embargo, es necesario considerar que la perspectiva de la tecnología de coberturas es compleja debido a que hay interacciones entre estas especies, el ambiente y el manejo agronómico (Cherr *et al.*, 2006). Los sistemas basados en esta tecnología pueden proporcionar alternativas a los enfoques convencionales de producción agrícola; sin embargo su uso podría no justificarse desde el punto de vista económico si, paralelamente, no se da la provisión de servicios múltiples: aporte de nutrientes, control de plagas y arvenses, y mejoramiento de las características del suelo para la producción de cultivos, entre otros (Cherr *et al.*, 2006; Sustainable Agricultural Network, 2007). La provisión de tales servicios dentro de los sistemas de cobertura requiere una evaluación crítica y sistemática.

Por otra parte, los estilos tradicionales de investigación agrícola y de transferencia de agrotecnología pueden no ser eficaces para el desarrollo de este sistema de cultivos de cobertura, a menos que sean complementados con una participación efectiva de los agricultores y de un análisis de sistemas más integral, que vaya más allá de la mera sustitución de tecnologías (Cherr *et al.*, 2006).

Al referirnos al enfoque de sustitución gradual de insumos externos por recursos locales, en el presente trabajo, se llegó a la evaluación de sistemas agrícolas diversificados de carácter agroforestal. De acuerdo con Gliessman (2002), este sería el nivel más elevado de integración de los recursos en los sistemas productivos para lograr su sostenibilidad. Al respecto, se ha planteado que es posible reemplazar la tecnología actual basada en la energía fósil mediante interacciones que permitan la operación entre cultivos y ganado, y entre otros organismos, para mejorar la producción agrícola. Si esto es posible, entonces la agricultura moderna, que ahora usa solo las respuestas bióticas más simples, puede ser transformada en un sistema alternativo de agricultura en el cual el uso de interacciones entre organismos complejas sea la clave de la tecnología (Shiyomi y Koisumi (2001).

Aunque los resultados sobre el sistema agroforestal en Yucatán sólo abarcaron un ciclo de cultivo, se observó que la asociación de maíz y *L. leucocephala*, en particular, no tiene un impacto negativo sobre el rendimiento del maíz, además de que aporta otros productos, como el forraje. En trabajos posteriores en el mismo sitio experimental ello se hizo más evidente, con lo que se demostró que es factible la integración de árboles forrajeros con el maíz y con otros cultivos.

Para finalizar, la conveniencia de los sistemas diversificados, donde se integran cultivos anuales y especies arbustivas y arbóreas, no se basa solamente en el aspecto productivo, sino que, de acuerdo con Casanova-Lugo y colaboradores (2010), desempeñan un papel importante en la disminución de los gases de efecto invernadero (GEI) al capturar carbono en su biomasa. Esto es fundamental para que estos sistemas sean adoptados y adaptados por los productores, pues de acuerdo con Current (2009), Perry y colaboradores (2009) y Schoneberger (2009), los agroecosistemas diversificados deben ser productivos y favorecer las condiciones ambientales donde se desarrollan, además de propiciar beneficios sociales a las comunidades rurales.

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES GENERALES

En los capítulos precedentes, se ha demostrado la capacidad que tienen las leguminosas para revertir las condiciones de degradación de los sistemas productivos basados en el maíz. El papel de las mismas, ya sea como insumos locales que substituyen el uso de agroquímicos (herbicidas y fertilizantes) o como parte integrante de los sistemas agroforestales, es de gran relevancia en la búsqueda de una agricultura sostenible.

En primer lugar, se realizó la evaluación de la integración de leguminosas de cobertura viva (*Mucuna deeringiana*: frijol terciopelo o nescafé), y como mantillo (*Leucaena leucocephala* y *Lysiloma latisiliquum*, huaxín y tzalam, respectivamente) en el sistema de milpa en Yucatán, dados los problemas generados por el poco tiempo de descanso de las parcelas en el sistema tradicional de roza-tumba y quema (RTQ), que propicia una abundancia desmedida de arvenses (malezas) y el uso excesivo, deficiente e incontrolable de herbicidas.

Los resultados más relevantes fueron: 1) el control que las coberturas, en especial *Mucuna*, ejercieron sobre las arvenses; 2) el aporte de materia orgánica al suelo; y 3) el incremento en el rendimiento del cultivo.

Lo anterior sucedió de manera clara cuando dichas coberturas se asociaron con el maíz a partir de los primeros 20 días después de la siembra. Cuando la asociación fue más temprana, por ejemplo, cuando maíz y *Mucuna* se sembraron al mismo tiempo, se manifestó dicho control sobre las arvenses pero también se afectó al maíz, disminuyendo su rendimiento.

Los mantillos de las especies arbóreas locales también contribuyeron a elevar el rendimiento del maíz. Lo más importante fue que con este esquema de manejo, la milpa no necesita abandonarse después de dos años de cultivo, sino que puede

cultivarse por periodos mayores, manteniendo un rendimiento de maíz similar al que se obtiene en una parcela de primer año (cercano a una ton/ha) durante todo ese periodo.

Derivado de los anteriores resultados, en este trabajo se demostró que *L. leucocephala* no sólo es eficiente cuando se utiliza como abono verde, al cortarse sus hojas y llevárlas a las parcelas de maíz, sino que puede ser integrado de manera exitosa en sistemas más diversificados (agroforestales). Al respecto, en el Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CCBA), de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY), una de las principales directrices es integrar la producción animal con la agrícola, destacando el uso de los recursos locales para la alimentación animal. En tal sentido, destacan los trabajos donde se ha integrado *L. leucocephala* en bancos forrajeros o en sistemas agroforestales.

Existen además otras especies que junto con *L. leucocephala* pueden producir forraje de calidad en asociación con el cultivo de maíz. Fue patente que el maíz no sufrió merma alguna al integrarse en el mismo espacio con las demás especies de plantas, y que ello favoreció que el sistema de cultivo en su conjunto hiciese un uso eficiente de los recursos.

Es claro que aún falta investigar muchos aspectos de la diversificación de los sistemas de cultivo en los cuales se incluyan las leguminosas herbáceas y arbóreas, para mejorar los sistemas agrícolas en el sureste de México, en particular en Yucatán: no obstante, los resultados obtenidos en el presente trabajo indican que se ha avanzado en el camino correcto.

## CAPÍTULO 8

### BIBLIOGRAFÍA

- AGRIOS, G. N.** 2005. *Plant Pathology*, (5<sup>a</sup>). Elsevier Academic Press. New York 903 p
- ALEMÁN, F.** 2004. *Manual de investigación agronómica. Con énfasis en ciencia de las malezas*. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 248 p
- ALTIERI, M.A.** 2000. The ecological impacts of transgenic crops on agroecosystem health. *Ecosystem Health* 6(1):13-23
- ALTIERI, M.A.** 2003. Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 93 (3): 1-24
- ALTIERI, M.A.** 2004. Una base agroecológica para el diseño de sistemas diversificados de cultivo en el Trópico. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)*. (73):8-20
- ALTIERI, M. A.; LIEBMAN, M.Z.** 1986. Insect, weed, and plant disease management in multiple cropping systems. *En: C.A. Francis (Ed.). Multiple Cropping Systems*, Macmillan, New York. .Pp. 183–218.
- ALTIERI, M.A.; NICHOLLS, C.** 2003. Soil fertility management and insect pests: harmonizing soil and plant health in agroecosystems. *Soil and Tillage Research* 72(2): 203
- ALTIERI, M.A.; TOLEDO, V.M.** 2011. La revolución agroecológica en Latinoamérica. *Sociedad Latinoamericana de Agroecología (SOCLA)*. 34 p
- ÁLVAREZ-BUYLLA, E.; PINEYRO, A.** 2009. Riesgos y peligros de la dispersión de maíz transgénico en México. *Ciencias* (92-93):82-96
- ALLEN, P.; VAN DUSEN, D.** 1988. Sustainable agriculture: choosing the future. *En: Global Perspectives on Agroecology and Sustainable Agriculture. Proceedings of the Sixth International Scientific Conference of the International Federation of Organic Movements (IFOAM)*. University of California. Pp. 1–13
- ANAYA, A.L.** 2006. Allelopathic Organisms and Molecules: Promising Bioregulators for the Control of Plant Diseases, Weeds, and Other Pests. *En: Inderjit and K.G. Mukerji (Eds.) Allelochemicals: Biological Control of Plant Pathogens and Diseases. Volume 2*. Springer Verlag, New York. Pp. 31-78
- ANDRADE, H.; BROOK, R; IBRAHIM, M.** 2008. Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry lowlands of Costa Rica. *Plant Soil* 308(1-2):11-22

- ARIAS, L.** 1992. El proyecto dinámica de la milpa en Yucatán. *En:* D. Zizumbo, Ch. Rasmussen, L.M. Arias, S. Terán (Eds.) La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad. III. Racionalidad Tecnológica e Innovaciones. Pp. 195-202
- ARIAS R., L.** 1995. La producción milpera actual en Yaxcabá, Yucatán. *En:* E. Hernández-X, E. Bello y S. Levy (Eds.). La Milpa en Yucatán: un Sistema de Producción Agrícola Tradicional. Tomo 1. Colegio de Postgraduados. México. Pp. 171-179
- ARMENDÁRIZ-YÁÑEZ, I.** 1998. Indigenous fodder legumes trees: their influence on soil fertility and animal production on tropical pastures in Yucatan, México. Tesis de PhD. Wye College University of London. Wye, London. 267. p
- AYALA, S.A; BASULTO, G.J.A.** 2004. Barbechos cultivados para el mejoramiento de la agricultura maicera de roza, tumba y quema en el sur de Yucatán. *En:* N.F. Ojeda y L. Ramírez (Eds.). Memorias de I Reunión Estatal de Investigación Agropecuaria y Forestal. Mérida, Yucatán, 15 y 16 de enero del 2004. Pp. 382-389
- AYALA-SÁNCHEZ, A.; KRISHNAMURTHY, L. BASULTO-GRANIEL, J.A.; LEOS-RODRÍGUEZ, J.A.** 2007. Leguminosas arbustivas nativas para mejorar la agricultura maicera itinerante de Yucatán. *Terra Latinoamericana* 25 (2): 195-202
- BALOTA, A.L.; FILHO, A.C.; ANDRADE, D.S.; DICK, R.P.** 2004. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization on Brazilian Oxisol. *Soil and Tillage Research* 77(2):137-145
- BANDY, D.; GARRITY, D.; SÁNCHEZ, P.** 1994. El problema mundial de la agricultura de tala y quema. *Agroforestería en las Américas (C.R.)* 1(2):14-20
- BARBERI, P.** 2002. Weed management in organic agriculture: are we addressing the right issues? *Weed Research* 42(3):177-193
- BARON, L.** 1992. Beyond the Green Revolution: singin' the population blues. *ZPG Report.* 24(4):1- 4
- BASTIEN-HENRI, S.; PARK, A.; ASHTON, M.; MESSIER, CH.** 2010. Biomass distribution among tropical tree species grown under differing regional climates. *Forest Ecology and Management* 260(3):403–410
- BAUTISTA, F.; BATLLORI-SAMPEDRO, E.; PALACIO. G.; ORTIZ-PÉREZ, M.; CASTILLO-GONZÁLEZ, M.** 2005. Integración del conocimiento actual sobre los paisajes geomorfológicos de la Península de Yucatán. *En:* F. Bautista y G. Palacio (Eds.). Caracterización y Manejo de los Suelos de la Península de Yucatán: Implicaciones Agropecuarias, Forestales y Ambientales. Universidad Autónoma de Campeche. Universidad Autónoma de Yucatán. Pp. 33-58

- BENHIN JK.** 2006. Agriculture and deforestation in the tropics: a critical theoretical and empirical review. *Ambio*. 35(1):9-16
- BENTLEY, O. G.** 1987. The potential of allelochemicals: opportunities for the future. *En: G. R. Waller (Ed.) Allelochemicals: Role in Agriculture and Forestry. Chapter 1..ACS Symposium Series 330, Washington. Pp. 2–7*
- BENZING, A.** 2001. *Agricultura Orgánica*. Ed. Neckar-Verlag, Alemania. Pp. 205-275, 311-367
- BERRY, W.** 2005. Renewing husbandry. *Crop Science*. 45(3):1103–1106
- BHAGWAT, S.A; WILLIS, K.J.; BIRKS, H.J.; WHITTAKER, R.J.** 2008. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? *Trends. Ecol.Evol.* 23(5):261-267
- BHARUCHA, Z.; PRETTY, J.** 2010. The roles and values of wild foods in agricultural systems. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 365(1554):2913-2926
- BOODY, G.; VONDRACEK, B.; ANDOW, D.A.; KRINKE, M.; WESTRA, J.; ZIMMERMAN, J.; WELLE, P.** 2005. Multifunctional agriculture in the United States. *Bioscience* 55(1):27-38
- BRADY, N.C.** 1994. Alternatives to slash and burn: a global imperative. *En: P. Sánchez, H. van Houten (Eds.). Alternatives to Slash and Burn Agriculture Symposium ID-6. 15th International Soil Science Congress (1994. Acapulco, México): International Center for Research in Agroforestry and International Society of Soil Science. Nairobi, Kenya. Pp. 3-13*
- BRIENZA, S.; GAZEL, J.** 1991. Agroforestry systems as an ecological approach in the Brazilian Amazon development. *Forest Ecology and Management*, 45 (1991) 319-323
- BUNCH, C.C.** 2002. Community-level development of *Mucuna* recipes: the examples of Nutricocina. *En: I. Flores B, M, Eilittâ, M, Myhrman, R, Carew, LB, Carsky, RJ (Eds). Mucuna as a Food and Feed:Current Uses and the Way Forward. Workshop held April 26-29, 2000 in Tegucigalpa, Honduras.CIDICCO, CIEPCA, and World Hunger ResearchCenter. Tegucigalpa, Honduras. Pp. 218-226*
- CAAMAL, A.** 1995. El uso de leguminosas como cobertura viva y muerta para el control de malezas en el cultivo de maíz, como alternativa al sistema de roza-tumba-quema, en Yucatán, México. Tesis Mag. Sci. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 106 pp
- CAAMAL, J.** 2010. Producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) asociado con maíz y árboles forrajeros. Tesis de Ingeniería en Agronomía. Instituto Tecnológico de Conkal. 49 p
- CAAMAL, J.A. ; ARMENDÁRIZ-YÁÑEZ, I.R.** 2002. La sucesión secundaria en los ecosistemas y agroecosistemas tropicales-El henequén (*Agave*

*fourcroydes*) en el contexto de la diversificación. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 1(1):28-32

- CAAMAL, J. A.; DEL AMO, S.** 1987. La milpa múltiple como punto de partida de manejo de la sucesión secundaria. Turrialba, 37(2):195 -210
- CAAMAL, J.A.; JIMÉNEZ, J.J.; VALVERDE, B.** 1996. Utilización de leguminosas como cobertura para el control de malezas en maíz, en Yucatán, Méx. como alternativa al sistema de roza-tumba-quema. Red Gestión de Recursos Naturales. Segunda época. (4):31-37
- CAAMAL-MALDONADO, A. Y ARMENDÁRIZ-YÁÑEZ, I.** 2002. La sucesión secundaria en los ecosistemas y agroecosistemas tropicales-El henequén (*Agave fourcroydes*) en el contexto de la diversificación. Tropical and Subtropical Agroecosystems. 1(1):28-32
- CAAMAL-MALDONADO, A., JIMÉNEZ-OSORNIO, J.; TORRES-BARRAGÁN, A.; ANAYA-LANG, A.** 2001. The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems. Agronomy Journal 93(1):27–36
- CALEGARI, A.; HARGROVE,W.L.; RHEINHEIMER, D.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; DE TOURDONNET, S. GUIMARÃES, M.** 2008. Impact of long-term no-tillage and cropping system management on soil organic carbon in an oxisol: a model for sustainability. Agronomy Journal. 100(4):1013-1019
- CALLO CONCHA, D.; KRISHNAMURTHY, L. ALEGRE, J.** 2002. Secuestro de carbono por sistemas agroforestales amazónicos. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 8(2):101-106
- CANTÚ-SILVA, I.; GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, H.; GÓMEZ-MEZA, M.** 2010. CO<sup>2</sup> efflux in vertisol under different land use systems. Tropical and Subtropical Agroecosystems, North America, 12 (2): 389-403
- CARSKY, R.J.; BECKER, M.; HAUSER, S.** 2001. Mucuna Cover Crop Fallow Systems: Potential and Limitations. En Tian, G, Ishida, F, Keatinge, D (Eds.). Sustaining Soil Fertility in West Africa. SSSA Special Publication no. 58, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. Pp. 111-135
- CASANOVA, F.; RAMÍREZ, L.; SOLORIO, F.** 2007. Interacciones radicales en sistemas agroforestales: mecanismos y opciones de manejo. Avances en Investigación Agropecuaria 11(3):41-52
- CASANOVA-LUGO, F.; CAAMAL-MALDONADO, A.; PETIT-ALDANA, J.; SOLORIO-SÁNCHEZ, F.J.; CASTILLO-CAAMAL, J.B.** 2010 Acumulación de carbono en la biomasa de *Leucaena leucocephala* y *Guazuma ulmifolia* asociadas y en monocultivo. Revista Forestal Venezolana 54 (1): 44-50
- CASTILLO-CAAMAL, A.M, CASTILLO-CAAMAL, J.B, AYALA-BURGOS, A.** 2003. Mucuna bean (*Mucuna spp.*) supplementation of growing sheep fed

with a basal diet of Napier grass (*Pennisetum purpureum*). *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1 (2-3):107-111

- CASTILLO-CAAMAL, J.B.** 2005. Evaluación de leguminosas herbáceas como coberteras asociadas al maíz de temporal durante tres ciclos agrícolas en Yucatán. Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán. 189 p
- CASTILLO-CAAMAL, J.B.; CAAMAL, A.; JIMÉNEZ-OSORNIO, J.J.; BAUTISTA-ZÚÑIGA, F.; AMAYA-CASTRO, M.; RODRÍGUEZ-CARRILLO, R.** 2010. Evaluación de tres leguminosas como coberturas asociadas con maíz en el subtrópico subhúmedo. *Agronomía Mesoamericana* 21(1): 39-50
- CASTILLO-CAAMAL, J.B.; JIMÉNEZ-OSORNIO, J.J.; LÓPEZ-PÉREZ, A.; AGUILAR-CORDERO, W.; CASTILLO-CAAMAL, A.M.** 2003. Feeding *Mucuna* beans to small ruminants of mayan farmers in the Yucatán peninsula, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1 (2): 113-117
- CEPAL-FAO-IICA.** 2010. Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe. FAO. Rome, Italy. 157 p
- CERDEIRA, A.L., DUKE, S.O.** 2006. The current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops: a review. *Journal of Environmental Quality* 35(5): 1633-1658
- CERVANTES, C.** 1996. Balances y nutrimentos en sistemas del maíz y frijol en Centro América. Informe Final Programa Regional de reforzamiento a la investigación agronómica sobre granos en Centro América. PRIAG. 150 p
- CORLETT, J.E.; BLACK, C.R.; ONG, C.K.; MONTEITH, J.L.** 1992. Above- and below-ground interactions in a leucaena/millet alley cropping system. II. Light interception and dry matter production. *Agricultural and Forest Meteorology*: 60 (1-2):73-91
- CUANALO, H.; UICAB-COVOH, R.** 2005. Investigación participativa en la milpa sin quema. *Terra Latinoamericana* 23(4):587-597
- CURRAN, W.** 2004. Weed management in organic cropping systems. *Agronomy Facts*. 64. College of Agricultural Sciences, Pennsylvania State University. 4 p
- CURRENT, D.; BROOKS, K. ; FFOLIOTT, P.; KEEFE, M.** 2009. Moving agroforestry into the mainstream. *Agroforestry Systems* (75):1-3
- CHAKEREDZA, S.; HOVE, L.; AKINNIFESI, F.; FRANZEL, S.; AJAYI, O.; SILESHI, G.** 2007. Managing fodder trees as a solution to human–livestock food conflicts and their contribution to income generation for smallholder farmers in southern Africa. *Natural Resources Forum* 31(4):286–296

- CHAZDON RL.** 2008. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science* 320(5882):1458-1460
- CHERR, C.M.; SCHOLBERG, J.M.; MCSORLEY, R.** 2006. Green manure approaches to crop production: a synthesis. *Agronomy Journal* 98(2):302-319
- CHHATRE, A.; AGRAWAL, A.** 2009. Trade-offs and synergies between carbon storage and livelihood benefits from forest commons. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 106(42):17667-17670
- CHIKOYE, D.; EKELEME, F.** 2000. Response of *Imperata cylindrica* to smothering by different mucuna accessions. *En: R.J. Carsky et al. (Eds.). Cover Crops for Integrated Natural Resource Management in West Africa*, International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria. Pp. 67-70
- CHIKOYE, D.; EKELEME, F.** 2001. Growth characteristics of ten *Mucuna* accessions and their effects on the dry matter of *Imperata cylindrica* (L.) Rauesch. *Biological Agriculture and Horticulture* 18(3): 191-201
- CHOU, C.H.** 1992. Allelopathy in relation to agricultural productivity in Taiwan: problems and prospects. *En: Rizvi, S. J. H. and Rizvi, V., (Eds.) .Allelopathy: Basic and Applied Aspects*. Chapman and Hall, London. Pp. 179
- CHOU, C.H.** 1995. Allelopathy and sustainable agriculture. *ACS Symp. Ser. 582*. Pp. 211-223
- DAWSON, I.; VINCETI, B.; WEBER, J.; NEUFELDT, H.; RUSSELL, J.; LENGKEEK, A.; KALINGANIRE, A.; KINDT, R.; LILLESØ, JP.; ROSHETKO, J.; JAMNADASS, R.** 2010. Climate change and tree genetic resource management: maintaining and enhancing the productivity and value of smallholder tropical agroforestry landscapes. A review. *Agroforestry Systems* 81(1):67-78
- DAYAN, F.E., DUKE, S.O.** 2003. Trichomes and root hairs: natural pesticide factories. *Pesticide Outlook* 14(4):175-178
- DEL AMO, S.** 2011. El cambio de modelo de desarrollo necesario en un país pluricultural. Algunos aspectos que se deben tomar en cuenta. *Etnobiología* 9:60-76
- DELGADO H., H-; NAVAS R., G.E.; SALAMANCA S., C.R. et al.** 2009. Legume improved fallows: a promissory agroecological alternative for allelopathic weed control in rice and maize crops in the Colombian Eastern Plains. *Agron. Colomb.* 27(2):227-235
- DIALLO, O. K.; BERHE, T.** 2003. Processing of *Mucuna* for human food in the Republic of Guinea. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 1 (2-3):193-196

- DÍAZ-CORONEL, G.; ESTUPIÑÁN-VELÍZ, K.** 2005. Maíz alternado con mucuna (*Stizolobium aterrimum*) más fertilización para el incremento del rendimiento, control de malezas y reciclaje de nutrientes para pequeños productores de la parte alta de la cuenca del río Guayas. *La Revista UIC-UTEQ*. Quevedo. 4 p
- DIDHAM, R.; LAWTON, J.** 1999. Edge structure determines the magnitude of changes in microclimate and vegetation structure in tropical forest fragments. *Biotropica* 31(1): 17-30
- DONALD, P. F.** 2004. Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation Biology* 18(1):17-37
- DUDLEY, N.; BALDOCK, D.; NASI, R.; STOLTON, S.** 2005. Measuring biodiversity and sustainable management in forests and agricultural landscapes. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 360(1454): 457–470
- DUKE, S.O.** 2003. Biotechnology to reduce synthetic herbicide use. *Phytoparasitica*. 2003. 31(5):429-432
- DUKE, S.O., CEDERGREEN, N., VELINI, E., BELZ, R.G.** 2006. Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy?. *Outlooks on Pest Management* 17(1): 29-33
- DUKE, S.O., RIMANDO, A.M., BAERSON, S.R., SCHEFFLER, B.E., OTA, E., BELZ, R.G.** 2002. Strategies for the use of natural products for weed management. *Journal of Pesticide Science*. 27(3):298-306
- EILITTÂ, M.; ARTEAGA, F.L.; DIAZ, M.; GUERRERO, C.; HERRERA, B.; NARVAEZ, G.; PARÉ, L.; ROBLES, G.C.A.; TRIOMPHE, B.L.** 2003. Cultivating Maize with Mucuna in the Los Tuxtlas Region of Southeastern Veracruz, Mexico. *En: Eilittâ, M, Mureithi, J, Derpsch, R (Eds.). Green Manure/Cover Crop Systems of Smallholder Farmers: Experiences in the Tropical and Subtropical Regions.* Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. Pp.94-127
- EILITTÂ, M.; CARSKY, R.J.** 2003. Efforts to improve the potential of Mucuna as a food and feed crop: background to the workshop. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 1 (2-3): 47-55
- EILITTÂ, M.; ETÈKA, A.; CARSKY, R.J.** 2004. Integrating Mucuna in the Maize-Based Systems of Southern Benin. *En: Eilittâ, M, Mureithi, J, Derpsch, R (Eds.). Green Manure/Cover Crop Systems of Smallholder Farmers: Experiences in the Tropical and Subtropical Regions.* Chapter 10. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. Pp.237-261
- FAO.** 2004. IPM and Weed Management. Agriculture Department. 2004. Agriculture 21. (Disponible en: <http://www.fao.org/WAICENT/FAOINFO/AGRICULT/Default.htm>)
- FAO.** 2006a. Global Progress towards sustainable forest management. *Forest. En: Resources Assessment 2005 (Chapter 8).* FAO Forestry Paper 147. Food

- and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. Pp. 129-147
- FAO.** 2006b. Environmental issues and options. Part V, Livestock's impact on biodiversity. *En: Livestock's long shadow...* Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. Pp. 181-218
- FAO.** 2007. The state of the world's animal genetic resources for food and agriculture – in brief.. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 505 p
- FAO.** 2009. The state of food and agriculture. Livestock in the balance. Chapter 4. Livestock and the environment. FAO. Rome. Pp. 53-59
- FAO.** 2010a. Cattle ranching and deforestation. Livestock policy brief 03. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 8 p
- FAO.** 2010b. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector. A Life Cycle Assessment. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 94 p
- FEARNSIDE, P.M.** 1993. Forests or fields? A response to the theory that tropical forest conservation poses a threat to the poor. *Land use policy.* 10(2):108-21
- FINCKH, M.; GACEK, E.; GOYEAU, H.; LANNOU, CH.; MERZ, U.; MUNDI, CH.; MUNK, L.; NADZIAK, J.; NEWTON, A.; VALLAVIEILLE-POPE, C.; WOLFE, M.** 2000. Cereal variety and species mixtures in practice, with emphasis on disease resistance. *Agronomie* 20(7):813-837
- FIRBANK, L. ; PETIT, S.; SMART, S.; BLAIN, A.; FULLER, R.** 2008. Assessing the impacts of agricultural intensification on biodiversity: a British perspective. *Phil. Trans. R. Soc. .* (363):777-787
- FRANCIS, C.A.; LIEBLEIN, G.; BRELAND, T.A.; SALOMONSSON, L.; GEBER, U.; SRISKANDARAJAH, N.; LANGER, V.** 2008 Transdisciplinary Research for a Sustainable Agriculture and Food Sector. *Agronomy Journal* 100(3):771-776
- FRANZLUEBBERS, A.J.** 2007. Integrated Crop–Livestock Systems in the Southeastern USA. *Agronomy Journal* 99(2):361–372
- FUJII, Y.; SHIBUYA, T.; YSUDA, T.** 1992. Allelopathy of velvet bean: its discrimination and identification of L-DOPA as a candidate of allelopathic substances. *Japan Agric. Res. Q.,* 25(4):238-247
- FUNDACIÓN ROCKEFELLER.** S.F. Base de información sobre especies con potencial de abonos verdes y cultivos de cobertura. (Disponible en: <http://www.rockfound.org.mx/basinfespecies.html> ) (07/08/2010)
- GAINES, H.; GRATTON, C.** 2010. Seed predation increases with ground beetle diversity in a Wisconsin (USA) potato agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137(3-4): 329–336

- GALLANDT, E.R.; MOLLOY, T.; LYNCH, R.P.; DRUMMOND, F.A.**, 2005. Effect of cover-cropping systems on invertebrate seed predation. *Weed Sci.* 53 (1):69–76
- GARCÍA-ROMERO, A.; OROPEZA-OROZCO, O.; GALICIA-SARMIENTO, L.** 2004. Land-use systems and resilience of tropical rain forests in the Tehuantepec Isthmus, Mexico. *Environ. Manage.* 34(6):768-85
- GLIESSMAN, S. R.** 1983. Allelopathic interactions in cropweed mixtures: applications for weed management. *J.Chem. Ecol.* 9(8): 991–999.**GLIESSMAN, S.** 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE. Costa Rica, C.A. 358 p
- GLIESSMAN, S. R.** 2002. Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE. Costa Rica, C.A. 358 p
- GODFRAY, CH.; BEDDINGTON, J.; CRUTE, I.R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J.; PRETTY, J.; ROBINSON, SH.; THOMAS, S.M.; TOULMIN, C.** 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science* 327(5967): 812-818
- GODFRAY, CH; CRUTE, I.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J.; NISBETT, N.; PRETTY, J.; ROBINSON, H.; TOULMIN, C.; WHITELEY, R.** 2010. The future of the global food system. *Phil. Trans. R. Soc. B* 365(1554):2769-2777
- GRABER, D.R.; JONES, W.J.; JOHNSON, J.A.** 1995. Human and ecosystem health: the environment-agriculture connection in developing countries *J. Agromedicine.* 2(3):47-64
- GREEN, R. E.; CORNELL, S.J.; SCHARLEMANN, J.P.W.; BALMFORD. A.** 2005. Farming and the fate of wild nature. *Science* 307(5709):550-555
- HALE, A.L.; MEEPAGALA, K.M.; OLIVA, A.; ALIOTTA, G.; DUKE, S.O.** 2004. Phytotoxins from the leaves of *Ruta graveolens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52(11):3345-3349
- HANSON, J. D. ; LIEBIG, M. A.; MERRILL, S. D.; TANAKA, D. L.; KRUPINSKY, J. M.; STOTT, D. E.** 2007. Dynamic Cropping Systems: Increasing Adaptability Amid an Uncertain Future. *Agronomy Journal* 99(4):939–943
- HARVEY, C. A.; KOMAR, O.; CHAZDON, R.; FERGUSON, B. G.; FINEGAN, B. GRIFFITH, D.M.; MARTINEZ-RAMOS, M.; MORALES, H.; NIGH, R.; SOTO-PINTO, L.; VAN BREUGEL, M.; WISHNIE, M.** 2008. Integrating agricultural landscapes with biodiversity conservation in the Mesoamerican hotspot. *Conservation Biology* 22(1):8-15
- HAWKESWORTH, S.; DANGOUR, A. D.; JOHNSTON, D. ; LOCK, K.; POOLE, ; RUSHTON, J.; UAUY, R.; WAAGE, J.** 2010. Feeding the world healthily: the challenge of measuring the effects of agriculture on health. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 365 (1554):3083-3097

- HERRERO, M.; THORNTON, P.H.; GERBER, P.; REID, R.** 2009. Livestock, livelihoods and the environment: understanding the trade-offs. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 1(2):111–120
- HOBBS, P.; SAYRE, K.; GUPTA, R.** 2008. The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363(1491):543-555
- HOFFMAN, M.L.; REGMER, E.E.; CARDINA, J.** 1993. Weed and corn (*Zea mays*) responde to a hairy vetch (*Vicia villosa*) cover crop. *Weed Technol.* 7 (3):594-599
- HOLL, K.** 1999. Factors limiting tropical rain forest regeneration in abandoned pasture: seed germination, microclimate, and soil. *Biotropica* 31(2): 229-242
- HUANG, S.; ZHANG, W.; YU, X. HUANG, Q.** 2010. Effects of long-term fertilization on corn productivity and its sustainability in an Ultisol of southern China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 138(1-2):44-50
- HUERTA, E.; FRAGOSO, C. ;LAVELLE, P.** 2005, Efecto de la aplicación de hojarasca de mucuna sobre densidad y biomasa de lombrices de tierra. *Terra Latinoamericana* 23(4):533-544
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change).** 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for policy makers.* (Disponibile en: <http://www.ipcc.cg/SPM13apr07.pdf>)
- IQBAL, Z.; HIRADATE, S.; NODA, A.; ISOJIMA, S.; FUJII, Y.** 2003 Allelopathic activity of buckwheat: Isolation and characterization of phenolics. *Weed Sci.* 51 (5).657-662
- JAGGARD, K., QI, A.; OBER, E.** 2010. Possible changes to arable crop yields by 2050. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 365(1554):2835-2851
- JIMÉNEZ-OSORNIO, J.J.** 1993. Mejoramiento de la calidad de vida en la zona henequenera de Yucatán mediante sistemas de producción agrosilvícolas. Informe del Programa de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 22 p
- JIMÉNEZ-OSORNIO J.J.; GLIESSMAN, S.R.** 1987. Allelopathic interference in a wild mustard (*Brassica campestris* L.) and broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) intercrop agroecosystem. *En: G.R. Waller (Ed.) Allelochemicals, Role in Agriculture and Forestry, ACS Symp. Ser. 330.* American Chemical Society, Washington DC, USA. Pp. 262–274
- JOSE, S.** 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforestry Systems* 76(1):1–10
- JUNG, W.S.; KIM, K.H.; AHN, J.K.; HAHN, S.J.; CHUNG, I.M.** 2004. Allelopathic potencial of rice (*Oriza sativa* L.) residues against *Echinocloa cruss-galli*. *Crop Protection* 23(3):211-218

- KAMMESHEIDT, L.** 2002. Perspectives on secondary forest management in tropical humid lowland. *America. Ambio.* 31(3):243-50
- KARLEN, D.L.; WOLLENHAUPT, N.C.; ERBACH, D.C.; BERRY, E.C.; SWAN, J.B.; EASH, N.S.; JORDAHL, J.L.** 1994. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. *Soil Tillage Research* 31(2-3): 149-167
- KELTY, M.J.** 2006. The role of species mixtures in plantation forestry. *Forest Ecology and Management* 233(2-3):195–204
- KENNEDY, A.C.** 1999. Soil microorganisms for weed management. *Journal of Crop Production* 2(1):123-138
- KIBBLEWHITE, M.G RITZ, K.; M.J SWIFT, M.J.** 2008. Soil health in agricultural systems. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363(1492):685-701
- KIRSCHENMANN, F.** 2007. Potential for a New Generation of Biodiversity in Agroecosystems of the Future. *Agronomy Journal* 99( 2):373-376
- KRISHNAMURTHY, L.** 2000. Diseño y manejo de sistemas agroforestales con una gran diversidad de especies para la producción sostenible. *RED Gestión de Recursos Naturales* (21): 32-43
- KRUSE, M.; STRANDBERG, M.; STRANDBERG, B.** 2000. Ecological Effects of Allelopathic Plants– a Review. NERI Technical Report, No. 315 Department of Terrestrial Ecology. Denmark. 64 p
- LAL, R.** 2008. Carbon sequestration. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363(1492):815-830
- LAMB, D.; ERSKINE, P.D.; PARROTTA, J.A.** 2005. Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science* 310(5754):1628-1632
- LEIRANA-ALCOCER, J.; HERNÁNDEZ-BETANCOURT, S.; SALINAS-PEBA, L.; GUERRERO-GONZÁLEZ, L.** 2009. Cambios en la estructura y composición de la vegetación relacionados con los años de abandono de tierras agropecuarias en la selva baja caducifolia espinosa de la reserva de Dzilam, Yucatán. *Polibotánica (Méx.)* (27): 53-70
- LEVY, S.; HERNÁNDEZ-X., E.** 1992. La sucesión secundaria y su manejo en el sistema roza-tumba-quema. *En: D. Zizumbo, Ch. Rasmussen, L.M. Arias, S. Terán (Eds.) La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad. III. Racionalidad Tecnológica e Innovaciones.* Pp. 203-214
- LIEBIG, M. A.; TANAKA, D. L.; KRUPINSKY, J. M.; MERRILL, S. D.; HANSON, J. D.** 2007. Dynamic cropping systems: contributions to improve agroecosystem sustainability. *Agronomy Journal.* 99(4):899–903
- LINARES, J.; VERA, Y.** 2009. Efecto de la Asociación de dos cultivos de cobertura (*Lablab purpureus* y *Sorghum bicolor*) en la Supresión de Malezas y la Materia Orgánica del Suelo. *Rev. Bras. De Agroecología* 4(2):2132-2136

- LIZÁRRAGA, H.; SOLORIO, J.; SANDOVAL, C.** 2001. Evaluación agronómica de especies arbóreas para la producción de forraje en la Península de Yucatán. *Livestock Research for Rural Development* 13 (6): 1-11
- MACÍAS, F.A.; MOLINILLO, J.M.G.; OLIVEROS-BASTIDAS, A.; MARÍN, D.; CHINCHILLA, D.** 2004. Allelopathy: a natural strategy for weed control. *Comm. Appl. Biol. Sci.* 69(3):13-23
- MACKENZIE, A.; BALL, A.S.; VIRDEE, S.R.** 1998. *Instant Notes in Ecology*. Bios Scientific Publishers. Springer, UK, 333 p
- MALHI, Y.; MEIR, P.; BROWN, S.** 2002. Forests, carbon and global climate. *Philos. Transact. A. Math. Phys. Eng. Sci.* 360(1797):1567-91
- MALTAS, A.; CORBEELS, M.; SCOPEL, E.; WERY, J.; MACENA DA SILVA, F.A.** 2009. Cover Crop and Nitrogen effects on maize productivity in no-tillage systems of the Brazilian Cerrados. *Agronomy Journal*. 101(5):1036-1046
- MARIACA, R.** 1992. El papel de la fertilidad del suelo en el sistema roza-tumba-quema. En D. Zizumbo, Ch. Rasmussen, L.M. Arías, S. Terán (Eds.). *La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad. III. Racionalidad Tecnológica e Innovaciones*. Pp. 215-226
- MELOTTO, A-; NICODEMO, M.L.; ANGHINONI, R.; ANTÔNIO, V. ; MARQUES, M.; DIAS, D.; POTT, A.; DA SILVA, V.** 2009. Sobrevivência e crescimento inicial em campo de espécies florestais nativas do Brasil Central indicadas para sistemas silvipastoris. *R. Árvore, Viçosa-MG* 33(3):425-432
- MENALLED, F.; SMITH, R.; DAUER, J.; FOX, T.** 2007. Impact of agricultural management on carabid communities and weed seed predation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118(1):49–54
- MILLER, F.** 2008. After 10,000 Years of Agriculture, Whither Agronomy?. *Agronomy Journal* 100(1):22–34
- MOHAMMADI, G.R.** 2010. Weed control in irrigated corn by hairy vetch interseeded at different rates and times. *Weed Biology and Management* 10(1):25-32
- MOHLER, CH. ; STONER, K.** 2009. Guidelines for intercropping. C. *En: Ch. Mohler y S.E. Johnson (Eds.). Crop rotation on organic farms. A planning manual*. Chapter 6. NRAES 177. USA. Pp. 95-100
- MONTAGNINI, F.** 2000. Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. *For. Ecol. Managem.* 134(1-3):257-270
- MONTAGNINI, F.; JORDAN, C.** 2005. *Tropical forest ecology. The basis for conservation and management*. Springer. Berlin. 53 p

- MONTAGNINI, F.; UGALDE, L.; NAVARRO, C.** 2003. Growth characteristics of some native tree species used in silvopastoral systems in the humid lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 59(2):163–170
- MONTAÑEZ-ESCALANTE, P.; GARCÍA-BARRIOS, L.; JIMÉNEZ-OSORNIO, J.; NAHED-TORAL, J.** 2009. Establecimiento de asociaciones arbóreas con caoba y ramón en Una cantera abandonada en Yucatán, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10(2): 177-183
- MUBIRU, D.N.; COYNE, M.S.** 2009. Legume Cover Crops are More Beneficial than Natural Fallows in Minimally Tilled Ugandan Soils. *Agronomy Journal* 101(3):644-652
- NAIR, P.K.R.** 2004. Agroforestry: Trees in support of sustainable agriculture. *En:* Hillel, H., Rosenzweig, C., Powlson, D., Scow, K., Singer, M., and Sparks, D. (eds.), *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier, London, U.K. Pp. 35-44
- NAVAS, G. Y DELGDO, H.** 2003. La vitabosa (*Mucuna deeringianum*) y su efecto herbicida en los cultivos anuales. CORPOICA. Plegable divulgativo No. 37. Meta, Colombia. 4 p
- NDUFA, J.; GATHUMBI, S.; KAMIRI, H.; GILLER, K.; CADISCH, G.** 2009. Do Mixed-Species Legume Fallows Provide Long-Term Maize Yield Benefit Compared with Monoculture Legume Fallows? *Agronomy Journal* 101(6):1352-1362
- NGOUAJIO, M.; MCGIFFEN, M.E.** 2002. Going organic changes weed population dynamics. *Hort. Technol.* 12(4): 590-596
- NICHOLS, J.D.; BRISTOW, M.; VANCLAY, J.K.** 2006. Mixed-species plantations: prospects and challenges. *Forest Ecology and Management* 233(2-3):383–390
- NYAMBATI, E.M.; SOLLENBERGER, L.E.** 2003. Nutritive value of top-canopy herbage of *Mucuna* and lablab relay cropped in maize in the sub-humid highlands of northwestern Kenya. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 1(2-3);81-86
- ODUNZE, A.C.; TARAWALI, S.A.; DE HAAN, N.C.; AKOUEGUON, E.; AMADJI, A.F.; SCHULTZE-KRAFT, R. ; BAWA, G.S.** 2004. Forage legumes for soil productivity enhancement and quality fodder production. *Food, Agriculture and Environment* 2(2):201-209
- ONYANGO, R.; MWANGI, T.; N'GENY, J.; LUNZALU, E.; BARKUTWO, J.** 2001. Effect of relaying green manure legumes on yields of intercropped maize in smallholders farms of trans Nzoia district, Kenya. Seventh Eastern and Southern Africa Maize Regional Conference. 11-15 february 2001. Pp. 330-334

- OTERO-ARNAIZ, A.; CASTILLO, S.; MEAVE, J.; IBARRA-MANRIQUE, G.** 1999. Isolated pasture trees and the vegetation under their canopies in the Chiapas Coastal Plain, Mexico. *Biotropica* 31(2): 243-254
- PADILLA, C.; RUIZ, T.; CINO, D.F.; CURBELO, F.** 1999. Producción de granos y forrajes mediante el intercalamiento de cultivos temporales durante el establecimiento de *Leucaena* y la recuperación de *Cynodon nlemfuensis*. *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 33(3):331
- PARSONS, D.; RAMÍREZ-AVILÉS, L.; CHERNEY, J.; KETTERINGS, Q.; BLAKE, R.; NICHOLSON, CH.** 2009. Managing maize production in shifting cultivation milpa systems in Yucatan, through weed control and manure application. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 133(1-2):123–134
- PAYNE, W.J.A.** 1985. A review of the possibilities for integrating cattle and tree crop production systems in the tropics. *Forest Ecology and Management* 12(1):1-36
- PERFECTO I.; VANDERMEER J.** 2008. Biodiversity conservation in tropical agroecosystems: a new conservation paradigm. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1134(1):173-200
- PERRY, C.H.; WOODALL, C.W.; LIKNES, G.C.; SCHOENEBERGER, M.M.** 2009. Filling the gap: improving estimates of working tree resources in agricultural landscapes. *Agroforestry Systems* 75(1):91–101
- PETIT, J.; CASANOVA, F.; SOLORIO, FRANCISCO.** 2010. Asociación de especies arbóreas forrajeras para mejorar la productividad y el reciclaje de Nutrimientos. *Agricultura Técnica en México* 35(1):107-116
- PHILIPP, D.; GAMBOA, W.** 2003. Observaciones sobre el sistema maíz-Mucuna en laderas Waslala, región atlántica de Nicaragua. *Agronomía Mesoamericana* 14(2):213-221
- PHILLIPS, C.; SORENSEN, J.** 1993. Sustainability in cattle production systems. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 6(1): 61-73.
- PIESSE, J.; THIRTLE, C.** 2010. Agricultural R&D, technology and productivity. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 365(1554):3035-3047
- PIMENTEL, D.** 1985. Pests and their Control. *En: N. Bushan Mandava (Ed.). Handbook of Natural Pesticides: Methods. Vol. I, Theory, Practice, and Detection. Ed., CRC Press, Boca Raton, FL. (s.p.)*
- POOL, N.L.; HERNÁNDEZ, X.E.** 1995. Los contenidos de materia orgánica de los suelos en áreas bajo el sistema de roza- tumba-quema: Importancia del muestreo. *En: Hernández X; Bello BE; Levy TS. eds. La milpa en Yucatán. Un sistema de producción agrícola tradicional. Colegio de Postgraduados Estado de México. Tomo I. Pp. 109-124*

- POWER, A.** 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 365(1554):2959-2971
- PRETTY, J.** 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 363(1491):447-65  
productivity of maize (*Zea mays*)–wheat (*Triticum aestivum*) cropping system. *Nutr Cycl Agroecosyst* 86(1):39–52
- PROULX, S.; PROMISLOW, D.; PHILLIPS, P.** 2005. Network thinking in ecology and Evolution. *Trends in Ecology and Evolution* 20(6):346-353
- QINGREN WANG, Q.; KLASSEN, W.; LI, Y.; CODALLO, M.** 2009. Cover crops and organic mulch to improve tomato yields and soil fertility. *Agronomy Journal.* 101(2):345-351
- QUIROGA-MADRIGAL, R.R.** 2000. Effects of maize (*Zea mays* L.) cropping systems and tropical legumes on soil chemical and biochemical properties and suppressiveness to soilborne plant pathogens. Ph. D. Thesis, Auburn Alabama. 146 p
- RADCLIFFE, E.; HUTCHISON, W.; CANCELADO, R. (Eds.)** 2008. Integrated Pest Management: Concepts, Tactics, Strategies and Case Studies. Cambridge University Press. 529 p
- RAO, M.R.; MATHUVA, M.N.** 2000. Legumes for improving maize yields and income in semi-arid Kenya. *Agriculture. Ecosystems and Environment* 78(2):123–137
- READ, L.; LAWRENCE, D.** 2003. Litter Nutrient Dynamics During Succession in Dry Tropical Forests of the Yucatan: Regional and Seasonal Effects. *Ecosystems* 6(8): 747–761
- RICE, S.** 1984. Allelopathy. (2a.) Academic Press. Orlando, Fla. USA. 422 p
- RIZVI, S. J. H.; RIZVI, V.** 1992. Exploitation of allelochemicals in improving crop productivity. *En: Rizvi, S. J. H. and Rizvi, V., (Eds.). Allelopathy: Basic and Applied Aspects.* Chapman and Hall, London. Pp. 443–472
- RODRÍGUEZ DEL BOSQUE, L.A.** 2008. Fundamentos ecológicos del manejo integrado de plagas. *En: J. Toledo y F. Infante (Eds.). Manejo Integrado de Plagas.* Cap. 2. Trillas. México, D.F. Pp. 34-46
- RUSSELLE, M.; FRANZLUEBBERS, A.** 2007. Introduction to “Symposium: Integrated Crop–Livestock Systems for Profit and Sustainability” *Agronomy Journal.* 99(2):323–324
- SANDOVAL-CASTRO, C.A.; HERRERA, P.; CAPETILLO-LEAL, C.M.; AYALA-BURGOS, A.J.** 2003. In vitro gas production and digestibility of *Mucuna* vean. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 1(2-3): 77-80

- SCHERR, S.J.; MCNEELY, J.A.** 2008. Biodiversity conservation and agricultural sustainability: towards a new paradigm of 'ecoagriculture' landscapes. *Phil. Trans. R. Soc.B. Biol. Sci.* 363(1491):477-94
- SCHOENEBERGER, M. M.** 2009. Agroforestry: working trees for sequestering carbon on agricultural lands. *Agroforestry Systems* 75(1):27–37
- SHARMA, A. R.; BEHERA, U. K.** 2010. Green leaf manuring with prunings of *Leucaena leucocephala* for nitrogen economy and improved productivity of maize (*Zea mays*)–wheat (*Triticum aestivum*) cropping system. *Nutr. Cycl. Agroecosyst* 86(1):39–52
- SHENNAN, C.** 2008. Biotic interactions, ecological knowledge and agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363(1492):717-739
- SHIYOMI, M.; KOIZUMI, H. (Eds.)**. 2001. Structure and function in agroecosystem design and management. CRC Press, New York. 456 p
- SMITH, PETE; MARTINO, D.; CAI, Z.; GWARY, D.; JANZEN, H.; KUMAR, P.; MCCARL, B.; OGLE, S.; O'MARA, F.; RICE, CH.; SCHOLE, B.; SIROTENKO, O.; HOWDEN, M.; MCALLISTER, T.; PAN, G.; ROMANENKOV, V.; SCHNEIDER, U.; TOWPRAYOON, S.; WATTENBACH, M.; SMITH, J.** 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363(1492):789-813
- STEINFELD, H.; GERBER, P; WASSENAAR, T; CASTEL, V.; ROSALES, M.; DE HAAN, C.** 2006. Livestock's role in climate change and air pollution. *En: Livestock's long shadow: environmental issues and options.* Chapter 3. FAO. Pp. 79-123
- SUSTAINABLE AGRICULTURAL NETWORK.** 2007. Managing Cover Crops Profitably. Sustainable Agricultural Network Beltsville. Handbook Series Book 9 (3a.). Pp. 9-24
- TEJEDA-CRUZ, C.; SILVA-RIVERA, E.; BARTON, J.R.; SUTHERLAND, W.J.** 2010. Why shade coffee does not guarantee biodiversity conservation. *Ecology and Society* 15(1): 13
- TERÁN, S.** 1992. La modernización de la milpa yucateca: utopía o realidad. *En: D. Zizumbo, Ch. Rasmussen, L.M. Arias, S. Terán (Eds.) La Modernización de la Milpa en Yucatán: Utopía o Realidad. Introducción.* Centro de Investigación Científica de Yucatán. Mérida, Yucatán, Méx. Pp. 21-25
- TERÁN, S.; RASMUSSEN, H.** 1992. La milpa bajo roza-tumba-quema en el siglo XVI. *En D. Zizumbo, Ch. Rasmussen, L.M. Arias, S. Terán (Eds.). La modernización de lamilpa en Yucatán: utopía o realidad I. Aspectos históricos.* Pp. 29-54
- THE ROYAL SOCIETY.** 2009. Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture. The Royal Society. Science Policy. London. 86 p

- THORNTON, PH.** 2010. Livestock production: recent trends, future prospects. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 365(1554):2853-2867
- TOLEDO, V. M.** 2004. La ecología rural. *Ciencia y Desarrollo* 174: 36-43.
- TORRES, F.; PIÑEIRO, M.; TRIGO, E.; MARTÍNEZ-NOGUEIRA, R.** 2000. Agriculture in the early XXI century; agrobiodiversity and pluralism as a contribution to address issues on food security, poverty and natural resource conservation. Reflections on its nature and implications for global research. GFAR. Document No. GFAR/00/08. Dresden, Germany. 39 p
- TSCHARNTKE, T.; SEKERCIOGLU, C.H.; DIETSCH, T.V.; SODHI, N.S.; HOEHN, .P.; TYLIANAKIS, J.M.** 2008. Landscape constraints on functional diversity of birds and insects in tropical agroecosystems. *Ecology.* 89(4):944-51
- UNO.** 2004. Millennium Project. United Nations Organization. Washington, D.C. U.S.A.
- VANDERMEER, J.; PERFECTO, I.** 2007. The agricultural matrix and a future paradigm for conservation. *Conservation Biology* 21(1):274-277
- VANDERMEER J.; PERFECTO, I.; PHILPOTT, S.; CHAPPELL, M.J.** 2007. Reenfocando la conservación en el paisaje: la importancia de la matriz. *En: C.A. Harvey y J.C Sáenz (Eds.). Evaluación y conservación de la biodiversidad en paisajes fragmentados en Mesoamérica.* INBio Heredia, Costa Rica. Pp. 75-104
- WADE, M.; GURR, G.M.; WRATTEN, S.D.** 2008. Ecological restoration of farmland: progress and prospects. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 363(1492):831-847
- WALLER, G. R. (Ed.)** 1987. Allelochemicals: Role in Agriculture and Forestry. ACS, Symposium Series 330, Washington, D.C. 606 p.
- WESTON, L. A.** 1996. Utilization of allelopathy for weed management in agroecosystems. Allelopathy in cropping systems. *Agronomy Journal* 88(6):860-866
- WESTON, L.A.; DUKE, S.O.** 2003. Weed and crop allelopathy. *Critical Reviews in Plant Sciences* 22(3-4) :367 – 389
- WOOD, D.** 1993. Forests to fields. Restoring tropical lands to agriculture. *Land Use Policy.* 10(2):91-107
- WOODS, J.; WILLIAMS, A. ;HUGHES, J. K.; BLACK, M.; MURPHY, R.** 2010. Energy and the food system. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 365(1554):2991-3006
- WU, H., PRATLEY, J., LEMERLE, D. & HAIG, T.** 1999. Crop cultivars with allelopathic capability. *Weed Research* 39(3):171-180
- XIONG, S.H.; NILSSON, CH.** 1999. The effects of plant litter on vegetation: a meta-analysis. *Journal of Ecology* 87(6): 984-994

- ZIZUMBO, D.** 1992. Prefacio. *En* D. Zizumbo, Ch. Rasmussen, L.M. Arias, S. Terán (Eds.). La modernización de lamilpa en Yucatán: utopía o realidad I. Aspectos históricos. Pp.13-18
- ZOTARELLI, L. ; AVILA, L.; SCHOLBERG, J.M.; ALVES, B. J.** 2009. Benefits of Vetch and Rye Cover Crops to Sweet Corn under No-Tillage. *Agronomy Journal*. 101(2):252–260