



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

CENTRO DE AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE

**BARBECHOS CULTIVADOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
AGRICULTURA MAICERA DE ROZA, TUMBA Y QUEMA
EN EL SUR DE YUCATÁN**



E S I S

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS EN
AGROFORESTERÍA PARA EL
DESARROLLO SOSTENIBLE**

PRESENTA

ALEJANDRO AYALA SÁNCHEZ



**DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO. ABRIL DE 2002

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

BIB 97394

**BARBECHOS CULTIVADOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
AGRICULTURA MAICERA DE ROZA, TUMBA Y QUEMA EN EL SUR DE
YUCATÁN**

Tesis realizada por **Alejandro Ayala Sánchez** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

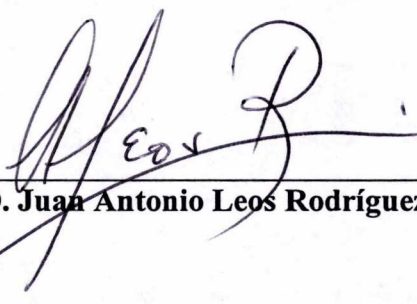
**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROFORESTERÍA PARA EL DESARROLLO
SOSTENIBLE**

DIRECTOR:



Ph.D. Laksmi Reddiar Krishnamurthy

ASESOR:



Ph.D. Juan Antonio Leos Rodríguez

ASESOR:



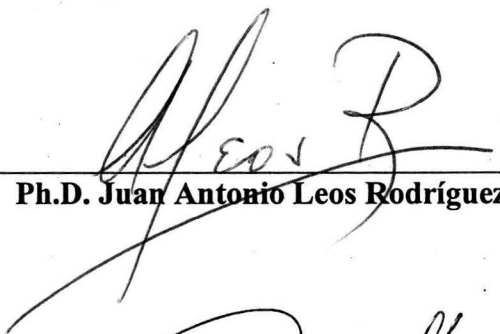
M.C. Jorge Alberto Basulto Graniel

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

**BARBECHOS CULTIVADOS PARA EL MEJORAMIENTO DE LA
AGRICULTURA MAICERA DE ROZA, TUMBA Y QUEMA EN EL SUR DE
YUCATÁN**

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **Alejandro Ayala Sánchez**, autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, estuvo constituido por:

PRESIDENTE : 
Ph.D. Laksmi Reddiar Krishnamurthy

ASESOR: 
Ph.D. Juan Antonio Leos Rodríguez

ASESOR: 
M. C. Jorge Alberto Basulto Graniel

DEDICATORIAS

Para Rosario y Emmanuel Alejandro:

“... sutil; llegaste a darme felicidad eterna y a salvar mi alma...”

“... pequeño y tierno; bastó una sonrisa, un abrazo y un beso...”

Así habla mi corazón para dos de las personas más importantes que en él habitan. Rosario, eres mi fuente de inspiración, porque te amo; Emmanuel, te me has vuelto un reto y me llenas de orgullo.

Para Lorenza, sus hijos e hijas y las hijas de sus hijas:

Se llama Lorenza, pero el mundo le dice “Lenchita”. Siempre me he preguntado si habrá otra persona a la que la gente quiera tanto, y si mi Madre algún día se cansará de regalar cariño. Sus hijos e hijas no cantan mal las rancheras: Crisóforo, no se cansa de ser feliz y cansa a la gente de tanto reír; Gerardo, le gusta regalar; Florina, es de dulce carácter y alma bondadosa, es la otra mamá; Inocencia, tiene alta capacidad de trabajo y le gusta compartir; Bernarda, es la más chiquita, la más canija, la más fuerte y la más dulce.

Y las hijas de las hijas - “mis arañas” - son mis figuras de felicidad, inquietas, ruidosas, tercas, amables y tiernas. Rubí, su nombre lo dice todo; Wendy, jaguas; Hazel, es marciana; Martha Patricia, nació adulta; Beatriz Alejandra, es dueña de sí misma; y Ana Luisa, acaba con todos. Y si hasta sus papás las quieren, cómo no entender que yo las adore.

Para los Dueños de la Agroforestería:

De parte de un mal agrónomo y campesino escapista. Mi padre me llevaba a las parcelas del ejido, donde me llenaba los pulmones de aire limpio y los ojos de verde y amarillo; luego estudié agronomía y me hice investigador agropecuario, pero nunca he cultivado.

A Ustedes, milperos, mis respetos: del bosque son expertos, ecólogos de los buenos y eficientes agricultores. Saben manejar la selva y el suelo, y cuidándolos, hacen que produzcan maíz, frijol y hortalizas; aprovechando hasta donde lo necesitan, extraen palos, guano y bejucos para construir sus casas, gallineros y corrales; usan racionalmente las forrajeras para alimentar su ganado, las medicinales para su salud, las ramas y troncos para leña y carbón y cazan para alimentar a sus familias. El sincretismo que practican entre los dioses mayas del bosque y los santos católicos, así como la amalgama que hacen de los conocimientos empíricos y técnicos, les capacita para ser los dueños de la agroforestería; combinando los productos y los servicios de los árboles con los cultivos y los animales, reducen la competencia entre componentes y aumentan la complejidad de la milpa, haciéndola viable y sustentable para sus propósitos.

Con todo mi cariño, respeto, agradecimiento y admiración para los que arriba menciono, dedico esta tesis.

AGRADECIMIENTOS

Con humildad, doy mi más profundo agradecimiento, amistad y lealtad a las instituciones y a las personas que me brindaron su apoyo incondicional para la realización de la maestría en ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible así como para la culminación de esta tesis. Son tantos que con justicia no cabrían en este espacio; por esta razón menciono de manera formal sólo a los siguientes:

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por otorgarme las facilidades para la realización de esta maestría en ciencias y la tesis correspondiente. Sus apoyos de tramitación, económicos y laborales fueron decisivos y acrecientan mi orgullo de pertenecer a esta Institución de investigación.

A la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), enfáticamente a su personal académico, administrativo y de servicios; a todos ellos gracias por su amistad, por los conocimientos recibidos, por su siempre amable y eficiente trato, y por los múltiples apoyos económicos y de servicios que otorgaron a mi persona.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por los recursos económicos otorgados a través de la beca económica número 137953, y el soporte parcial del trabajo de campo mediante el proyecto 32778-B denominado “Investigación Participativa sobre Barbechos Mejorados para el Mejoramiento de la Milpa en la Zona Maya”. Lo anterior facilitó sobremanera el cambio de residencia y aseguró el bienestar familiar, permitiéndome así enfocar mi concentración en los estudios y el trabajo de investigación. Por la tranquilidad proporcionada y el eficiente servicio, mil gracias.

A la Fundación Yucatán Produce, A. C., por sus aportes económicos para el establecimiento, la conducción, la evaluación y la difusión de los resultados de estos experimentos a través del proyecto de Leguminosas Mejoradoras del Suelo como Alternativa a la Milpa (Roza, Tumba y Quema) en Yucatán. Su apoyo e interés en las tecnologías innovadoras para los campesinos maiceros han sido relevantes.

A los coordinadores, profesores, secretarias y personal de servicio de la maestría en ciencias en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible y del Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible (CADS) de la UACH; por su amistoso y profesional desempeño distingo a los Drs. Juan Antonio Leos Rodríguez, Hugo Ramírez Maldonado, Laksmi Reddiar Krishnamurthy, Miguel Ángel Musalem Santiago, Jaime Sahagún Castellanos, José Luis Romo Lozano, Diódoro Granados Sánchez, Joel Pérez Nieto y Enrique Leff Zimmerman, a los MM.CC. Elsa Cervera Backhauss, Luis Pimentel Bribiesca y Jorge Luis Castrellón y a la señorita Dolores Coronel Sánchez y las señoras Yildis Almaráz Oviedo y Alejandra Mendoza Colín.

Con una mención especial, quiero agradecer la asesoría y los apoyos directos en la tramitación, la revisión y ayuda en campo para la realización de esta tesis al Dr. L. Krishnamurthy, Director del CADS, al Dr. Juan Antonio Leos Rodríguez, Coordinador General de Estudios de Postgrado de la UACH y al M.C. Jorge Alberto Basulto Ganiel, jefe del Campo Experimental Uxmal en el CIR Sureste del INIFAP.

Finalmente, mi admiración y agradecimiento al Sr. Evelio Cortés, mayordomo del Campo Experimental Uxmal del INIFAP y su equipo de trabajadores, por su entrega al trabajo de campo, su capacidad de organización y su interés y atención al mantenimiento y la conducción de los dos experimentos que conforman esta tesis. Su ayuda y esfuerzos son invaluable. Gracias Evelio.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació en Cuernavaca, Morelos; el sexto y último hijo de Lorenza Sánchez Carnalla, una campesina ganadera emigrada a la ciudad y Valentín Ayala Esquivel, ejidatario arrocero y músico orquestal. Pasó su niñez entre su pueblo natal, Acapantzingo, y las parcelas que su padre rentaba, pagando la mano de obra que las cultivaban. Cuenta su madre que de muy pequeño quería ser “pelador de gallinas” y toda vez que inició sus estudios de nivel medio superior, soñó convertirse en “vaquero”.

Alejandro Ayala, estudió su primaria en la escuela Prof. Estanislao Rojas Zúñiga, donde nunca se distinguió; luego, cursó dos años en la secundaria tecnológica No 1 del Pentatlón Deportivo Militarizado, donde poco estudió pero aprendió a dar maromas y jugar fútbol; terminó la secundaria en la escuela Isidro Fabela, quedando arrepentido de gastar el dinero en las colegiaturas y traumatado por reprobar materias. Con tres años de vagancia encima, decidió estudiar el bachillerato en ciencias agropecuarias, buscando hacerse de una beca, la que consiguió a través del Lic. Carlos Figueroa, amigo de la familia. Estudió fuerte en la preparatoria Ignacio de Loyola y terminó bien en el Bachillerato Nocturno No 1 de la Universidad Autónoma de Morelos. Luego intentó su ingreso a la UACH, pero terminó cursando toda su licenciatura de Ingeniero Agrónomo Zootecnista en el Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero (CESAEGRO). En 1984, el M.Sc. Armando Peralta Martínez, entonces profesor del CESAEGRO y coordinador del programa forrajes de la zona sur del INIA, lo animó a presentar el examen de ingreso a ese instituto de investigación, hoy INIFAP.

Su trayectoria profesional es de 16 años en investigación agropecuaria. Fue encargado del programa de forrajes tropicales en Yucatán, coordinando acciones con las Redes de Pastos Nacional del INIFAP y la Latinoamericana y del Caribe del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Sus aportes tuvieron que ver con la evaluación agronómica y la difusión de nuevo germoplasma forrajero; sus logros fueron recibir 7 meses de capacitación científica en el CIAT, impartir 25 conferencias y publicar 40 resúmenes, 4 notas de investigación, 9 artículos y 4 folletos.

Desde 1994 a la fecha, Ayala se ha desempeñado como investigador agroforestal. Fue colaborador del Centro Internacional para la Investigación en Agroforestería (ICRAF) durante cinco años, diseñando y conduciendo la investigación participativa sobre barbechos mejorados con campesinos maiceros; después, quedó a cargo de un proyecto de investigación con el INIFAP sobre barbechos mejorados con arbustivas y rastreras. Como agroforestal, participó en el curso de capacitación internacional de la UACH; así como en 23 talleres y reuniones de trabajo con el ICRAF realizados en México, Kenia y Perú; ha dictado 9 conferencias y generado 16 publicaciones agroforestales, que incluyen dos artículos en la revista *Agroforestería en las Américas*, una nota de investigación en *Agroforestry Today* y un artículo como coautor en la prestigiosa revista *Development in Practice*.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. La agricultura maicera de roza, tumba y quema en Yucatán	3
2.1.1. Características del sistema maicero	3
2.1.2. Regeneración del barbecho natural	4
2.1.3. Recuperación de la fertilidad del suelo	6
2.1.4. Dinámica de malezas	9
2.1.5. Rendimiento de maíz	11
2.1.6. Productos secundarios del barbecho	15
2.2. Los barbechos mejorados o cultivados	16
2.2.1. Definición y características	16
2.2.2. Mejoras físicas y químicas del suelo.....	18
2.2.3. Mejoras biológicas del suelo.....	25
2.2.4. Mejoras en rendimiento de cultivos	26
2.2.5. Otros beneficios socioeconómicos.....	28
2.3. Innovaciones y componentes tecnológicos para la milpa	31
2.3.1. Innovaciones tecnológicas disponibles.	31
2.3.2. Variedades mejoradas de maíz en Yucatán.....	34
2.3.3. Leguminosas nativas arbustivas y arbóreas	36
2.3.4. Leguminosas de cobertera.....	44
2.4. La agroforestería para el mejoramiento de la milpa.....	46
2.4.1. Funciones y objetivos de la agroforestería.....	47
2.4.2. La estrategia agroforestal para la milpa	47

2.4.3. La participación de campesinos maiceros.....	48
2.4.4. Productos y beneficios socioeconómicos.....	50
3. PROBLEMÁTICA MAICERA	52
4. OBJETIVOS	52
5. HIPÓTESIS.....	53
6. METODOLOGÍA	54
6.1. Características ecológicas del estado de Yucatán.	54
6.2. Exp. I. Evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz .58	
6.2.1. Localización y duración del experimento.	58
6.2.2. Preparación del terreno y establecimiento	59
6.2.3. Diseño experimental y tratamientos.....	60
6.2.4. Labores Culturales	60
6.2.5. Variables de respuesta.....	61
6.2.6. Análisis de los datos.....	62
6.3. Exp. II. Evaluación de arbustivas y arbóreas para la producción de maíz.....	62
6.3.1. Localización y duración del experimento.	62
6.3.2. Preparación del terreno y establecimiento	63
6.3.3. Diseño experimental y tratamientos.....	63
6.3.4. Labores culturales	64
6.3.5. Variables de respuesta.....	65
6.3.6. Análisis de datos	66
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
7.1. Exp. I. Evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. 67	
7.1.1. Establecimiento y desarrollo de leguminosas.	67
7.1.2. Establecimiento y desarrollo de maíz.	72
7.1.3. Efecto sobre la incidencia de malezas.....	77
7.1.4. Efecto sobre el rendimiento de grano y la calidad de mazorcas.	79
7.1.5. Beneficios biofísicos, sociales, ecológicos y económicos.	89
7.2. Exp. II. Evaluación de arbustivas y arbóreas para la producción de maíz.....	91

7.2.1. Establecimiento y desarrollo de las arbustivas y arbóreas.....	91
7.2.2. Efecto de las arbustivas y arbóreas sobre la incidencia de malezas.....	98
7.2.3. Efecto sobre el desarrollo de plantas de maíz.	99
7.2.4. Rendimiento de grano y la calidad de mazorcas.	103
7.2.5. Capacidad de rebrote de las arbustivas y arbóreas en maíz.	105
7.2.6. Beneficios biofísicos, sociales, ecológicos y económicos.	109
8. CONCLUSIONES	111
9. RECOMENDACIONES	114
10. LITERATURA CITADA	116
11. ANEXOS	126

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Rendimiento de maíz bajo las condiciones de los productores milperos de Yucatán.....	12
Cuadro 2. Erosión (ton/ha/año) del suelo en bosque natural lluvioso y en agricultura de RTQ.....	18
Cuadro 3. Densidad aparente del suelo (g/cm ³) en función del periodo del barbecho de S. sesban en Chipata, Zambia.	19
Cuadro 4. Efecto del barbecho mejorado sobre la disponibilidad de N en el Este de Zambia.	23
Cuadro 5. Efecto del barbecho sobre las poblaciones de lombriz de tierra de cero a 30 cm y micro-artrópodos de cero a 6 cm.	26
Cuadro 6. Tratamientos en evaluación en el experimento de leguminosas de cobertera para la producción de maíz, Muna, Yucatán.	61
Cuadro 7. Tratamientos en evaluación en el experimento de leguminosas arbóreas y arbustivas para la producción de maíz. Muna, Yucatán.	65
Cuadro 8. Cobertura (%) de leguminosas en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1998 – 2000.....	68
Cuadro 9. Altura (cm) y biomasa (kg MS/ha) de leguminosas en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1999 – 2001.....	70
Cuadro 10. Altura (cm) de plantas de maíz en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1999 – 2001.....	73
Cuadro 11. Número de plantas de maíz por parcela en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1998 - 2001.....	75
Cuadro 12. Incidencia de malezas (kg MS/ha) en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 2000 - 2001.	78
Cuadro 13. Calidad y número total de mazorcas y rendimiento de grano de maíz en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1998.....	80

Cuadro 14. Calidad y número total de mazorcas y rendimiento de grano de maíz en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1999.....	81
Cuadro 15. Calidad y número total de mazorcas y rendimiento de grano de maíz en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 2000.....	83
Cuadro 16. Calidad y número total de mazorcas y rendimiento de grano de maíz en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 2001.....	84
Cuadro 17. Rendimiento (kg/ha) de grano de maíz por año y acumulado en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1998 - 2001.	87
Cuadro 18. Altura (cm) de leguminosas en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1996 - 2000.	92
Cuadro 19. Número de plantas de leguminosas por parcela en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1996 - 1999.....	94
Cuadro 20. Porcentaje de cobertura de leguminosas en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1997 - 2000.....	97
Cuadro 21. Incidencia de maleza (kg MS/ha) bajo dosel de las leguminosas en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1997 - 2000.....	100
Cuadro 22. Desarrollo de plantas de maíz en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 2000 - 2001.	102
Cuadro 23. Número y calidad de mazorcas y rendimiento de grano de maíz en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 2000.....	104
Cuadro 24. Número y calidad de mazorcas y rendimiento de grano de maíz en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 2001.....	106

Cuadro 25. Desarrollo de rebrotes y producción de leña de leguminosas en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 2000.....	107
Cuadro A.1. Características de los suelos Cambisol ródico en el estado de Yucatán.....	132
Cuadro A.2. Comentarios del Sr. Evelio Cortés sobre su experiencia en la conducción del experimento con leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, febrero de 2002.	135

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de los lotes experimentales para la evaluación de barbechos cultivados. Campo Experimental Uxmal, Muna, Yucatán, 1996 - 2001	58
Figura 2. Rendimiento de grano de maíz por año de controles, asociados y barbechos en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera. Muna, Yucatán, 1998 - 2001.	85
Figura 3. Rendimiento de grano de maíz por año para los controles, las especies y la aplicación o no de P en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera. Muna, Yucatán, 1998 - 2001.	88
Figura A.1. Precipitación, evaporación y deficiencia hídrica mensuales en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yuc., 1996.....	126
Figura A.2. Precipitación, evaporación y deficiencia hídrica mensuales en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yuc., 1997.....	126
Figura A.3. Precipitación, evaporación y deficiencia hídrica mensuales en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yuc., 1998.....	127
Figura A.4. Precipitación, evaporación y deficiencia hídrica mensuales en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yuc., 1999.....	127
Figura A.5. Precipitación, evaporación y deficiencia hídrica mensuales en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yuc., 2000.....	128
Figura A.6. Precipitación, evaporación y deficiencia hídrica mensuales en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yuc., 2001.....	128
Figura A.7. Temperaturas máxima, mínima y media mensuales promedio en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yucatán, 1996	129
Figura A.8. Temperaturas máxima, mínima y media mensuales promedio en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yucatán, 1997	129
Figura A.9. Temperaturas máxima, mínima y media mensuales promedio en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yucatán, 1998	130
Figura A.10. Temperaturas máxima, mínima y media mensuales promedio en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yucatán, 1999	130
Figura A.11. Temperaturas máxima, mínima y media mensuales promedio en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yucatán, 2000	131
Figura A.12. Temperaturas máxima, mínima y media mensuales promedio en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yucatán, 2001	131

Figura A.13. Distribución aleatoria de tratamientos en las parcelas del experimento sobre la evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1998.....	133
Figura A.14. Distribución aleatoria de tratamientos en las parcelas del experimento sobre la evaluación de arbustivas y arbóreas para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1996.....	134

RESUMEN

Con la meta de proporcionar opciones agroforestales para los milperos, se realizó el presente estudio en el sur de Yucatán entre los años de 1996 y 2001. Los objetivos de esta investigación fueron evaluar el establecimiento y el desarrollo, así como la capacidad de mejoramiento de la productividad de maíz, de dos leguminosas de cobertera asociadas al maíz o como barbecho corto, con o sin la aplicación de fósforo; y de 18 especies arbustivas o arbóreas como barbecho mejorado de cuatro años.

Dos experimentos se establecieron en un Cambisol ródico, bajo un diseño de bloques completos al azar y cuatro repeticiones. Los 14 tratamientos del primero consistieron en la asociación de *Mucuna pruriens* y *Canavalia ensiformis* con maíz, con y sin 100 kg/ha de P_2O_5 ; las mismas leguminosas en barbechos de uno y dos años, seguidos de maíz consecutivo, con y sin P; y dos controles de maíz consecutivo sin fertilizar y fertilizado con la fórmula 100-40-00. Los tratamientos del segundo experimento fueron los barbechos mejorados por cuatro años de: *Acacia gaumeri*, *A. glomerosa*, *Bauhinia divaricata*, *B. unguolata*, *Caesalpineia gaumeri*, *C. yucatanensis*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Lonchocarpus rugosus*, *L. yucatanensis*, *Mimosa bahamensis*, *Piscidia piscipula*, *Pithecellobium albicans*, *P. dulce*, *P. leucospermum*, *Senna octucifolia*, *S. racemosa*, *Sesbania sesban* y dos barbechos de vegetación natural. En los dos trabajos se midió el desarrollo de las leguminosas, la incidencia de malezas y el desarrollo y la productividad del maíz.

Las coberteras desarrollaron mejor ($P<0.05$) cuando se establecieron como barbecho corto de dos años. Las plantas de maíz fueron más altas ($P<0.05$) en monocultivo, aunque de similar desarrollo que las de *M. pruriens* con dos años de barbecho y aplicación de P. La maleza se redujo ($P<0.05$) con los dos años de barbecho de *M. pruriens* con P, un año de *C. ensiformis* sin P y la asociación de *M. pruriens* a maíz sin P. El rendimiento de maíz y calidad de mazorcas fueron mejores ($P<0.05$) en el maíz

cultivado consecutivamente, pero hacia el cuarto año, *M. pruriens* con dos años de barbecho y aplicación de P superó a los controles.

En las arbustivas y arbóreas el desarrollo de *L. leucocephala*, *C. yucatanensis* y *P. piscipula* fue mejor ($P < 0.05$) que el de las demás especies. La incidencia de malezas se redujo ($P < 0.05$) bajo el dosel de *L. leucocephala*, *P. dulce*, *S. racemosa*, *A. gaumeri* y *P. albicans*. Después del descanso el desarrollo del maíz se mejoró ($P < 0.05$) por el barbecho de *L. leucocephala*, *C. yucatanensis*, *S. racemosa*, *P. piscipula*, *P. albicans* y *M. bahamensis*. Las especies que más leña produjeron ($P < 0.05$) fueron *L. leucocephala*, *C. yucatanensis* y *P. piscipula*; y las que rebrotaron mejor después de la tumba ($P < 0.05$) fueron *L. leucocephala*, *A. gaumeri*, *M. bahamensis*, *P. leucospermum*, *P. albicans*, *S. octucifolia*, *C. yucatanensis* y *C. gaumeri*.

Se concluye que en cuatro años, el maíz fertilizado y el control acumularon más maíz, pero que estos tienden a la insostenibilidad después del tercer año; que las coberteras perjudican el desarrollo y la producción del maíz asociado o alternado, pero, que a partir del cuarto año, parece haber un beneficio de estas a favor de la producción de grano, especialmente en *M. pruriens* con dos años de barbecho y la aplicación P. Para el trabajo de arbóreas y arbustivas, después de seis años, se concluye que *L. leucocephala*, *C. yucatanensis* y *P. piscipula*, seguidas de *A. gaumeri*, *P. albicans* y *G. sepium*, se presentan como especies potenciales para usarse como barbechos mejorados en el sur de Yucatán, por su establecimiento y desarrollo, su capacidad de reducir la incidencia de malezas, sus beneficios al desarrollo y productividad del maíz así como a su productividad de leña y a su capacidad de rebrote después de la tumba.

Los barbechos cultivados con leguminosas son muy recomendables como alternativa para el mejoramiento de la milpa en el sur de Yucatán. El uso de esta tecnología agroforestal incrementa la producción de maíz, disminuye la incidencia de malezas y proporciona otros productos y servicios a las familias campesinas.

ABSTRACT

With the goal of contributing for better agroforestry options to the resource poor farmers practicing slash-burn agriculture, the present study was conducted during 1996 to 2001 in southern part of Yucatán state, Mexico. The objectives of the present research were to evaluate the establishment and growth of leguminous cover crops in association with maize or as short fallow, as well as its capacity to improve the productivity of maize with or without phosphorous application; and of 18 tree and shrub species as improved fallow of four years.

Two experiments were mounted on Cambisol using random blocks design with four repetitions. The fourteen treatments of the first experiment consisted of *Mucuna Pruriens* or *Canavalia ensiformis* in association with maize, with or without 100 kg/ha of P_2O_5 ; the same legumes in fallow for one or two years, followed by consecutive maize production, with or without P; and two controls of consecutive maize without fertilization and fertilized with 100-40-00 formula. The treatments of the second experiments consisted of improved fallow of four years with the following species: *Acacia gaumeri*, *A. glomerosa*, *Bauhinia divaricata*, *B. unguolata*, *Caesalpinia gaumeri*, *C. yucatanensis*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Lonchocarpus rugosus*, *L. yucatanensis*, *Mimosa bahamensis*, *Piscidia piscipula*, *Pithecellobium albicans*, *P. dulce*, *P. leucospermum*, *Senna octucifolia*, *S. racemosa*, *Sesbania sesban* and fallows of natural vegetation. The growth of the leguminous species, weed incidence, growth and productivity of maize were measured in the both experiments. The analysis of variance included the blocks, the treatments, and experimental error.

The results showed that the leguminous cover developed better ($P<0.05$) when established as two year fallow. The sole crop maize were taller ($P<0.05$), even though it was similar to the maize in association with *M. pruriens* with two year fallow and to those with P application. The weeds were significantly reduced ($P<0.05$) in the

following treatments: two year fallow of *M. pruriens* with P, one year fallow of *C. ensiformis* without P, and *M. pruriens* association with maize without P. The maize yield and the ear quality were better ($P<0.05$) in the both controls; but on the fourth year, those of the *M. pruriens* with two year fallow and that of with P application were superior.

The results of the experiment with tree and shrub species indicated that the growth of *L. leucocephala*, *C. yucatanensis* and *P. piscipula* was better ($P<0.05$) than the other species. The weed incidence was reduced ($P<0.05$) under *L. leucocephala*, *P. dulce*, *S. racemosa*, *A. gaumeri* and *P. albicans*. The maize growth was improved ($P<0.05$) by the fallow with *L. leucocephala*, *C. yucatanensis*, *S. racemosa*, *P. piscipula*, *P. albicans* and *M. bahamensis*. The following species produced more fuel wood in four years: *L. leucocephala*, *C. yucatanensis* and *P. piscipula*; and the species which sprouted better after slashing were *L. leucocephala*, *A. gaumeri*, *M. bahamensis*, *P. leucospermum*, *P. albicans*, *S. octucifolia*, *C. yucatanensis* and *C. gaumeri*.

Based on the quantitative analysis of the results of the present experimental research, it is concluded that the maize yield controls (sole crop), with or without fertilizer application, was more for the first three years and thereafter it declined; even though the maize yield in association with leguminous cover crops was lower during the initial phase, it seemed to improve from the fourth year onwards, in particular, of *M. pruriens* with two year fallow and P application. The following tree and shrub species showed as best fallow species suited to the biophysical conditions of southern, fuel wood production, re-sprouting capacity and their effect on increased maize yield: *L. leucocephala*, *C. yucatanensis*, *P. piscipula*, *A. gaumeri*, *P. albicans* and *G. sepium*.

The managed fallow with leguminous herb, shrub, and tree species is recommendable as a better alternative to the slash-burn agriculture in the southern part of Yucatan because this agroforestry alternative increases maize production, reduces weed incidence, and provides other products and services to the farmers.

1. INTRODUCCIÓN

En Yucatán, anualmente se talan y/o queman cerca de 150 mil hectáreas de bosque y vegetación secundaria para, en rotación con el descanso, dedicarlas al cultivo de maíz asociado a frijoles, calabaza y hortalizas. Este antiguo sistema es conocido como la milpa y su importancia radica en que productivamente, proporciona los productos agrícolas básicos de la dieta de las familias del área rural, así como excedentes para la venta y la alimentación de aves y cerdos de traspatio; pragmáticamente, la milpa está íntimamente relacionada con la cacería de fauna silvestre, la colecta de forrajes para la alimentación de bovinos de traspatio, la recolección de leña y la producción de carbón, así como con la obtención de palos, palmas y bejucos para la construcción de la vivienda; en lo cultural, la milpa representa la cosmología de los campesinos, y sus labores agrícolas - desde la selección del terreno hasta la cosecha - están precedidas por ceremonias de orden místico-religioso que se practican en forma individual, grupal o comunal, con la intervención del *h'men* o sacerdote maya.

La mayoría de los agricultores que depende de este sistema son ejidatarios. Los cambios al Artículo 27 constitucional de 1992, están promoviendo la parcelación y/o privatización de las tierras, hasta antes del orden comunal; además, las nuevas leyes agrarias y las regulaciones acordadas en el seno de la asamblea ejidal prohíben o limitan la tumba y quema de la vegetación alta, restringiendo la libre expansión de las milpas como respuesta natural al incremento de la presión poblacional y a los requerimientos de sustento familiar. Ante esto, los campesinos han adoptado períodos de cultivo continuos más largos, que en ocasiones llegan hasta los diez años, mientras que los períodos de barbecho se han vuelto progresivamente más cortos, reduciéndose a seis o hasta dos años. La consecuencia directa es un nivel de productividad que resulta insuficiente para satisfacer las necesidades básicas de las familias campesinas.

Se reconoce que la duración del período de descanso de un terreno está directamente relacionada con la fertilidad y la estructura del suelo, la incidencia de malezas y plagas, el rendimiento de los cultivos, y la obtención de productos secundarios. Desde la

perspectiva de los milperos, los principales problemas de la milpa son la infertilidad y la falta de humedad del suelo, la incidencia de malezas, las plagas y enfermedades, y consecuentemente, la baja productividad del grano.

Por otro lado, las recomendaciones y componentes tecnológicos para el mejoramiento de la producción de maíz no están siendo adoptadas por los agricultores, que a decir de los mismos, estas no remuneran adecuadamente la labor familiar, así que para cubrir sus necesidades de maíz, frijol y calabaza, sin erogaciones monetarias, ellos continúan con el sistema tradicional de cultivo.

En base a consultas con campesinos y de acuerdo al conocimiento técnico y a la experiencia de expertos e investigadores, la milpa necesita ser fortalecida y mejorada a través del uso de árboles y plantas que reciclen los nutrimentos del subsuelo, que tengan la capacidad de fijar N atmosférico, que cubran permanentemente el suelo, que reduzcan la pérdida acelerada de humedad en el suelo, que agobien y compitan contra las malezas, que mejoren la disponibilidad de P, y que además de estos servicios, generen productos útiles para el bienestar de las familias campesinas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La agricultura maicera de roza, tumba y quema en Yucatán

2.1.1. Características del sistema maicero

La milpa es un sistema de subsistencia que puede ser agrupado dentro de las tecnologías agroforestales secuenciales o agroforestería en rotación. Pérez-Toro (1981), Morley (1981), Hernández (1981), Vázquez (1981), Warman (1985) y CIAPY (1984) describen la importancia cultural y religiosa de la milpa en la Península de Yucatán, enfatizando los procesos de producción y la alta demanda de mano de obra del cultivo, así como su escasa redituabilidad económica.

En este sistema, la tierra bajo vegetación natural es limpiada mediante la quema para obtener un suelo rico en nutrimentos, en donde se practica el cultivo de maíz solo o asociado a granos y hortalizas de temporal por un período corto (dos a tres años) hasta que el suelo, víctima de la erosión y de la pérdida de nutrimentos por lixiviación o por remoción a través de la cosecha de cultivos, disminuye su fertilidad y comienza a verse fuertemente invadido por malezas de difícil control, entonces, es más provechoso abandonar el terreno para permitir una rápida regeneración de la vegetación; el campesino no puede regresar al mismo terreno después de 5 a 20 años, limpiándolo una vez más y repitiendo el ciclo (Bandy *et al.*, 1993; Nair, 1993; Torquebiau, 1993).

Si la presión sobre el uso de la tierra es baja existe un equilibrio con el medio ambiente natural, pero cuando la densidad de población es alta, la duración de los períodos de barbecho se reducen drásticamente y el sistema degenera, resultando en una seria erosión del suelo y en un descenso de su fertilidad y productividad (Bandy *et al.*, 1993; Nair, 1993).

Duch (1992), considera que existen evidencias que sugieren que la edad óptima de descanso es de alrededor de 16 años, y aunque Arias (1980), menciona que los agricultores de Yaxcabá, Yucatán, usaron en 1979 terrenos con un promedio de 16.7 años de descanso para la milpa, los rangos variaron entre tres y 50 años y el 64% de los

productores tenían terrenos con menos de 16 años de descanso. A nivel peninsular, el CIAPY (1984) determinó que el 87% de las milpas se habían establecido en terrenos con menos de 16 años de descanso y el ICRAF-México (datos inéditos, 1994) encontró que más del 90% de los agricultores de la Zona Maya de Quintana Roo y Calakmul en Campeche utilizan barbechos con 10 o menos años de descanso y que el 53 y el 98% de los milperos de estas zonas, respectivamente, están cultivando consecutivamente estos terrenos por tres o más años.

Es notoria la importancia que juega la duración del período de barbecho sobre la regeneración de la productividad del suelo (Nye and Greenland, 1960), aunque también deben ser considerados la naturaleza de la vegetación, las propiedades del suelo y la intensidad de manejo (Nair, 1993) El éxito del sistema de roza, tumba y quema (RTQ) está basado en el reciclaje de nutrimentos y en la supresión de malezas y plagas durante el período de barbecho (Bandy *et al.*, 1993) , de ahí que las sugerencias al mejoramiento y/o alternativas hayan enfatizado la importancia de retener o incorporar la vegetación leñosa en la fase de barbecho, y aún durante la fase de cultivo, como la clave para el mantenimiento de la productividad del suelo (Nair, 1993).

2.1.2. Regeneración del barbecho natural

Finegan (1992) describe un modelo sencillo para la regeneración de los bosques húmedos secundarios después de talas-rasas del bosque o tierras agrícolas abandonadas, pero advierte, que la regeneración vegetal en suelos degradados, bajo regímenes de quemadas constantes o en sitios aislados de fuentes de semillas, pueden presentar un comportamiento diferente. Según este autor, las primeras etapas de la sucesión están dominadas por hierbas y arbustos, seguidos de árboles heliófitos efímeros (pioneros), seguidos por árboles heliófitos durables (especies tardías).

La regeneración del barbecho en terrenos de RTQ de Yucatán, según Illsley (1984), parte de una área recién quemada donde predominan los tocones que persisten a la quema; en el primer año después de la quema (primero de cultivo) los tocones rebrotan y aparecen algunas herbáceas de ciclo anual, principalmente; para el segundo año de cultivo se incrementan las herbáceas que se establecen a partir de semilla. Ahora bien,

en los primeros años de descanso, la sucesión puede pasar inmediatamente a una fase de dominancia de las leñosas, o puede presentar un período con una alta densidad de herbáceas. A partir del cuarto año de descanso, las leñosas rebasan y eliminan a las herbáceas, probablemente por sombra (Levy, 1990).

Se considera que los campesinos de la Península de Yucatán realizan prácticas para favorecer la regeneración de la vegetación. Estas prácticas incluyen la tumba selectiva, dejar tocones de 1 a 1.5 metros de altura, realizar los deshierbes a favor de los rebrotes y conservar franjas de vegetación entre parcelas (Terán y Rasmussen, 1992). Sin embargo, estas prácticas tendrían poco efecto si no se contase con la adaptación de las leñosas a los disturbios constantes (Levy y Hernández, 1992); estas se reponen rápidamente después de la quema a través de estructuras subterráneas de reserva y entran en competencia con los demás componentes de la milpa y el barbecho (Sarukhan, 1964). En el segundo año del barbecho, Levy (1990) encontró que el 98% de los individuos leñosos se restablecieron a partir de la corona de la raíz y yemas adventicias en las raíces de los tocones que persisten a la quema.

Flores (1989) destaca la importancia de las leguminosas en las diferentes etapas serales de la regeneración del bosque en Yucatán. Él menciona que *Acacia gaumeri*, *Leucaena leucocephala*, *Mimosa bahamensis*, *Piscidia piscipula* y *Pithecellobium dulce* son elementos arbóreos de la familia de las leguminosas que se manifiestan desde la primera etapa (1 año) y continúan apareciendo en casi todas las etapas (25 años); el autor hipotetiza que ello puede estar relacionado con el manejo racional que los campesinos hacen a través de la RTQ.

Illsley (1984) y Levy (1990) coinciden en que el favorable desarrollo sucesional de los terrenos de milpa está determinado por el alto porcentaje de las leñosas en la composición florística inicial, lo que favorece el mantenimiento de las especies deseables a través de períodos alternantes de cultivo y descanso, pero por otro lado, Levy (1990) sugiere al uso intensivo del suelo y a un historial de barbechos cortos, como los factores que inducen el rumbo de la sucesión hacia una fase con alta incidencia de herbáceas. Cuando esto último sucede, la productividad del sistema de RTQ solo puede

ser mantenida a través de la aportación de subsidios humanos cada vez mayores (Odum, 1986).

Los agricultores no están satisfechos con sus logros en la milpa debido principalmente, al alto riesgo que representa su cultivo y a los bajos rendimientos obtenidos. Luego entonces, es muy posible que varios de los problemas sean un efecto de los períodos cortos de descanso observados y los cada vez mayores períodos de uso de los terrenos bajo cultivo consecutivo, lo que afecta la regeneración de los barbechos y su calidad.

2.1.3. Recuperación de la fertilidad del suelo

La mayoría de los nutrimentos fijados en el ecosistema de selva tropical se encuentran en la parte aérea de las plantas como consecuencia de un ciclo muy cerrado de los nutrimentos (Cuanalo, 1980). Los suelos tropicales sólo contienen del cinco al 20% de los nutrimentos totales y cuando están descubiertos son muy delicados y resienten inmediatamente el impacto de la lluvia, la insolación y la temperatura, lo cual conlleva a una rápida descomposición del humus, reduciendo significativamente su estado físico y la disponibilidad de nutrimentos (Neugebauer, 1981).

La cantidad y calidad de nutrimentos que se reincorporan al suelo después de la quema depende de la fertilidad original del suelo y del tipo y cantidad de biomasa. Según Bandy *et al.* (1993), alrededor de la mitad del N y el P y casi todos los nutrimentos remanentes son liberados al suelo con las cenizas después de la quema, y con la lluvia son incorporados, incrementando el pH del suelo en sus capas más superficiales. En Yucatán, se ha encontrado una incorporación de dos toneladas de cenizas/ha, que corresponden al 4% del peso seco de la biomasa vegetal (Pool, 1986), la cual puede ser de 41.2 ton MS/ha en barbechos de siete años (Hernández, 1989) y de 50 toneladas en terrenos con 12 a 15 años de descanso (Pool, 1986). Estas cenizas aumentan las concentraciones de P aprovechable, el K y el Mg intercambiable y los sulfatos solubles, mejorándose la condición nutricional del suelo para el cultivo, además de existir un efecto en la exfoliación de la roca caliza que favorece el proceso de formación del suelo (Mariaca, 1992).

CIAPY (1984) cita que Steggerda en 1941 intentó, a través de los análisis químicos del suelo, explicar el abatimiento de los rendimientos de maíz por el uso consecutivo en el estado de Yucatán; sin embargo, después de seis años de experimentación, no se registró detrimento en la fertilidad del suelo mientras que los rendimientos continuaban bajando. En 1977 se comprobó la dificultad de explicar la disminución de los rendimientos de maíz por el simple análisis de suelo, debido a que el pH fue la única característica química que mostró una tendencia consistente a incrementarse conforme aumentó el uso consecutivo y la profundidad del suelo (CIAPY, 1984). Hernández *et al.* (1989) realizaron un ensayo similar al de Steggerda, y concluyeron que hasta el séptimo ciclo de cultivo consecutivo, las malezas y la disminución de la fertilidad del suelo estaban influyendo fuertemente en el abatimiento de los rendimientos de maíz. Sobre este trabajo, Mariaca (1992) considera a los suelos utilizados (*Kankab* y *Ho lu'um*) como muy fértiles e hipotetiza sobre posibles bloqueos que pueden estar impidiendo el aprovechamiento de la MO y la de otros nutrimentos por las plantas de maíz.

A través del período de barbecho, toma lugar un proceso de reciclaje de nutrimentos, los cuales son absorbidos en los estratos inferiores del suelo por las raíces de la vegetación en recuperación, incorporados a la biomasa vegetal en su conjunto y posteriormente depositados sobre la superficie del terreno en forma de hojarasca, ramas y otros tejidos muertos, con lo que se restituye lentamente el contenido de MO y minerales en el estrato más superficial del suelo, y con él, su fertilidad original y sus condiciones físicas y morfológicas (Nye and Greenland, 1960). A diferencia de la fijación de N, el reemplazo o reciclaje de nutrimentos es un proceso lento que concentra a estos donde puedan ser utilizados para el desarrollo de cultivos pero no los adiciona al sistema; significando, que el período de descanso no mejora la fertilidad del suelo directamente (Bandy *et al.*, 1993).

El tiempo requerido para la recuperación del nivel de fertilidad de los suelos en la Península, que garantice una producción sustentable ha sido establecido entre 16 y 25 años por Hernández y Padilla (1980), 18 a 22 años por Hernández *et al.* (1981 citados por Ku, 1992) y 25 años por Mariaca (1992). Sin embargo, CIAPY (1984) y Hernández (1985) sugieren la posibilidad de una edad óptima de descanso, más allá de la cual los

rendimientos comienzan a decrecer, esta edad óptima parece quedar establecida alrededor de los 16 años. En diferentes ensayos de fertilización realizados por el INIFAP no se ha encontrado respuesta a N, P y K en terrenos con 10 o más años.

Mariaca (1992) sugiere el estudio químico de los suelos sujetos a diferentes edades de recuperación para entender mejor los fenómenos que ocurren. Menciona que el intento de Pool Novelo en 1980 derivó en la necesidad de establecer un adecuado método de muestreo edáfico para las condiciones tan particulares de los suelos de la Península, así como de su manejo. Por otro lado, no existen todavía mediciones sobre la biomasa y sus contenidos de nutrimentos para la vegetación secundaria de Yucatán (Cuanalo, 1980).

A partir del aspecto, la altura, la densidad y la composición vegetal del barbecho, los milperos son capaces de inferir sobre el tipo de terreno que cultivarán. Así, algunas de las especies indicadoras de buen suelo, a decir de los mismos, son *P. dulce*, *Mucuna pruriens*, *Ehretia tiniflora*, *Tabernaemontana amigdalifolia*, *A. gaumeri* y *L. leucocephala*; las indicadoras de suelos profundos son *Caesalpineia gaumeri* y *Cochlospermum vitiifolium*; y las de suelo rojo delgado son *Gymnopodium antigonoides* y *Agave sp.* (Illsley, 1984; Mariaca, 1992). Por su parte, Pérez-Toro (1981) señala que durante la elección del terreno para la milpa, los agricultores tenían cierta predilección por los lugares donde abundaban las leguminosas como *L. leucocephala*.

Neugebauer (1981) considera que el único medio reconocido para la regeneración de los suelos tropicales es la vegetación secundaria. Este autor ensayó en el sur de Yucatán las posibilidades de mejoramiento del suelo favoreciendo con chapeos el crecimiento de *L. leucocephala* en un terreno donde el 90% de la vegetación secundaria estaba dominada por esta. Cuando se inició el ensayo, *L. leucocephala* tenía seis meses de edad, y durante el primer año alcanzó una altura promedio de cuatro metros, observándose un mejoramiento sustancial de la estructura del suelo.

Técnicamente, el manejo de la fertilidad del suelo en la milpa es factible, aún en condiciones de presión extrema sobre la vegetación natural (Mariaca, 1992). Nye y Greenland (1960) consideran que hay un amplio rango en la composición de nutrimentos dentro de las especies vegetales existentes en los barbechos y que puede darse la

posibilidad de seleccionar aquellas que promuevan una rápida acumulación de P y K en la superficie del suelo.

2.1.4. Dinámica de malezas

No hay duda de que el incremento en el esfuerzo para mantener libre el terreno de malezas durante el período de cultivo es casi siempre la razón principal para abandonar un terreno, ya que es más fácil abrir otra área que continuar cultivando la misma parcela, pero frecuentemente es difícil decidir si la reducción de la productividad es debida a la incidencia de malezas o al descenso de la fertilidad del suelo (Nye and Greenland, 1960).

Levy (1990) cita que Emerson (1935) y Steggerda (1941) identificaron al crecimiento agresivo de la maleza como el principal causante de la baja en el rendimiento del maíz en Yucatán. En milpas de uso consecutivo durante ocho años, Steggerda (citado por Morley, 1981) y Hernández *et al.* (1989 citado por Mariaca, 1992), obtuvieron respectivamente, mayores rendimientos de maíz al quinto y octavo años de cultivo cuando modificaron el método de control de malezas, aunque los datos del segundo autor están enmascarados por la aplicación de fertilizantes. A partir del sexto año de cultivo de la milpa de uso consecutivo de Steggerda, la hierba invadió por todas partes el terreno hasta que al final todo quedó cubierto por una espesa capa de grama, donde ni las malas hierbas podían abrirse camino (Morley, 1981).

CIAPY (1984) determinó para la Península de Yucatán, que en los terrenos con diez o menos años de descanso, la maleza dominante durante el primer año de cultivo está conformada por los retoños de la vegetación perenne, anuales de hoja ancha y poblaciones iniciales de gramíneas, y que durante el segundo año de cultivo aumenta la población de maleza anual de hoja ancha, pero en mayor proporción lo hacen las gramíneas anuales.

Puede decirse que dentro del período de cultivo bajo el sistema milpa, la maleza es toda aquella planta de crecimiento espontáneo que sea capaz de competir con el maíz y los cultivos asociados. Sin embargo, debido a que la reproducción del sistema está basado

en la rápida regeneración de la vegetación secundaria arbustiva, no todas las especies de maleza son indeseables, pues como indica Rapaport (1975 citado por Levy, 1990), aún dentro del mismo período de cultivo los árboles jóvenes proporcionan una profunda red de raíces que recupera sustancias nutritivas que de otra manera se perderían, además, muchos de estos representan una fuente de productos útiles al corto plazo para los agricultores. El concepto de maleza pues, es relativo durante el período de cultivo y persiste más allá de este, ya que también serán consideradas como malezas las especies que retrasen el desarrollo de las arbustivas durante la fase inicial del barbecho.

La estrategia de barbechos mejorados para el mejoramiento del sistema de RTQ en áreas de bosque tropical húmedo o subhúmedo y suelos de mediana fertilidad requerirá de la revisión del concepto de maleza. Sin embargo, su definición y categorización quedará supeditada a las distintas oportunidades de aprovechamiento que las comunidades rurales hagan de las especies invasoras. Por ejemplo, en la Península de Yucatán se acepta que *Viguiera heliantoides*, *Pteridium aquilinum* e *Imperata brasilensis* son especies invasoras que denotan un grado avanzado de degradación de los terrenos cultivados, pero esto no evita que ciertos productores les encuentren utilidad inmediata, como el caso de un campesino de Yaxcabá que colectó semilla de *V. heliantoides* para sembrar al voleo en su milpa y así dar mantenimiento a las abejas de sus apiarios cercanos (Illsley, 1984). El *I. brasilensis* es comercializado para la elaboración de escobas y según la experiencia de un productor de Calakmul, el maíz desarrolla bien en áreas invadidas con *P. aquilinum*, aunque se requiere de un alto uso de mano de obra para la limpieza.

En el mismo orden de ideas, Illsley (1984) encontró que la tendencia de los campesinos de Yaxcabá es deshierbar mientras llueve bien y suspenderlo si la lluvia se detiene, ya que consideran que la maleza mantiene fresca la tierra y ayuda al maíz a no secarse cuando escasea el agua. Esto podría explicar la ausencia de una segunda limpieza al maíz y el éxito de la adopción de la asociación maíz con *Mucuna pruriens* por los agricultores de Calakmul, cuyos razonamientos coinciden con lo encontrado por Illsley.

Illsley (1984) comparó la incidencia de malezas en milpas cultivadas en terrenos con uno, 10 y 50 años de descanso, encontrando que el número de individuos y la biomasa aérea total por hectárea, tanto de herbáceas como leñosas, disminuyó conforme aumentó el período de descanso. Explica que esto puede deberse a que durante la sucesión secundaria las herbáceas desaparecen por competencia y sombreo de las leñosas, dejando de depositar sus semillas en el suelo, además, estas pueden perder su viabilidad con el paso de los años; también es posible que la mayor intensidad de la quema destruya cierta cantidad de las semillas de las herbáceas. Además, observó que a medida que aumentó el período de barbecho, las malezas tardaban más tiempo en aparecer después de la quema (dos a cuatro semanas) y que las prácticas de control de las mismas se reducían, requiriendo de un menor esfuerzo (60, 50 y 10 días hombre/ha para uno, 10 y 50 años de barbecho, respectivamente).

Así, el período de tiempo que la tierra es dejada en descanso dependerá de qué tan pronto el bosque pueda reducir las especies indeseables (FAO, 1948 citado por Nye and Greenland, 1960), pero, con la actual disminución de los períodos de descanso, la gente de campo afirma que la tierra se "cansa", los rendimientos disminuyen y los terrenos quedan más "lóbregos", es decir, cada vez hay una mayor abundancia de malezas (Illsley, 1984).

2.1.5. Rendimiento de maíz

Varios autores han estimado los rendimientos de maíz bajo las condiciones en que se desarrollan los productores y estas se ubican entre los 700 y los 2,250 kg/ha (Cuadro 1). Las estimaciones dependen de varios factores como la región, la precipitación, los suelos, los años de uso, los períodos de barbecho, entre muchos otros, pero ello nos da una idea de la potencialidad de la milpa manejada por los agricultores.

Cuadro 1. Rendimiento de maíz bajo las condiciones de los productores milperos de Yucatán.

(KG/HA)	CONDICION	AUTOR
700	Estimación general para primero y segundo años de uso en Yucatán.	Pérez-Toro, 1981
700 - 2,000	Estimación general bajo diversas condiciones para Yucatán.	Hernández, 1989
1,125-1,625	Estimación para los alrededores de <i>Chichen Itzá</i> .	Morley, 1981
546 – 1,100	Rango medido para milpas en terrenos con barbechos de tres hasta 50 años en Yaxcabá, Yucatán.	Arias, 1980
2,250	Bajo buena condición y primer año de uso.	Várguez, 1981
1,125	Bajo buena condición y segundo año de uso.	
278	En terreno con un año de barbecho.	Ilsley, 1984
828	En terreno con 10 años de barbecho.	
1,554	En terreno con 50 años de barbecho.	
664	De productores para barbechos menores a diez años.	CIAPY, 1984
806	De productores para barbechos mayores a diez años.	
1,265	Bajo buena condición de precipitación.	CIAPY, 1984
734	Bajo regular precipitación.	
316	Bajo mala distribución de la precipitación.	
	Incluyen barbechos de uno hasta 19 años o más.	
1,026	Milpa de primer año.	Terán y Rasmussen, 1994
885	Milpa de segundo año.	
750	Milpa de tercer año.	
	Promedios de productores en Xocen, Yucatán.	

Consistentemente, los rendimientos de maíz se reducen hacia el segundo y tercer año de uso de los terrenos. Reyes y Aguilar (1992) encontraron una reducción del 20% en el segundo año de cultivo en un suelo pedregoso del sur de Yucatán; Terán y Rasmussen (1994), observaron que en las milpas de agricultores de Xocen, Yucatán, las reducciones para el segundo y tercer año de uso con respecto al primero, fueron de 13% y 26%,

respectivamente. Aunque la reducción de los rendimientos del maíz en los primeros años está bien establecida y aceptada, no ha sido posible explicar con claridad los altibajos que se presentan cuando los terrenos de milpa son cultivados consecutivamente hasta por cinco u ocho años.

La disminución en el rendimiento de la milpa debido a los años de uso ha tratado de ser explicada a través de la gradual pérdida de la fertilidad del suelo (Mariaca, 1992) y al constante incremento en la incidencia de malezas de difícil control (Illsley, 1984), pero también se ha considerado la erosión hídrica del suelo en forma horizontal. Reyes y Aguilar (1992), detallan que en pendientes del 5% en el sur de Yucatán, la erosión rebasa los límites aceptables (100 kg/ha/año), con pérdidas de hasta 900 kg/ha/año en el primer año y de 400 kg en el segundo año de cultivo. Cuando se eliminó la quema se redujo la erosión del suelo a los límites aceptables, y si además, se delimitaban curvas de nivel con *L. leucocephala* y *S. deerengiianum*, la pérdida se reducía a solamente 60 kg/ha/año; sin embargo, los campesinos no estuvieron dispuestos a utilizar estas especies debido que su esfuerzo no era compensado con subproductos provenientes de *L. leucocephala* y *S. deerengiianum*.

Se ha demostrado también que los años de descanso del barbecho influyen sobre los rendimientos del maíz. Illsley (1984) encontró que a medida que se incrementaban los años de descanso aumentaba el rendimiento del maíz; de acuerdo a sus datos, los rendimientos del maíz mejoraron en 197 y en 458% al pasar de un año de descanso a 10 y 50 años, respectivamente. El CIAPY (1984) determinó que cuando los agricultores usan terrenos iguales o mayores a diez años de descanso, el rendimiento se mejora, en promedio, en un 21% en comparación a cuando se usan terrenos con menos de diez años de descanso. Sin embargo, Arias (1980) evaluó los rendimientos de 37 parcelas de productores de Yaxcabá, Yucatán, y no encontró gran diferencia al relacionar los rendimientos obtenidos con los años en barbecho; los rendimientos fueron casi similares entre los terrenos con menos de diez años y aquellos con diez o más años de barbecho (713 Vs. 765 kg/ha). De forma similar, Mariaca (1992) encontró que los aumentos en el rendimiento de maíz no fueron consistentes al evaluar la producción de terrenos con ocho, 10, 15, 25 y 50 años de barbecho, ya que mientras en suelo *Kankab* se mejoró

hasta en una tonelada, en suelo *Ho lu'um* se redujo en 435 kg/ha, al pasar de ocho a 50 años de barbecho.

Según el CIAPY (1984), los agricultores consideran, que independientemente de los años de descanso de los terrenos, si la precipitación es suficiente y se distribuye uniformemente, los rendimientos del maíz bajo el sistema milpa pueden llegar a 1,295 kg/ha, si la lluvia es regular se obtendrían alrededor de 734 kg/ha, pero si esta es mala el rendimiento se ubicaría en 316 kg/ha.

Actualmente se cuenta con diversas tecnologías para el mejoramiento de la productividad de la milpa. El INIFAP ha generado variedades mejoradas de maíz y recomendaciones técnicas de manejo y de uso de insumos, específicos para suelos pedregosos y no pedregosos, maíz en monocultivo y asociado con frijol, ibes y calabaza, así como para sistemas de maíz con relevo de frijol. Los rendimientos esperados para maíz con el uso de los componentes tecnológicos del INIFAP se ubican entre los 1,083 y los 2,700 kg/ha, además, bajo un enfoque integral, se ha mejorado el uso consecutivo del suelo bajo el sistema milpa hasta por cinco años.

Por otro lado, técnicas agroecológicas para la conservación del suelo y agua como la labranza mínima, el uso de abonos verdes, la adición de compostas, la incorporación directa de MO y la diversificación de los cultivos están siendo de gran apoyo para el mejoramiento de la producción maicera en suelos de *Kankab* del sur de Yucatán con manejo intensivo. Los rendimientos estimados para maíz se ubican entre 2,500 y 5,000 kg/ha, aunque al parecer, estos no han sido concienzudamente estimados y no está claro si han o no utilizado el riego (Huz y Vallado, 1992).

A pesar del conocimiento adquirido sobre la milpa y las tecnologías generadas para el mejoramiento de la productividad del maíz, todavía el 84% de los agricultores de Zona Maya y Calakmul reportan rendimientos iguales o menores a 1,000 kg/ha de maíz para milpas provenientes de bosque y barbecho. Peor aún, el 54% de los campesinos de esas zonas, dicen obtener menos de 500 kg/ha en el segundo año de cultivo para los dos tipos de milpas (ICRAF-México, 1994 datos no publicados).

2.1.6. Productos secundarios del barbecho

Algunas veces, los bosques secundarios o barbechos son considerados como tierras ociosas, sin embargo, estos pueden proporcionar una gran variedad de productos útiles y mantener la biodiversidad de la flora y la fauna (Ramos, 1993). Los acahuales funcionan como un almacén o capital biológico, cuyo monto es función del tiempo de crecimiento que se le permite; de dicho capital depende la diversidad y el rendimiento agrícola así como la cantidad y calidad de los productos forestales extractables (Levy y Hernández, 1992).

Bajo condiciones ideales, durante el período de barbecho se realizan las actividades silvícolas de extracción forestal y fauna silvestre, que complementan la producción pecuaria de traspatio, el huerto o el solar, la agricultura y el ingreso económico por venta de materiales primarios y artesanías. Entre los principales productos extractables se pueden mencionar la leña para el hogar, los hornos de cal y la elaboración de carbón; palos, estacas y guano para la construcción, para los implementos agrícolas y la elaboración de artesanías; forrajes, néctar y polen; plantas medicinales, curtientes e industriales; además de permitir el pastoreo de ganado en monte y la cacería (Levy y Hernández, 1992; Terán y Rasmussen, 1992).

Los productos extractables de los barbechos provienen, principalmente, de las especies leñosas y la diversidad de las mismas es importante para asegurar la calidad de aquellos. Illsley (1984) anota que en Yucatán, con la actual disminución de los períodos de descanso, se dificulta la obtención de material de construcción y ciertas plantas de usos específicos se hacen raras, mientras que Levy (1990) menciona que en un barbecho de dos años (cuyo historial en años de barbecho/cultivo fue: 50/1; 15/1; 6/1; y 2/?) se presentó un bajo porcentaje de las especies de rápido crecimiento predilectas para leña.

En las regiones de Zona Maya y Calakmul son contados los campesinos que obtienen productos del barbecho, además los productos obtenidos son escasos. Menos del 18% de los campesinos de Zona Maya y del 21% de los de Calakmul mencionaron obtener entre uno y cuatro productos de los barbechos. Los productos que con mayor frecuencia se

obtienen son el guano, los postes y los palos para la construcción de casas, así como la leña para el hogar en Zona Maya y la madera comercial en Calakmul (ICRAF-México, 1994 datos no publicados).

2.2. Los barbechos mejorados o cultivados

2.2.1. Definición y características

Un barbecho arbóreo mejorado es una práctica rotacional que usa preferentemente especies arbóreas como las especies en descanso (en oposición a la colonización por la vegetación natural), en rotación con los cultivos del sistema tradicional de RTQ (Nair, 1993). Este autor considera que la especie ideal para el mejoramiento de barbechos debería ser aquella que creciera rápido y tomara y reciclara eficientemente los nutrimentos disponibles dentro del sistema, reduciendo así el tiempo requerido para la restauración de la fertilidad del suelo; además, debería proporcionar productos de utilidad económica durante el período de barbecho.

Se distinguen dos variaciones de barbechos mejorados: los económicamente enriquecidos y los biológicamente enriquecidos. Los primeros están diseñados para incrementar el valor económico de la vegetación en descanso mediante la introducción de árboles que producen artículos económicamente valiosos para la venta o subsistencia; los segundos, están diseñados para incrementar y acelerar la regeneración vegetativa que favorezca la fertilidad del suelo y suprima la invasión de malezas (Raintre and Warner, 1986). Sin embargo, mencionan estos autores, en la práctica la distinción entre ambos no es rígida, ya que los mismos árboles deberían cubrir ambas funciones.

Por ejemplo, el cultivo intercalado a los árboles en la fase de barbecho es mencionado como una variante de barbecho mejorado. Bishop (1982, citado por Kass *et al.*, 1994) describe un sistema agrosilvopastoril en el cual dos años de cultivos agrícolas son seguidos por ocho años de "barbecho" consistentes en *Inga edulis* intercalada con plátano y la leguminosa forrajera *Cajanus cajan*. Esta última es pastoreada por cerdos, y se asume que la hojarasca de *I. edulis* mejora la fertilidad del suelo.

En las Filipinas, el sistema indígena de barbecho conocido como *naalad* es único en el mundo (Lasco and Suson, 1994). Este ha existido por cientos de años. El sistema consiste en el uso de *L. leucocephala* sembrada en franjas perpendiculares a la pendiente; el barbecho se reduce a solo cinco o seis años, presumiendo que la especie fija N atmosférico. Después del barbecho *L. leucocephala* es cortada y sus ramas apiladas en contorno para formar una estructura llamada *balabag*, cuya función principal es el control de la erosión. En resumen, el uso de *L. leucocephala* en este sistema de barbecho es para restaurar la fertilidad del suelo durante el período de barbecho y las ramas muertas son usadas para minimizar la erosión durante el período de cultivo. Lasco y Suson (1994) estudiaron este sistema documentando y muestreando la finca de seis agricultores; cada dos fincas tenían uno, tres y cinco años de barbecho. Los autores encontraron que las propiedades químicas del suelo permanecían constantes en el tiempo tanto en las parcelas en barbecho como en las parcelas en cultivo.

Al parecer, el control de las malezas invasoras es mas rápido cuando se utilizan especies herbáceas para el mejoramiento de los barbechos. Szott *et al.* (1991), trabajaron durante un período de 4-5 años de barbecho con leguminosas herbáceas y leñosas, encontrando un mejor control de las malezas con especies estoloníferas como *Centrosema macrocarpa*, *Pueraria phaseoloides* y *Desmodium ovalifolium*, aunque la mejor supresión de malezas fue obtenida por las leguminosas leñosas como *C. cajan* e *I. edulis*.

A pesar de los muchos y buenos ejemplos de barbechos mejorados, se advierte que los agricultores harán uso de estos sólo cuando sea obvio que existe un beneficio económico (Kass *et al.*, 1994), o bien, como consideran Raintree y Warner (1986) y Nair (1993), el interés en la adopción de barbechos biológicamente enriquecidos no será posible de lograr sino hasta que los mismos agricultores hayan tenido alguna experiencia con la lucha por mantener la fertilidad del suelo, y esto generalmente ocurre cuando la agricultura de RTQ comienza a hacerse más intensiva.

2.2.2. Mejoras físicas y químicas del suelo

En la agricultura de RTQ tradicional, durante el período de descanso, los árboles de la vegetación nativa ayudan a restaurar la materia orgánica del suelo (MOS), así se mejora la estructura del suelo y se protege de la erosión y la excesiva escorrentía (Cuadro 2). También, el barbecho natural acumula nutrientes en su biomasa los que son transferidos como cenizas al suelo después de la quema. De este modo los árboles sirven como agentes para el reciclaje de nutrientes de las capas inferiores del suelo a la capa superficial donde la mayoría de las raíces de los cultivos se desarrollan (Brady, 1994).

Cuadro 2. Erosión (ton/ha/año) del suelo en bosque natural lluvioso y en agricultura de RTQ.

Uso del suelo	Mínimo	Medio	Máximo
Bosque natural lluvioso	0.03	0.30	6.16
Barbecho natural de RTQ	0.05	0.15	7.40
Cultivo de RTQ	0.40	2.78	70.05

FUENTE: Modificado de Wiersum, 1986, citado por Brady, 1994.

Juo y Manu (1994) concluyen que las mayores causas para la reducción de los nutrientes totales en el sistema de RTQ son la erosión del suelo, la escorrentía, la lixiviación, la fijación de fosfatos, la destrucción de la materia radicular del bosque, y el descenso del contenido de la MOS superficial.

Los barbechos mejorados intentan simular los efectos de la RTQ pero con un barbecho arbóreo consistente en especies plantadas, seleccionadas por su capacidad para enriquecer el suelo y por los productos útiles que generan. Puede esperarse que interactúen similarmente a la RTQ: un buen control de la erosión durante el período de descanso o barbecho pero con el riesgo de sustancial erosión, y asociado a esto la pérdida de carbón y nutrientes durante el período de cultivo. La práctica podría ser más aceptable en sistemas en donde una cubierta de *mulch* fuera mantenida durante el período de cultivo (Young, 1989).

En el este de Zambia, los barbechos de corta duración inciden sobre la reducción de la fertilidad del suelo y la producción de los cultivos, e incrementan la erosión del suelo. Por ello, Opio *et al* (1994) simulaban un sistema de barbecho mejorado con un período de descanso de dos años con *Sesbania sesban* y tres años consecutivos de cultivo de maíz fertilizado con el fin de evaluar el estatus de la erosión potencial. En su estudio, basados en SCUAF (Soil Changes Under Agroforestry), estos autores encontraron que conforme el tiempo progresa, la erosión del suelo bajo el barbecho mejorado con *S. sesban* por dos años, seguido del cultivo de maíz por tres años, decreció. Sin embargo, en el corto término, la erosión del suelo durante el período de cultivo de maíz (del tercero al quinto año) es más alta que la erosión producida por el cultivo continuo de maíz con la aplicación de fertilizante.

Torquebiau y Kwesiga (1996) encontraron que en un barbecho de *S. sesban* de dos años de descanso, la infiltración del agua en el suelo se incrementó, y que la densidad aparente y la resistencia a la penetración decrecieron (Cuadro 3).

Cuadro 3. Densidad aparente del suelo (g/cm^3) en función del periodo del barbecho de *S. sesban* en Chipata, Zambia.

	Profundidad	Barbecho de 1 año	Barbecho de 2 años	Control
65 Días después de la siembra	0 – 25 cm	1.18	1.19	1.32
	25 – 50 cm	1.01	1.10	1.22
Antes de la siembra del cultivo	0 - 25 cm	1.55	1.52	1.48
	25 – 50 cm	1.49	1.51	1.38
43 días después de la siembra	0 – 25 cm	1.15	1.15	0.93
	25 – 50 cm	1.13	1.18	1.08

FUENTE: Torquebiau y Kwesiga (1996).

Los barbechos mejoran las propiedades físicas del suelo debido a la adición de grandes cantidades de hojarasca y de biomasa radicular (Schroth *et al.*, 1995), a la actividad de las raíces de los árboles, la actividad biológica y los macroporos que dejan las raíces de los árboles después de su descomposición (Van Noordwijk *et al.*, 1991). Los barbechos

de *L. leucocephala* y *S. sesban* mejoran las condiciones físicas del suelo, comparados con el barbecho natural y el cultivo continuo, como fue evidente de la más baja densidad aparente y la reducción a la resistencia a la penetración en la superficie del suelo al final del período de descanso. La consecuencia de estos cambios fue una mayor infiltración y un más alto almacenamiento de agua (Juo *et al.*, 1996; Torquebiau and Kwesiga, 1996).

Las raíces de los árboles pueden penetrar más profundo, traspasar las capas compactadas y mejorar la estructura del subsuelo, y así, incrementar la infiltración y el almacenamiento de agua (Rao *et al.*, 1998). Por ejemplo, Torquebiau y Kwesiga (1996) encontraron que las raíces de *S. sesban* de dos años de edad llegaban a una profundidad de 5 metros, y que la masa de sus raíces en los primeros dos metros del suelo fue el 37% de la biomasa total (hojarasca, follaje y raíces). Sin embargo, Kang *et al.* (1997) reportan que los barbechos de 4 años con varias especies (*S. siamea*, *L. leucocephala*, *Acacia leptocarpa* y *A. auriculiformis*) no mejoraron la densidad aparente ni la estabilidad de los agregados en un Alfisol en el Sureste de Nigeria; estos autores sugieren que un período más largo del barbecho podría ser necesario para recuperar las condiciones físicas de los suelos altamente degradados.

Rao *et al.* (1998) advierten que los árboles difieren grandemente en su capacidad para penetrar y profundizar en las capas duras del subsuelo; por ejemplo, la alta saturación de aluminio en el subsuelo puede restringir la profundidad radicular en los suelos Oxisoles y Ultisoles (Van Noordwijk, 1989).

Los cambios químicos mayores que toman lugar bajo los barbechos mejorados son el incremento de la MOS, la cantidad de N, los cationes intercambiables y el P extractable (Rao *et al.*, 1998). Se espera que los barbechos mejorados mejoren más rápido el suelo que los barbechos naturales debido a que el terreno está completamente cubierto por árboles de rápido crecimiento que son específicamente seleccionados para este propósito, sin embargo, la magnitud del mejoramiento depende de la especie de árbol, la duración del barbecho, y las condiciones del suelo y climáticas (Rao *et al.*, 1998).

Incrementos significativos en el C orgánico del suelo, el N total y los cationes intercambiables fueron observados en la superficie del suelo después de barbechos de corta duración. Estos hallazgos se dieron después de un barbecho de un año con *C. cajan* y *L. Leucocephala* (Onim *et al.*, 1990) y en un barbecho de un año con *Tephrosia vogelii* comparado con un barbecho de pasto en Camerún (Prinz, 1986).

La acumulación de nitratos en el subsuelo (0.5 y 2 m) bajo parcelas de maíz no fertilizado en el oeste de Kenia varía entre 70 y 315 kg/ha, y las raíces del maíz no son capaces de alcanzarlo (Buresh and Tian, 1998), pero las raíces de *S. sesban* pueden profundizar hasta los cuatro metros contra los 1.2 m a que llega el maíz; Makonnen *et al.* (1997, citado por Buresh y Tian, 1998) encontraron que el nitrato a 4 m de profundidad fue de 51 kg/ha para el barbecho de *S. sesban*, comparado con los 199 kg/ha observados en el maíz sin fertilizar.

En Nigeria, un barbecho de dos años con *T. candida* y *C. cajan* incrementaron el C orgánico y el N total del suelo en los primeros cinco cm de la superficie del suelo (Gichuru, 1991). En Zambia, el barbecho de dos años con *S. sesban* adicionó de 94 a 135 kg de N y de 10 a 15 kg de P por ha a través de 3.4 a 4.5 ton/ha de hojas, ramas y hojarasca y 1.7 a 2.9 ton/ha de biomasa subterránea; mientras que la adición de N fue a través de la fijación biológica de N y el reciclaje de subsuelo, todo el P fue a través del reciclaje (Torquebiau and Kwesiga, 1996). Un barbecho de *S. sesban* de 18 meses en las tierras altas del oeste de Kenia ha reciclado 135 kg de N y 4.5 kg de P por ha a través de dos ton/ha de hojas y vainas y 3.3 ton/ha de hojarasca (ICRAF, 1997a). En la subsecuente fase de cultivo, las parcelas plantadas con *S. sesban* registraron significativamente más alto N mineral, las más altas tasas de mineralización de N y el más alto contenido de N asociado a la fracción ligera de la materia orgánica del suelo que las parcelas con barbecho de pasto; estos tres índices de N disponible estuvieron altamente correlacionados con los subsecuentes rendimientos de maíz (ICRAF, 1996).

Barrios *et al.* (1997) midieron la disponibilidad de N en un suelo deficiente de N después de 2 y 3 años de barbecho en el Este de Zambia. El N disponible, determinado como N en la fracción ligera de la MOS, N inorgánico del suelo (nitrato + amonio) y el

N aeróbico de la mineralización, a cero y 15 cm, difirieron entre tipos de barbechos (Cuadro 4). El N disponible fue más alto para *S. sesban* que para el promedio de las otras cinco especies y para el barbecho natural de pasto. El barbecho de *S. sesban* y el monocultivo de maíz fertilizado resultaron con iguales niveles de N inorgánico, pero la mineralización de N y la fracción ligera de N fueron más grandes en *S. sesban*.

En un suelo Acrisol en Togo, Dreschsel *et al.* (1991) registraron 40 a 60% de mejoramiento de la MOS, la capacidad de intercambio catiónico y los cationes intercambiables en los primeros 15 cm de profundidad bajo un barbecho de cinco años con *A. auriculiformis*, *S. siamea* y *Albizia* sp, y 115% de incremento de la MOS bajo *Azadirachta indica*, comparada con el barbecho de pastos.

La fracción ligera de la MOS puede incrementarse por la rotación de maíz con barbechos mejorados (Barrios *et al.*, 1997). En este estudio el barbecho no afectó el total del C orgánico ni el del N comparado con el control de maíz continuo sin fertilizar; se encontró que *S. sesban* fue más efectiva que otras especies para incrementar la fracción ligera de la MOS de 0 a 15 cm de profundidad después de 2 y 3 años de barbecho. La cantidad de la fracción ligera de la MOS después de tres años de barbecho no se correlacionó con la producción de grano de maíz durante la siguiente estación de cultivo, pero el N en esta fracción ligera de la MOS sí se correlacionó ($P < 0.01$) con el rendimiento (Barrios, com. pers., citado por Buresh and Tian, 1998).

Cuadro 4. Efecto del barbecho mejorado sobre la disponibilidad de N en el Este de Zambia.

Tratamiento	Fracción ligera de N (mg/kg de suelo)	N inorgánico (mg/kg)	Mineralización de N aeróbico (mg/kg/día)
Barbecho natural de pasto	15	11	0.45
<i>Sesbania sesban</i>	22	23	0.60
<i>Gliricidia sepium</i>	15	16	0.38
<i>Leucaena leucocephala</i>	13	10	0.36
<i>Flemingia macrophylla</i>	16	13	0.30
<i>Senna siamea</i>	13	7	0.27
<i>Calliandra calothyrsus</i>	16	12	0.27

FUENTE: Adaptado de Barrios et al., 1997.

Hay varios reportes sobre los cambios químicos que los árboles causan en la reacción del suelo. El pH superficial decrece en barbechos de *A. auriculiformis* (Dreschsel *et al.*, 1991) pero permanece inalterable bajo *L. leucocephala* y *Prosopis chilensis* (Jonsson *et al.*, 1996) y se incrementa bajo *A. Indica*, *S. Siamea* y *Albizia sp.* (Dreschsel *et al.*, 1991) y *L. Leucocephala*, *S. Sesban* y *C. cajan* (Onim *et al.*, 1990).

Juo *et al.* (1995 y 1996) encontraron que el barbecho mejorado de *L. leucocephala*, pero no el de *C. cajan*, fue tan efectivo como el barbecho natural arbustivo para mantener el pH del suelo, el Ca y el Mg intercambiables y la capacidad de intercambio catiónico en un suelo de Nigeria.

Los barbechos mejorados también han sido útiles en la reducción de la salinidad y alcalinidad de los suelos por la lixiviación de las sales más allá de la zona de las raíces de los cultivos (Rao *et al.*, 1998). Obviamente, la extensión del mejoramiento del suelo depende de la duración del barbecho, con mayor mejoramiento después barbechos largos (Adejuwan and Adesina, 1990; Mulongoy *et al.*, 1993).

Comparado con otros nutrientes, el P del suelo no cambia consistentemente bajo los barbechos arbóreos. Onim *et al.* (1990) encontraron, en un sitio deficiente de P en Kenia, 85% menos del P extractable comparado con el nivel inicial, un año después de un barbecho arbustivo. Por su parte, Deschsel *et al.* (1991) observaron un más alto contenido de P bajo *A. Indica* y *C. siamea* que bajo *Albizia sp.* y *A. auriculiformis*. Adejuwan y Adesina (1990) no encontraron ninguna relación entre la duración del barbecho con *Gliricidia sepium* y el P disponible en el suelo. El descenso del P extractable del suelo resulta de la toma por los árboles y su almacenamiento en la biomasa arbórea (Rao *et al.*, 1998).

Buresh y Tian (1998) señalan, que en comunicación personal con J. Maroko (1996), este reporta el efecto de cuatro sistemas de uso del suelo de dos años de edad sin fertilizantes (barbecho de *S. sesban*, barbecho natural sin cultivar, monocultivo de maíz y barbecho desnudo) sobre las fracciones orgánicas e inorgánicas de P en dos sitios deficientes en este elemento en Kenia. Las mediciones convencionales del P inorgánico extractable del suelo de cero a 15 cm de profundidad no mostraron diferencias en la disponibilidad de P. La cantidad de P en la fracción ligera de la MOS, sin embargo, fue más grande después de *S. sesban* y el barbecho natural que en el maíz sin fertilizar en ambos sitios. Con relación a ello, el ICRAF (1996) menciona que la fracción ligera de P en la MOS se correlaciona con la producción de grano en el subsecuente cultivo de maíz.

Aunque el barbecho de *S. sesban* incrementó la producción de maíz en los suelos deficientes en P, no se eliminó la deficiencia de P en los subsecuentes cultivos de maíz (Buresh and Tian, 1998). Para obtener buenos rendimientos de maíz después del barbecho de *S. sesban* se requiere de la aplicación de P (ICRAF, 1996). La rotación de *S. sesban* con maíz se volvió financieramente mucho más atractiva cuando el P fue aplicado al maíz (ICRAF, 1997a).

La inhabilidad de los barbechos mejorados para suplir los requerimientos de P a los cultivos realza la necesidad para el uso de fertilizantes fosforados, especialmente en suelos deficientes de P, para asegurar la función eficiente del barbecho y alcanzar alta productividad en los cultivos (Palm, 1995). El caso del P es tan crítico, que Nziguheba *et*

al. (1998), mencionan que en 5 toneladas de biomasa pueden existir solamente 0.3% de P, lo que representa 15 kg de este elemento. Peor aún, Cairns *et al.* (1998), encontraron que en barbechos de entre medio año a 5 años de edad en Los Baños, Filipinas, el promedio de P de varias leguminosas sólo llegó a 0.094%, mientras que el de *Tithonia diversifolia* fue de 0.234%.

Juo *et al.* (1995) hipotetizaron que los sistemas de barbechos mejorados podrían incluir varias especies contrastantes para combinar los atributos benéficos de rápida cobertura del suelo, efectiva fijación biológica de N y eficiente reciclaje de nutrientes del subsuelo.

2.2.3. Mejoras biológicas del suelo

La acumulación de mantillo en la superficie del suelo y los cambios microclimáticos coadyuvan en el incremento de la actividad de la macrofauna del suelo bajo los barbechos mejorados, particularmente en los ambientes húmedos y subhúmedos (Rao *et al.*, 1998).

Adejuyigbe *et al.* (1998) y Tian *et al.* (no publicado, citado por Buresh and Tian, 1998), encontraron más altas poblaciones de lombrices de tierra y micro-artrópodos bajo barbechos arbóreos mejorados que bajo cultivo continuo de la asociación maíz/yuca (Cuadro 5). Las bajas poblaciones de lombrices de tierra en *L. leucocephala* se atribuyen a un más bajo contenido de humedad (Tian *et al.*, no publicado, citado por Buresh y Tian, 1998), y las mayores poblaciones de micro-artrópodos se atribuyen a un alto contenido de lignina de la hojarasca de los barbechos mejorados (Adejuyigbe *et al.*, 1998).

Cuadro 5. Efecto del barbecho sobre las poblaciones de lombriz de tierra de cero a 30 cm y micro-artrópodos de cero a 6 cm.

Tratamientos	Lombrices (No/m ²)	Micro-artrópodos (No/m ²)
Cultivo continuo	58	21,900
Barbecho arbóreo natural	194	32,600
<i>Leucaena leucocephala</i>	118	27,900
<i>Acacia leptocarpa</i>	100	45,000
<i>Senna siamea</i>	142	45,300

FUENTES: Adejuyigbe *et al.* (1998) y Tian *et al.* (no publicado, citado por Buresh y Tian, 1998).

2.2.4. Mejoras en rendimiento de cultivos

En una revisión sobre el tema, Nair (1993) señala que el valor y la factibilidad de los barbechos mejorados con árboles fue demostrada experimentalmente por Webster y Wilson en 1980, aunque los primeros intentos de introducir barbechos plantados fueron mucho antes y estuvieron dominados por el uso de leguminosas herbáceas (Milsum and Bunting, 1928; Vine, 1953; Webster and Wilson, 1980, citados por Nair, 1993).

Los barbechos de corta duración con leguminosas herbáceas han sido extensamente revisados y se ha encontrado que incrementan sustancialmente la producción subsecuente de los cultivos cuando se comparan con barbechos de gramíneas o con los sistemas de cultivo consecutivo (Drechsel *et al.*, 1996). Por su parte, los barbechos con arbustivas tienen distintas ventajas sobre los herbáceos, particularmente en zonas con climas secos de larga duración, debido a que ellos pueden tomar nutrimentos de las capas profundas del suelo y reciclarlos mejor, acumular una gran cantidad de biomasa y adicionar N a través de nódulos fijadores (Rao *et al.*, 1998).

En Chipata, Zambia, Kwesiga y Coe (1994) demostraron que el barbecho mejorado de *S. sesban* con dos años de descanso, duplicó la producción de maíz (14.3 ton/ha) en

comparación con el cultivo continuo de maíz sin la aplicación de fertilizantes (7.6 ton/ha) para un período de seis años. En la misma localidad, Kwesiga (1993), al probar barbechos mejorados con *S. sesban* de uno, dos y tres años de descanso encontró que en el primer año después de los barbechos y sin el uso de fertilizantes, el rendimiento de maíz respectivo fue de 3.5, 5.3 y 6.0 ton/ha, mientras que en el control de maíz en cultivo continuo el rendimiento fue de sólo 1.56 ton/ha. Este mismo autor, al evaluar los efectos residuales de los barbechos, anota que los incrementos continúan hasta el tercer año, considerando que ello puede ser debido a la lenta descomposición de las raíces de la leguminosa.

Rao y sus colaboradores (1998), revisando los resultados de varios trabajos, encontraron que la especie *C. cajan* mejoró el rendimiento de maíz en un 57% después de un año de barbecho en la India; en Malawi, con tres años de barbecho, el aumento fue de 55% comparado con el barbecho natural; y en Nigeria, la especie no presentó efectos positivos sobre el rendimiento de maíz en un suelo Ultisol, pero con *Tephrosia candida* hubo un aumento de 157% en comparación a un barbecho natural arbustivo. Por su parte, Torquebiau y Kwesiga (1996), al evaluar los efectos del barbecho de *S. sesban* de uno y dos años sobre el rendimiento de maíz, encontraron que estos produjeron, respectivamente, 55 y 150% más que el control de maíz sin fertilizante en el período de 1992-1993 y 83 y 229% más que el mismo control en la temporada de 1993-1994.

En Camerún, el ICRAF (1996) evaluó el rendimiento de maíz en un ensayo de siete años, comparando barbechos cortos mejorados de dos años, conformados por una mezcla de *L. leucocephala* y *G. sepium* contra un tratamiento control de maíz continuo, en donde se sembraba maíz en una estación y se permitía el barbecho natural en la segunda estación del año. En los siete años, el tratamiento testigo produjo 27 ton/ha de maíz, mientras que cuando se permitieron los dos años de descanso al terreno, el rendimiento agregado de siete años resultó en 36 ton/ha.

En la Amazonía Peruana, Alegre *et al.* (2000), encontraron que en los barbechos mejorados de tres años de *Colubrina glandulosa* + *Centrosema macrocarpum* y el de *C. macrocarpum* sola, se presentaron los más altos rendimientos de maíz (867 y 926 kg/ha)

cuando se les comparó con el barbecho natural (498 kg/ha). Los autores adjudican los buenos rendimientos a la excelente producción de biomasa de *C. macrocarpum*, que al quemarse liberó buena parte de los nutrimentos, además de haber presentado una buena cobertura del suelo que redujo la incidencia de malezas.

Al parecer, la poda de los árboles durante la fase de cultivo puede incrementar la producción de biomasa foliar y aumentar el reciclaje de nutrimentos a expensas de la producción de madera. De este modo, Onim *et al.* (1990) podando los barbechos de *S. sesban*, *L. leucocephala* y *C. cajan* a intervalos de dos meses e incorporando la biomasa al suelo, encontraron, después de sólo un año de barbecho, que la producción de maíz se aumentó en un 67% en el primer año de cultivo, comparado con la producida después de un barbecho natural.

Por otro lado, la biomasa de las raíces de los barbechos arbóreos debe contribuir sustancialmente con un efecto residual en años posteriores a la limpieza o eliminación de los mismos. Sanginga *et al.* (1988, citados por Rao *et al.*, 1998) estimaron que la contribución de N de las raíces, los nódulos y posiblemente algún pequeño porcentaje de hojas residuales de un barbecho de *L. leucocephala* fue equivalente a la aplicación de 32 kg/ha de N en maíz, y que fue similar al N suministrado por la biomasa aérea en un sistema de cultivo en callejones.

2.2.5. Otros beneficios socioeconómicos

Los barbechos mejorados es una tecnología agroforestal con una gran cantidad de ventajas para los productores que utilizan la agricultura migratoria. Alegre (2000), considera que con los barbechos mejorados se pueden generar una serie de beneficios biofísicos, como la recuperación de la fertilidad del suelo, el reciclaje nutrimentos y la reducción en la incidencia de malezas; beneficios sociales, pues son compatibles con la cultura y las tradiciones y porque mejoran el uso de la mano de obra familiar; también generan beneficios ecológicos, aumentando el equilibrio y resiliencia de los ecosistemas y mejorando los ciclos biogeoquímicos; y beneficios económicos, por el aumento de los ingresos y la provisión de productos vendibles como leña, frutos, madera, forrajes, etc.

Por ejemplo, los barbechos mejorados de *S. sesban* en Zambia, producen en dos años hasta 9 ton/ha de leña, la cual adquiere un valor de US\$ 7 por tonelada; cuando esta biomasa fue quemada en el mismo terreno no se encontraron efectos benéficos sobre los rendimientos de maíz (ICRAF, 1996), lo que implica que la comercialización de leña o palos de los barbechos mejorará el ingreso familiar sin una aparente afectación biológica al sistema.

En un experimento de seis años en Chipata, Zambia, Kwesiga y Coe (1994), mostraron que el beneficio neto acumulado del barbecho de dos años con *S. sesban* fue el doble del obtenido con el maíz sin fertilizar (570 Vs 289 US\$/ha). El análisis de sensibilidad indicó que con los dos años de descanso del terreno se mantiene la superioridad económica del barbecho sobre el maíz en cultivo continuo sin fertilizar, a pesar de que se presenten uno o dos años de sequía, fluctuaciones en los precios del maíz y la leña, costos de labor y tasas de descuento (Place *et al.*, 1994, citado por Sánchez, 1995).

En Perú, durante los tres años que duró el barbecho mejorado de *I. edulis* se produjeron 34.5 ton/ha de leña y 33 mil frutos comestibles, mientras que con *C. glandulosa* se produjeron 1,111 fustes/ha para la construcción de cercos o techos; así, los barbechos con árboles de valor económico son más rentables al productor que los barbechos naturales de ciclo corto, pues logra, en el caso de *C. glandulosa* + *C. macrocarpum* un alto retorno con 6.08 US\$/jornal/día contra sólo 0.33 del barbecho natural (Alegre *et al.*, 2000).

Un hallazgo de interés, en el sureste de Brasil, fue que *Mimosa scabrella* sola tuvo un pequeño desarrollo económico mejor que cuando se asoció a maíz y frijol (Graca *et al.*, 1993), y esto se debió a los relativamente bajos precios de los cultivos agrícolas y sus altos costos de producción.

Los agricultores de la Amazonía Peruana decidieron, por iniciativa propia, incluir el *Pueraria phaseoloides* en sus sistemas de barbecho. Yanggen y Alegre (2000) indican que estos agricultores volean la semilla en la parcelas donde han cosechado su cultivo

anual, la planta crece agresivamente, luego, los agricultores queman y vuelven a sembrar cultivos. Los resultados socioeconómicos de esta adopción incluyen una reducción en un 116 y 40% en el uso total de la tierra en comparación con los barbechos naturales altos y bajos; la reducción de la mano de obra en la limpieza de la tierra (100% con *P. phaseoloides* contra 323% del bosque primario); una reducción en las exigencias de mano de obra para el control de malezas (58 a 81% más en los barbechos naturales altos y bajos); un aumento en los rendimientos de cultivos bajo barbechos con *P. phaseoloides* (de un 10 a un 52%); se redujo el uso total de la tierra en cultivo y con ello se presentó un impacto en la deforestación, que favoreció al bosque primario y afectó al bosque secundario.

Otros productos de valor económico son obtenidos a través del manejo de barbechos enriquecidos. Cedro y bambú se obtienen de los barbechos en la provincia de Lingnan Yao de Kwangtung en China (Lebar *et al.*, 1964, citados por Raintre y Warner, 1986), y en Borneo, existe un barbecho económicamente mejorado con rattán, el cual es cosechado después de 7 a 10 años, coincidiendo perfectamente con el período de descanso del terreno; así, mientras se ingresa una buena cantidad de efectivo no se disturba el ciclo de RTQ para la producción de alimentos (Weinstock, 1983, citado por Raintre y Warner, 1986).

Pero los beneficios de los barbechos mejorados pueden verse afectados por las circunstancias en donde se desarrollen. Por ejemplo, Saka y colaboradores (1995, citados por Kumwenda *et al.*, 1996), estimaron que el costo de producir N a través de la biomasa de un barbecho mejorado de *L. leucocephala* fue comparable al de las fuentes inorgánicas.

Kass *et al.* (1994) resumieron la descripción que varios autores han hecho sobre seis sistemas de barbecho económicamente enriquecidos para las Américas, concluyendo que en estos la intervención humana varía de alta a muy baja, que algunos son específicos para ciertas localidades mientras que otros podrían extenderse a varias regiones, que los productos de valor económico se limitan a postes, leña y carbón, frutos, madera o forraje, y que la posible evidencia de mejoramiento de la fertilidad del suelo no es en

ellos muy clara.

2.3. Innovaciones y componentes tecnológicos para la milpa

En Yucatán, la generación de innovaciones tecnológicas para el mejoramiento de la agricultura maicera se ha enfocado primordialmente hacia la solución de los problemas de la fertilidad del suelo y el control de las malezas, en consideración a que estos dos factores son los que limitan el mantenimiento y el aseguramiento de los rendimientos del maíz, y además, son los que promueven el abandono del terreno por los agricultores.

La introducción de nuevos materiales genéticos y la formación de variedades mejoradas de maíz es otra de las líneas de trabajo que la investigación ha mantenido durante años en el estado. Aparejado a todo lo anterior, muchos esfuerzos se han dedicado al conocimiento y entendimiento de las respuestas y el manejo de los recursos naturales; mucho se sabe en Yucatán sobre las características de la vegetación primaria y secundaria, y la relación de estas con la productividad y la sostenibilidad del suelo y la milpa.

Los conocimientos e innovaciones anteriores han permitido a los investigadores y profesionales, proponer mejoras para la diversificación y la intensificación de los sistemas de producción de maíz en la zona. Pero por otro lado, entre los componentes tecnológicos que han sido poco estudiados y mal entendidos están la época de siembra recomendable para maíz y los problemas de plagas y enfermedades de este cultivo.

2.3.1. Innovaciones tecnológicas disponibles.

La investigación agrícola ha generado y mejorado las prácticas de cultivo del maíz incrementando los rendimientos y favoreciendo el uso cuidadoso de los recursos naturales. Ejemplos de esto se da en Sánchez y Agundis (1983 y 1985) quienes generaron las guías de control de maleza en milpa para Yucatán; también González y Reyes (1984) propusieron una guía para el norte del estado. En ambas predomina el control químico basado en Gramoxone, Esterón, Tordón 101 y Hierbamina con dosis que van de uno a dos lt/ha de cada producto, en mezclas o solos, según el caso.

La fertilización fue tratada por Navarrete *et al.* (1982) para diferentes condiciones de suelo, determinando que la fórmula 30-80-00 es adecuada para la milpa roza en terrenos pedregosos y rojos con descanso desde cuatro hasta 10 años y suelos arables rojos. Por su parte González y Reyes (1984) mencionan que dentro de la Zona Henequenera, para terrenos de henequenal decadente, *xlapach*, milpa roza y milpa caña las fórmulas correspondientes son 30-40-00, 00-40-00, 00-40-00 y 30-80-00.

Sánchez *et al.* (1984) propusieron la guía para la milpa en Yucatán, incluyendo la construcción de sartenejas captadoras de agua para la aplicación de agroquímicos, y en fertilización recomiendan la 00-40-00 para suelos *Tze'kel* y la 30-40-00 para *Chac-lu'um*, sólo si ambos terrenos no rebasan los 10 años de descanso; además, estos autores recomiendan la aplicación de medio kg de gallinaza por cepa. Soria (1985) en su guía para maíz-ib-calabaza en la Zona Henequenera, propone la utilización de *xlapach* de 4 a 10 años de descanso, monte con más de 6 años de barbecho, henequenales en decadencia y terrenos de cañada, considerando que a excepción de este último todos los demás son de manejo similar; así, en fertilización recomienda 00-40-00 para terrenos con 4 a 10 años de descanso para primer y segundo año de uso, y para tercer año la fórmula 30-80-00, además de medio kg de gallinaza por cepa opcional, ya que dice, esta incrementa los rendimientos en más de 250 kg/ha en terrenos de primer y segundo años y, en más de 400 kg/ha en suelos de tercero. Por su parte, Acosta *et al.* (1990a) en su guía para maíz y frijol de relevo en suelo *Chac-lu'um* para Yucatán, recomiendan las nuevas variedades V-527 y V-528, reduciendo la época de siembra hasta el 15 de junio si se desea sembrar frijol, y hasta el 30 de junio si sólo se siembra maíz; la fertilización del maíz es con la fórmula 40-100-00; el control de malezas para maíz es con Gesaprim combi cuando estas no hayan germinado todavía y con Gramoxone más Hierbamina o Esterón 47 cuando las malezas tengan entre 4 y 8 cm de alto. Esto último, dicen los autores, cierra aún más el tiempo disponible para la siembra.

Modificaciones del sistema tradicional han sido logradas para implementar el cultivo de maíz en terrenos ociosos o en integración de sistemas. Soria y Dzib (1983) y Hernández y Ramírez (1988) propusieron, en documentos esencialmente similares, el intercalado de maíz y frijol ib al henequén en etapa de cultivo. Soria (1983) y González *et al.* (1997),

propusieron el cultivo de maíz como parte de patrones de cultivo dentro de un sistema de riego por micro mangueras y fertirrigación.

Uno de los retos más grandes de la investigación sobre milpa en Yucatán ha sido el incremento de los años de uso de los terrenos recién desmontados. El primero en intentar conocer el porqué del descenso de la productividad del maíz según los años de uso del terreno en Yucatán, fue Steggerda en 1933, para ello (cita Morley, 1981) sembró durante ocho años consecutivos un mismo terreno con la diferencia de que los primeros cuatro años el control de maleza fue por chapeo con machete, y los últimos cuatro años por deshierbe manual; en producción de grano obtuvo los siguientes rendimientos relativos para cada año: 100, 86, 51, 21, 106, 47, 65 y 1%. Según cita el CIAPY (1984), los análisis de suelo no indicaron detrimento en la fertilidad a través de años y llamó la atención el incremento de la producción al quinto año, que incluyó el primer deshierbe manual; dice Morley (1981) de este trabajo, que el problema de maleza hacia los últimos cuatro a tres años invadía por todas partes el terreno, hasta que este quedó cubierto por una espesa capa de grama.

Después del trabajo de Steggerda, el primero en reportar el uso consecutivo del suelo pedregoso para maíz en Yucatán, fue el Agricultural Research Center (1971), quien al cuarto año de uso logró producir 1,052 kg/ha de maíz, además de considerar una pérdida de grano por pájaro del 20 al 25%. Este rendimiento fue logrado a través de la preparación del terreno por chapeo manual y sin quema, el uso del híbrido H-503, la aplicación de 200 kg/ha de la fórmula 18-46-00 tres semanas después de la siembra y 200 kg/ha de 23.5-00-00 a las 8 semanas después de la siembra, y realizando el control de maleza con dos aplicaciones de 2,4-D. Se reportan daños por pájaro de manera extensiva y de barrenador del tallo en aproximadamente el 50%, además de síntomas de deficiencia de elementos traza; la producción de este cuarto año fue tan grande como la del primero aunque la precipitación fue mucho menor (sólo 441.8 mm anual contra 656.6 mm en promedio de los tres años anteriores). Este Centro concluyó que en apariencia, la producción de maíz puede ser mantenida, al menos al mismo nivel que el primer año después del desmonte mediante el uso de fertilizantes minerales.

Un mayor entendimiento y mejoramiento del uso consecutivo se dio en la década de los 90's. Acosta *et al.* (1990b) describen un sencillo método para sembrar variedades mejoradas en suelos *Chac-lu'um* y *K'ankab* en uso continuo a partir de la milpa caña, pudiendo incrementar el rendimiento hasta dos toneladas y media de maíz por hectárea. Para lograrlo, dicen, haga uso de la quema, construya una sarteneja, use variedades mejoradas como la V-527, V-528 o la V-532, siembre sólo hasta el 30 de junio y fertilice con 225 kg/ha de 18-46-00. Por otra parte, para lograr el uso consecutivo en suelos pedregosos bajo el sistema milpa, Reyes y Sánchez (1990) describen el procedimiento para mantener los rendimientos durante cuatro años como mínimo; ellos dicen que partiendo de milpa caña, prepare el terreno mediante la roza y no queme, complementando la preparación con herbicidas químicos (3 lt/ha), use variedades criollas de tipo *x'nucnal* o la mejorada tipo *x'nucnal* (V-533), fertilice con 175 kg/ha de 18-46-00 y complete el combate de maleza con chapeo tipo *jaranchac* hacia los 30 días de la emergencia.

2.3.2. Variedades mejoradas de maíz en Yucatán

Uno de los componentes tecnológicos que más ha contribuido para el incremento de la productividad del maíz en Yucatán son las variedades mejoradas. Esto, a pesar de que en el sistema tradicional, los recursos genéticos parecen ser el aspecto esencial del cultivo milpero, pues según Terán y Rasmussen (1994), los campesinos yucatecos pueden escoger entre 8 de las 15 variedades criollas que existen en el estado (7 son de ciclo corto y no se usan en la milpa). Los maíces criollos de tipo *x'nuknal* amarillo y el *xmehen-nal* pueden rendir mejor que algunas variedades mejoradas debido a que estas llegan a sufrir la falta oportuna de precipitación cuando se cultivan en los suelos pedregosos del norte del estado (González *et al.*, 1997).

El programa de Mejoramiento Genético de Maíz de la Región Sur de México, a través de la selección recurrente de hermanos completos ha obtenido variedades más rendidoras y de mejores características agronómicas. Una de ellas es la variedad V-527, denominada Uxmal, que es de polinización libre, de ciclo precoz intermedio con un rango de 105 a 110 días de siembra a cosecha, de grano cristalino y color amarillo

intenso; las plantas son de porte intermedio y uniforme; el rendimiento promedio experimental es de 4,450 kg/ha obtenidos en Yucatán y en ensayos internacionales conducidos por CIMMYT entre 1982 y 1984 (Aguilar y Castillo, 1985).

La variedad V-528, conocida como Peninsular, es también de polinización libre, de ciclo tardío con un rango de 120 a 130 días de la siembra a la cosecha; es de grano blanco semidentado y las plantas son relativamente altas; su rendimiento promedio experimental es de 4,387 kg/ha (Aguilar y Castillo, 1985). Tanto la V-527 como la V-528 se distinguen por presentar buena resistencia a la enfermedad del achaparamiento del maíz, cuyo agente causal es *Spiroplasma sp.* y que es transmitido por la chicharrita del maíz (*Dalbulus maydis*).

La V-532 derivada del ciclo cero de selección recurrente en la población Tuxpeño Tropical Cristalino iniciado en 1982, es de grano blanco con textura cristalina, de ciclo intermedio-tardío con un rango de 120 a 130 días de la siembra a la cosecha; esta variedad es apropiada para los suelos mecanizados con buen temporal o riego, y por ser de polinización libre facilita la producción de semilla; los rendimientos experimentales están en alrededor de los 3,598 kg/ha y los de parcelas de validación con productores en 3,332 kg/ha (Aguilar *et al.*, 1990a).

La variedad V-533 supertardía es descrita por Aguilar *et al.* (1990b), mencionando que esta proviene de la recombinación genética de la colecta de maíces criollos de grano amarillo, iniciado en 1978. La V-533 es de polinización libre, con rango de 130 a 140 días de la siembra a la cosecha y de grano amarillo cristalino, las plantas son de porte alto, presentan uniformidad en su floración y sincronía entre la floración masculina y femenina en un alto grado de plantas, además de mayor rendimiento de grano que las variedades criollas. En Yucatán, esta variedad ha logrado producir a nivel experimental 1,226 kg/ha de grano en promedio de ocho ensayos en tres años de prueba, y a nivel de parcela de validación produjo 1,590 kg/ha en promedio de siete sitios.

Aguilar (2000) describe la variedad V-539 conocida como Blanco Uxmal, mencionando que esta es el resultado de 10 años de investigación en maíces criollos locales. La característica más importante de esta variedad es el buen rendimiento que logra en

suelos pedregosos o no, bajo el manejo tradicional del sistema milpa; ella es de polinización libre, alcanza una altura de 2.5 m en suelos pedregosos y hasta 3.0 m en no pedregosos, el grano es blanco de textura semidentada y su mazorca tiene buena cobertura; posee buena sincronía en su floración y la antesis se presenta entre los 65 a 70 días a partir de la siembra, se considera una variedad de ciclo tardío y la cosecha se puede realizar entre los 140 y 150 días después de la siembra. El potencial de rendimiento de esta variedad se expresa mejor en los suelos tipo *Chac-lu'um* y tiene un rendimiento promedio en parcelas de validación de 2,550 kg/ha, superando a los criollos locales y a la V-533 hasta en un 60%.

La formación de variedades mejoradas en Yucatán no ha estado enfocada a la selección de caracteres para tolerancia a suelos de baja fertilidad. De acuerdo con Aguilar (2001, com. per.), el programa de mejoramiento genético se ha enfocado al aumento del rendimiento de grano, a la reducción de la altura de planta y mazorca, el aumento en la capacidad de la cobertura de la mazorca, y para el caso de la V-528, la incorporación de resistencia a la enfermedad del achaparramiento del maíz. Tal vez por ello, Aguilar (2000), recomienda para el cultivo de la V-539 la aplicación de la mezcla de dos bultos del fertilizante 18-46-00 y medio bulto de urea por hectárea para suelos pedregosos de primer año de uso o lo que es conocido en Yucatán como milpa roza, y si el suelo no es pedregoso la recomendación llega hasta cuatro bultos y medio de la misma fórmula.

2.3.3. Leguminosas nativas arbustivas y arbóreas

La vegetación nativa del estado de Yucatán es rica en leguminosas y estas tienen una especial importancia para las familias del área rural. Flores (1989) considera que el número total de especies en el estado debe llegar a unas 260; este autor, reconoce que 160 de ellas tienen nombre maya y que constituyen la familia vegetal con más usos, destacándose los siguientes: ritual, alimenticio, forrajero, medicinal, construcción, maderable, combustible, artesanía, melífero, tintóreo, curtiente, tóxico, abono natural y control biológico (Flores, 1987).

La milpa en Yucatán ha sido sostenida por la dominancia de leguminosas arbóreas y

arbustivas que favorecen la sucesión vegetal de buena calidad después del período de cultivo. Sobre este particular, Sánchez (1993) encontró que los campesinos desarrollan un proceso selectivo que favorece la dominancia de leguminosas (20 a 30% de las especies) dejadas en el terreno después de la milpa; estos tocones de leguminosas aseguran el éxito de la sucesión y contribuyen a la recuperación de la fertilidad del suelo.

Esta tecnología agroforestal campesina implica entonces, una rotación de mediano a largo plazo entre árboles enteros y cultivo, pero además, durante el período de cultivo los tocones de los árboles permanecen dispersos en el terreno. Puede así asegurarse que la milpa maya yucateca es un sistema agroforestal que mantiene a las especies arbóreas tanto durante el período de descanso del terreno como durante el período de cultivo.

Lo anterior no quita que tanto científicos como campesinos concuerden en que la selección de especies de rápido crecimiento, buenas producción y calidad de biomasa, así como con un eficiente reciclaje de nutrimentos, ayudaría al mejoramiento de este sistema a través de la tecnología agroforestal de los denominados barbechos mejorados.

Las siguientes son las especies utilizadas en uno de los experimentos de esta tesis. Se resume aquí la información de literatura, enriquecida con el conocimiento tradicional que los agricultores y sus familias tienen sobre estas plantas.

***Acacia gaumeri* Blake.** Conocida en Yucatán como *catzín*, *catzím* y *yaxcatzín*. Árbol o arbusto perenne, de ocho m de altura o menos; florece durante el período de mayo a diciembre y se reproduce sólo por semilla. Especie melífera. La corteza es empleada contra los escalofríos; un cocimiento de la raíz es remedio contra la diarrea y una aplicación local del extracto de la goma (savia) es usado contra la hemorroides. La madera es empleada como combustible. Como maleza dificulta la cosecha y causa daños físicos al agricultor y al cultivo (Rivera, 1986).

Acacia glomerosa . En ninguna de las fuentes consultadas se encontró información referente a esta especie. Ello a pesar de que fue indentificada por Salvador Flores Guido. Es posible que ello sea un indicativo de su baja importancia etnobotánica.

***Bahuinia unguolata* L.** De acuerdo a Standley (1930), a esta especie se le conoce en Yucatán como *chactsulubtok* o pie de venado. Es un arbusto pequeño, con hojas de 3 a 10 cm de ancho, bilobadas, de lóbulos estrechos, acuminadas, glabras arriba y pubescentes abajo; las flores de 4 a 5 cm de largo, en grandes racimos, con 10 estambres blancos. El extracto de esta planta tiene propiedades purgativas y vermícidas, y es administrada para expeler parásitos intestinales; tiene propiedades sudoríficas. Los palos flexibles de esta especie son muy usados para la construcción de cobertizos.

***Bauhinia divaricata* (L).** Según Adame (1985) y Chávez (1995), a *B. divaricata* se le conoce en la Península de Yucatán como *dzurustoc*, *dzulutoc* y *tsulotok*; en Chiapas como barba de mantel, pie de venado y *totzitzá*; en Tabasco como calzoncillo; en Veracruz como *quui-shasacaca*, y en San Luis Potosí como *tatilbichim* y *papalocuáhuil*. Es un arbusto de uno a ocho m de altura, común en terrenos mecanizados, con raíz pivotante que se reproduce por semilla. El tallo es erecto, ramificado y mide hasta nueve metros; las hojas tienen la textura del papel son alternas, oblongo-elípticas, de tres a nueve cm, bilobuladas, con los lóbulos divergentes y pilosos en su parte inferior. Las flores se presentan en racimos todo el año, son blancas y poco a poco se tiñen de rosa, de dos cm, con solamente uno o dos estambres fértiles; el fruto es una legumbre de tres a 9.5 cm de largo y de uno a 1.5 cm de ancho. La corteza es muy flexible y es usada para hacer cuerdas rústicas y arcos; la infusión de las flores tiene propiedades expectorantes y es un remedio casero contra la bronquitis, como antiinflamatorio, la diarrea y el asma (Rivera, 1986). La raíz es usada contra la disentería y la infusión de las hojas es usada como loción para el dolor de pies (Standley, 1930). Es una especie melífera utilizada como planta de ornato por la belleza de sus flores. Se extiende desde el sur de Texas a Costa Rica y a las Antillas; en México, desde San Luis Potosí a Tabasco y Yucatán.

***Caesalpinia gaumeri* Greenam.** Para Pennington y Sarukhan (1968) la especie es conocida como *k'itamché* o *citanché* en la Península de Yucatán, y la describen como un árbol de hasta 12 m y d.a.p. de 40 cm, de tronco derecho, ramas ascendentes y copa irregular; la madera presenta una albura de color crema claro. Las hojas están dispuestas en espiral, bipinnadas, de 6 a 16 cm de largo, incluyendo el pecíolo, compuestas por 2 a

3 pares de folíolos primarios, a veces con folíolo terminal, cada folíolo primario formado por 7 a 11 folíolos secundarios sésiles, alternos u opuestos de 8 x 5 a 28 x 17 cm. Los árboles pierden las hojas al inicio de la época seca al tiempo de florecer, entre marzo y mayo. Las flores vienen en racimos de 15 a 30 cm de largo, perfumadas, zigomórficas; con 5 pétalos amarillos, de 10 a 15 mm de largo. Esta especie florece de febrero a junio y produce vainas de 6 a 7 cm de largo y 1.5 a 2 cm de ancho, aplanadas, pardo amarillentas, brillantes, que contienen varias semillas aplanadas de 10 x 8 mm; madurando de abril a junio. Esta especie está restringida al noreste y al este de la Península de Yucatán, forma parte de la selva alta o mediana subperennifolia, en terrenos planos con suelos rojos y someros. Standley (1930), menciona que la especie es usada para postes de telégrafos.

***Caesalpinia yucatanensis* Genm.** Especie conocida en Yucatán como *k'amik'ool-chuum* y como *taak'inche'*. Es un árbol o arbusto perenne, de cuatro m de altura o menos. Las hojillas van de oblongas a ovals, de 1.5 a 3.5 cm de largo, obtusas o redondeadas en el ápice, glabras; sus flores son largas, amarillas, con pedicelos largos, en cortos o largos racimos; las vainas son anchas, delgadas, aterciopeladas, elásticamente dehiscentes, cubiertas con pequeñas y elevadas glándulas oscuras (Standley, 1930). Florece durante el período de noviembre a enero y se reproduce sólo por semilla. Es una especie melífera; la madera es empleada para la construcción y como combustible (Rivera, 1986).

***Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.** Sus múltiples nombres comunes, según Pennington y Sarukhan (1968) son cacahuananche o cacahuanano en Sinaloa, Nayarit, Michoacán, Guerrero y Oaxaca; cocoite, cocuite en Puebla, Veracruz y Oaxaca; madre de cacao en Jalisco y Chiapas; sé, palo de corral, primavera en Hidalgo, S. L. Potosí y Puebla; cuchunuc y chanté en Chiapas; frijolillo en México, además de recibir otros 11 nombres en lenguas autóctonas. Este es un árbol de hasta 12 metros y d.a.p. de 35 cm, con el tronco torcido y las ramas ascendentes y luego horizontales, con la copa irregular. La corteza guarda un sabor y olor a rábano. La madera es dura, de albura amarillo cremosa. Las ramas jóvenes en ocasiones son huecas y habitadas por hormigas. Sus hojas están dispuestas en espiral, imparpinnadas, de 12 a 24 cm de largo incluyendo el pecíolo,

compuestas por 2 a 9 pares de folíolos opuestos, de 2 x 1 a 8 x 4.5 cm. Los árboles pierden las hojas en la época de floración, de diciembre a abril. Las flores están en racimos de 10 a 15 cm de largo, dispersos, sus flores son papilionadas, de 2 a 2.5 cm de largo, dulcemente perfumadas. Sus frutos son vainas dehiscentes aplanadas de 15 a 20 cm de largo y 2 a 3 cm de ancho, agudas, penduladas; contienen de 4 a 10 semillas, casi redondas, aplanadas de 1 a 1.4 cm de diámetro, morenas y brillantes; los frutos maduran de febrero a marzo o marzo a junio o julio. Nair (1993) dice que es nativa de América Central y ha sido extensivamente introducida a las Indias Orientales, África y al sur y sureste de Asia; se usa principalmente como sombra de cacao, de café, de vainilla y té, como abono verde, forraje para ganado, producción de miel, leña, cercas vivas, madera para muebles y herramientas, como ornamental y en cultivo en callejones.

***Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit.** Es una especie distribuida mundialmente y conocida como *ipil-ipil* en las Filipinas, *lamtoro* en Indonesia, *koa haole* en Hawai y leucena, lusina o lukina en la mayor parte de África (Lulandala and Hall, 1991); su nombre en español en México es guaje, derivado del nombre indígena nahua *huaxín*, sin embargo, existen otros 12 nombres correspondientes para varios grupos de lenguas étnicas de México (Hughes, 1998). Lulandala y Hall (1991) mencionan que *L. leucocephala* es un árbol sin espinas, que tiene hojas bipinnadas con 4 a 9 pares de pináculos en un raquis de 15 a 20 cm de largo; cada pináculo alcanza hasta 10 cm de largo y contiene 11 a 17 pares de folíolos que son oblongos, laceolados y glabros; las inflorescencias son capitadas, blancas o color crema, con 2 cm de diámetro; cuando maduran, las vainas son dehiscentes y toman un color café oscuro y comprimido, tienen 20 cm de largo y 2 cm de ancho y cada una puede contener de 18 a 25 semillas; estas son café lustrosas, comprimidas y elípticas u ovaladas, con más de 22,000 semillas en un kilogramo. *L. leucocephala* presenta variación intraespecífica: la tipo Común, en forma de arbusto, de crecimiento bajo, muy ramificada, semillosa y con tendencia a maleza, la segunda es la tipo Salvador o Gigante, que es erguida, arborescente, ligeramente ramificada, menos semillosa, y la tipo Perú, que difiere de ambas especies (Hughes, 1998). Los usos de esta especie son diversos y están fuertemente basados en el conocimiento tradicional, recientemente ampliados y mejorados por el desarrollo de

nuevos conocimientos técnicos. Su madera tiene un fuerte potencial como combustible doméstico e industrial, postes, madera aserrada, muebles, pisos de mosaico y pulpa, pero como madera aserrada se ve limitado por sus dimensiones pequeñas; hay un fuerte consenso de que esta especie es, en la mayoría de los aspectos, uno de los árboles forrajeros de la más alta calidad y de mejor palatabilidad de los trópicos (Duke, 1981); varios estudios muestran la factibilidad de usarla para mejorar la productividad agrícola en combinaciones integradas de árboles-cultivos-ganadería a través del mantenimiento de la fertilidad y/o la prevención de la erosión del suelo (McIlroy, 1984; Lulandala and Hall, 1991; Hughes, 1998). Algunas de las limitantes de esta especie, y que están siendo fuertemente estudiadas son la resistencia al sílido (*Heteropsylla cubana*), tolerancia a frío y a la sequía, calidad de madera y su tendencia a convertirse en maleza.

***Lonchocarpus rugosus* Benth.** Adame (1985) y Standley (1930) mencionan que se le conoce en la Península de Yucatán como *kanazín*, *canalzín*, *kanalzín* y en Chiapas como mata de buey. Es una planta leñosa perenne, común en terrenos no mecanizados, con raíz pivotante que se reproduce por semilla. El tallo es erecto, con la corteza poco escamosa y mide hasta 20 m; las hojas son pinadas con nueve a 17 hojuelas oblongo-elípticas de 2.5 a 6.5 cm; las flores se presentan en racimos de octubre a diciembre, son papilionadas, rojas, de 0.1 cm de largo y 0.5 cm de diámetro; el fruto es una vaina aplanada, indehisciente, hasta de 14 cm con una a seis semillas. La madera es fina y amarilla y se utiliza para durmientes.

***Lonchocarpus yucatanensis* Pittier.** En Yucatán se le llama *balchechi* según Standley (1930), y es un árbol de 18 m de alto, con flores rojo púrpura. Según Flores (2001) esta especie se distribuye mayormente hacia la parte centro-noreste de Yucatán y florece entre los meses de enero a mayo con un pico ubicado dentro del mes de marzo.

***Mimosa bahamensis* Benth.** Conocida en Yucatán como zaccatzím o sascatzim. Standley (1930) la reporta como un arbusto o árbol pequeño de dos a seis metros de alto; armado con pequeñas espinas; foliolos numerosos, ovales u oblongos, de 4 a 5 mm de largo, glabros; las flores son rosadas, en densas cabezas paniculadas; vainas delgadas que presentan en los márgenes unas pequeñas alas laceradas. Flores (2001) reporta que

esta especie es usada en las comunidades mayas como combustible y melífera.

***Piscidia piscipula* (L) Sarg.** Adame (1985) y Chávez (1995) mencionan que en la Península de Yucatán a esta especie se le conoce como *jabín*, *habín*, *haabín* y *jaabín*; en Guerrero como *cocuile*, *matapez*, *matapeces* y *tatzungo*; en Chiapas como *jamcui* y *matapiojo*; en Michoacán como *chauricua* y *zatzumbo*; en Veracruz como *cocuile*, *scaak'an-kihui*, y en San Luis Potosí como *peonía*. Es una planta leñosa, perenne, común en cultivos de terrenos no mecanizados, con raíz pivotante, que se reproduce por semilla, el tallo es erecto, ramificado y llega a medir de 15 hasta 25 metros de altura; las hojas son alternas, compuestas o pinadas, de 22 a 33 centímetros de largo y 21 a 25 de ancho con cinco a nueve pinas ovales u oblongo-elípticas, que miden de ocho a 14 cm de largo por 4.5 a 5.5 de ancho; las flores son rosadas o blanco con rojo y se presentan en racimos, en marzo y abril, son papilonadas de cuatro a 12 cm; el fruto es una vaina indehiscente con cuatro alas que miden de dos a 7.5 cm de largo. La madera es de color café amarillento, muy lustrosa, dura, pesada, resistente y durable; se utilizó para ruedas de carreta y ahora se usa como combustible, elaboración de carbón, postes y durmientes; el follaje es apetecible para el ganado y la corteza es útil para detener las hemorragias, cicatrizar pequeñas heridas, aliviar el dolor de muelas y la sarna de los perros. Las hojas y corteza machacadas son lanzadas al agua para que los peces mueran y sea fácil su captura. Esta especie se distribuye en el sur de Florida, México, Belice, Antillas y norte de Sudamérica.

***Pithecellobium albicans* (Kunth) Benth.** Standley (1930) lo reporta como *chucum*, *chimay* y *huizache*. Es un árbol, algunas veces de 20 m de alto, armado con espinas cortas, hojas bipinnadas, de folíolos numerosos, oblongos, de 3 a 6 mm de largos; sus flores en cabezas de panículas; los frutos son delgados, pequeños, de 10 cm de largo, finamente pubescentes. La madera es usada para la construcción de tejados; su corteza es rica en taninos y se usa para curtir pieles. Una infusión de la corteza es empleada como remedio para la diarrea.

***Pithecellobium dulce* Benth.** Pennington y Sarukhan (1968) dicen que esta especie es más conocida como *huamúchil*, *humo* y *pechejumo* en S. L. Potosí, *pinzan*, *chucum*

blanco, guaymochile y pinzón en Guerrero, como múchite, *yaga-bixihui*, *yaga-biguichi*, *nocuana-guiche*, *piquiche*, *beb-guiche*, *lala-nempá*, *ma-gju*, y *ticuahndi* en Oaxaca, como *lileka* en Puebla, *macachuni* en Chihuahua, matúrite en Jalisco, *nempa* y *nipe* en Chiapas, *ümi* en Nayarit, *maco'ochiini* en Sonora y como *ts'uni'che* en Yucatán. Es un árbol de copa piramidal que llega a medir hasta 20 m de altura con tronco derecho, tiene ramas delgadas con un par de espinas de casi 7 mm de largo en la base de las hojas; su madera es crema amarillento y cambia a rosada con el tiempo. Hojas dispuestas en espiral, aglomeradas, bipinnadas, de 2 a 7 cm de largo incluyendo el pecíolo, compuestas por un par de folíolos primarios cada uno con un par de folíolos secundarios sésiles, de 10 x 6 a 40 x 22 mm. La flor es una inflorescencia axilar de 5 a 30 cm de largo; florece de noviembre a mayo. Produce vainas de hasta 20 cm de largo y 10 a 15 mm de ancho, dehiscentes, enroscadas, tomentosas, péndulas, con angostamientos entre las semillas; los frutos maduran de marzo a julio o agosto. La madera no recibe usos industriales en México, pero es usada para la construcción, como poste y elaboración de cajas; es usada como combustible pero genera mucho humo; es apreciada como sombra, cerca viva, producción de miel, oramental y por su producción de taninos; los frutos maduros son consumidos por el sabor dulce de su arilo (Nair, 1993).

***Pithecellobium leucospermum* Brandeg.** Conocido localmente como *yaaxek*, es un arbusto espinoso; de folíolos numerosos, oblongos, de 7 a 15 cm de largo, pubescentes o glabros, redondeados en el ápice; las flores aparecen en tallos delgados. Mayormente en cabezas solitarias; de vainas comprimidas, glabras, de 20 cm de largo y 7 a 10 mm de ancho. La madera es dura y se usa para la construcción (Standley, 1930).

***Senna octufolia*.** Esta especie no está reportada por ninguno de los autores consultados, a pesar de que fue directamente identificada por Salvador Flores Guido.

***Senna racemosa* (Miller) Irwin and Barneby.** Conocida como *K'aan lool* en Yucatán, es un árbol de seis a ocho m de altura con hojillas en forma de lanza que miden de tres a seis cm de largo. Sus flores, de color amarillo intenso, se agrupan en densos racimos y se les encuentra todo el año. El fruto es una vaina lisa de color café oscuro. Se encuentra desde Veracruz hasta la Península de Yucatán, Oaxaca y Chiapas. Es un árbol utilizado

como ornamental por sus brillantes y bellas flores amarillas. Su madera es durable y se utiliza para la elaboración de mangos de herramientas, la construcción de los bajareques de las casas y como leña; las hojas cocidas se recomiendan para curar ventosidades (Chávez, 1995).

***Sesbania sesban* (L.) Merr.** Nair (1993) describe que esta especie es nativa de Egipto y fue ampliamente introducida a África y Asia tropicales. Se desarrolla en el trópico subhúmedo, entre 300 a 1200 m.s.n.m., donde ocurren de 350 a 1,000 mm de precipitación anual y en suelos variables. Es un arbusto de 6 m de altura, que crece rápido, fija N, rebrota bien y se propaga por semilla y plántulas. Se usa como leña y forraje, sus hojas y rebrotes jóvenes se consumen como verdura, su madera es muy dura y la fibra es útil, se le ve como planta ornamental y en agroforestería se usa como abono verde, en el control de la erosión, en barbechos mejorados y como barrera rompevientos. Su fronda abierta y ligera permiten el asocio de cultivos; produce hasta 30 ton/ha de leña; es tolerante a suelos ligeramente salinos y a encharcamientos; y tiene una corta vida. *S. sesban* ha probado ser la especie más promisoría para los barbechos mejorados en Zambia debido a su rápido crecimiento, su alta capacidad de fijación de N, su alto contenido de nutrimentos en la hojarasca, resistencia a sequía, facilidad de corte y descomposición de raíces; no es tan palatable y produce gran cantidad de semillas (Kwesiga and Beniest, 1998).

2.3.4. Leguminosas de cobertera

***Mucuna pruriens* (L.) DC.** Conocida comúnmente como mucuna, nescafé, pica-pica, y velvetbean. *M. pruriens* es una planta de rápido crecimiento en días cortos, con pocos tallos de 3 a 18 m de largo y sus hojas son trifoliadas. La especie florece a mediados de octubre y parece responder al fotoperíodo; las plantas mueren naturalmente después de semillar, alrededor de los 45 a 60 días de la floración (Buckles *et al.*, 1998). Exhibe una razonable tolerancia a la sequía, a los suelos de baja fertilidad y la alta acidez, aunque es sensitiva a las heladas y a los encharcamientos (Duke, 1981).

Según Duke (1981), *M. pruriens* es usada como mejoradora del suelo, como cobertura

para el control de malezas de gramíneas, como abono verde y como especie forrajera; en Norteamérica es una planta ornamental; se le usa como alimento humano después de eliminar las sustancias tóxicas. Continúa este autor mencionando que de la especie se extrae la L-Dopa, un compuesto para tratar el mal de Parkinson, y que algunas especies de *Mucuna* pueden ser afrodisíacas, eméticas y venenosas.

Esta especie se asocia bien con maíz y también puede ser manejada en rotación con este cultivo (Duke, 1981). Buckles *et al.* (1998), concluyen, que han sido los agricultores quienes han implementado sistemas productivos con el uso de *M. pruriens*, como ejemplo citan que los Popoluca de Veracruz desarrollaron barbechos para restaurar la fertilidad del suelo, eliminar las malezas y mejorar la estructura del suelo, los Chontales integraron la especie al maíz y la calabaza en un sistema de intercultivo, los Mixe la aprovechan para el control de malezas.

***Canavalia ensiformis* (L.) DC.** Conocida comúnmente como canavalia, jackbean, horsebean, gotani bean y overlook bean. Duke (1981), la describe como una planta usualmente anual, arbustiva, de tallos erectos o semierectos o colgantes y de 0.6 a 1.6 m de largos; sus hojas son trifoliadas, de folíolos elípticos a elíptico-ovalados u oblongos, con 5.7 a 20 cm de largo y 3.2 a 11.5 cm de ancho; de vainas lineales-oblongas, delgadas, de 15 a 35 cm de largo y 3 a 3.5 cm de ancho, contienen de 12 a 20 semillas de color blanco o marfil. *C. ensiformis* es relativamente resistente a sequía; desarrolla bien bajo lluvias bien distribuidas, de 900 a 1,200 mm y temperaturas de entre 15 a 30° C.

C. ensiformis, según Chel (1987), es una de las fuentes más prometedoras de proteína vegetal para consumo de monogástricos y que fue introducida a Yucatán, hacia 1980; aquí ha logrado producciones máximas de grano de 2,570 kg/ha/año (Carvajal, 1986), con un contenido de proteína del 29 (Kessler, 1985) al 33% (Herrera, 1983). Esta planta tiene aunada, a su alto contenido proteínico, una buena cantidad de almidón, el cual provee al grano una alta energía metabolizable (Chel, 1987), siendo esta en aves de 13.2 MJ/kg, la cual es comparable al 14.8 MJ/kg existente en el sorgo, pudiendo considerarse además como una fuente balanceada de Ca y P según Ellis y Belmar (1985, citados por Chel, 1987). Sin embargo, el grano contiene factores antinutritivos como la ureasa,

inhibidores de proteasas, hemaglutininas y glucósidos cianogénicos, que son susceptibles a la degradación por calor, pero también contiene canavanina y canavalina, dos aminoácidos termoresistentes. Estos tóxicos limitan su utilización sin tratamiento a sólo el 10% de la dieta de monogástricos y 30% en la de rumiantes (Herrera, 1985).

C. ensiformis es principalmente cultivada para abono verde, como cobertera del suelo contra la erosión y como forraje. Duke (1981) reporta que se asocia a cacao, café y caña de azúcar como abono verde, que las vainas tiernas y sus semillas son usadas como vegetales, sus flores y hojas jóvenes son usadas como condimento en Indonesia, los granos tostados son sustituto del café, y que los granos pueden ser consumidos después de largos cocimientos; por ejemplo, explica que en Indonesia, la semilla en hervida dos veces, pelada, dejada en agua corriente por otros dos días, fermentada por 3 a 4 días más y finalmente cocinada para el consumo.

2.4. La agroforestería para el mejoramiento de la milpa

La agroforestería, como ciencia, implica dos principios claves y dos propiedades deseables (Sánchez, 1995): el principio de **competencia** entre los componentes de producción, considerando el espacio y el tiempo, y el principio de **complejidad** de su nivel de estudio (socioeconómico, ecológico y metodológico); la propiedad de **viabilidad** biológica, de mercado y política, y la propiedad de **sustentabilidad** de uso y mantenimiento de la calidad y cantidad de los recursos naturales.

Por lo anterior y otras razones, definir la agroforestería no ha sido tarea fácil. En una excelente revisión, Krishnamurthy y Ávila (1999) compilan 14 diferentes definiciones de agroforestería. El ICRAF (1997c) la define, en su más reciente intento, de la siguiente manera: “la agroforestería es un sistema dinámico, ecológicamente basado en el manejo de los recursos naturales y que a través de la integración de árboles en las tierras de cultivo y de pastoreo, diversifica y sostiene la producción para el incremento de los beneficios sociales, económicos y ambientales de los usuarios de la tierra a todos los niveles”. Pero, en su forma más simple: la agroforestería es el uso de árboles en los sistemas de producción agropecuarios.

2.4.1. Funciones y objetivos de la agroforestería

Las funciones y los objetivos de la agroforestería no son inmutables; estos quedan determinados por la institución que trabaja con el enfoque agroforestal, en base a las intenciones de mejora que tiene para sus clientes o beneficiarios. En manos de los usuarios o productores, la agroforestería tendría funciones y objetivos relacionados con el bienestar humano y la resiliencia ambiental, a través del incremento de los ingresos para el alivio de la pobreza, la seguridad alimentaria y nutricional, y el aseguramiento y ampliación de los beneficios ambientales.

El ICRAF (1997b) considera que la agroforestería logrará un impacto en el bienestar humano y el ambiente mediante las dos funciones primordiales de los árboles – la generación de servicios y la de productos. Con estas dos funciones, el ICRAF persigue cuatro objetivos claves de la investigación: aliviar la pobreza, incrementar la seguridad alimentaria, incrementar la seguridad nutricional, y aumentar la resiliencia ambiental.

Para Krishnamurthy y Ávila (1999), la función de la agroforestería tiene que ver con un cambio de paradigma. Estos autores consideran que las estrategias de desarrollo de los pasados 20 años frustraron a la sociedad y que esta, en su búsqueda de soluciones más acordes a la problemática percibida, dio origen a la estrategia del Desarrollo Sostenible; en esta encaja perfectamente la agroforestería, como un sistema sostenible del uso de la tierra, cuyas funciones o servicios tienen que ver con la producción de alimentos, la reducción de la pobreza y la reducción de la deforestación, a través de efectos indirectos de construcción de capital natural.

2.4.2. La estrategia agroforestal para la milpa

La milpa es de por sí un sistema agroforestal, pero que puede ser sustancialmente mejorado con tecnologías agroforestales y otras innovaciones tecnológicas. Los barbechos mejorados, que consisten en plantar árboles “especialistas” en lugar de esperar la regeneración natural; y el uso de coberturas vegetales, que es la asociación de leguminosas rastreras fijadoras de N con el cultivo del maíz, se presentan como buenas opciones alternativas con potencial para reducir la problemática de la producción

maicera. Estratégicamente, innovaciones tecnológicas como el uso racional de herbicidas y fertilizantes, variedades mejoradas y especies exóticas, entre otras, deben ser incluidas en las tecnologías o sistemas agroforestales, con el fin de potenciar los beneficios.

La milpa es necesaria y no puede desaparecer. Hoy la agroforestería tiene la alta responsabilidad de ayudar en el difícil trabajo de lograr el mejoramiento de la producción de maíz y en buscar la sostenibilidad del sistema milpa. Los científicos entienden: que la sostenibilidad de la milpa está dada por los árboles del bosque y acahuals maduros; que los árboles y algunas plantas tienen capacidad de mejorar el suelo y reducir las malezas; que los suelos, que mantienen una buena cobertura vegetal, retienen mejor la humedad de la tierra; y que el sistema de la milpa se podría fortalecer y mejorar con el uso estratégico de árboles y plantas adecuadas de uso múltiple.

Los campesinos de Yucatán, sus familias y la sociedad, esperan soluciones expeditas, pertinentes y adecuadas a los problemas de producción y de conservación de recursos naturales. Por ello la investigación agroforestal, en consideración a las condiciones y las limitantes biofísicas, a los aspectos sociales de los pobladores, a las preocupaciones de carácter ecológico y a las necesidades económicas y de bienestar de los campesinos, está encaminada en la búsqueda de soluciones estratégicas alternativas que consideren el uso de árboles y plantas que reciclen eficientemente los nutrientes del subsuelo, que tengan la capacidad de fijar N atmosférico, que cubran permanentemente el suelo y reduzcan la pérdida de humedad en el mismo, que agobien y compitan contra las malezas, que mejoren la disponibilidad de P, y que además generen otros productos útiles y comerciales así como servicios al ambiente.

2.4.3. La participación de campesinos maiceros

El objetivo de buscar la participación de los agricultores en la investigación es diseñar y evaluar tecnologías agroforestales viables y que contengan una alta garantía de adopción. En una estrategia participativa los campesinos, técnicos de campo e investigador, tienen los roles respectivos de implementar las parcelas de investigación,

apoyar tecnológicamente, y coordinar y reportar; a la vez, todos retroalimentan y reunidos enseñan y aprenden, opinan y diseñan, analizan y evalúan, mejorando las acciones del dinámico proceso de la investigación participativa.

Ayala (2001) trabajó durante cinco años con milperos con los objetivos de valorar su aceptación por los barbechos mejorados con arbóreas y rastreras, obtener sus opiniones y sugerencias de mejoramiento, y sopesar la viabilidad de la tecnología propuesta. El autor encontró, que después de un proceso que incluyó la participación voluntaria, el rescate de conocimiento tradicional y la evaluación consensada del proceso de investigación, los campesinos dieron mucha atención a: 1) las especies vegetales prioritarias y cómo establecerlas con éxito, 2) al tipo de terrenos más conveniente y al diseño de la tecnología agroforestal más adecuada, y 3) a las necesidades y apoyos para mejorar el trabajo interactivo.

La experiencia del trabajo participativo con campesinos arrojó las siguientes enseñanzas (Ayala, 2001; Haggard *et al.*, 2001):

- que la reducción del período de barbecho y el aumento del período de cultivo parece ser una respuesta a la optimización de la producción natural de la tierra y mano de obra ante el aumento de las opciones de sustento;
- que los productores opinan que la pérdida de la fertilidad del suelo a través del cultivo consecutivo, lo errático del temporal y la incidencia de malezas, plagas y enfermedades son las principales causas en la obtención de los bajos niveles productivos de la milpa;
- que hasta ahora, las tecnologías generadas por la investigación sólo han solucionado parcialmente la problemática de su sistema, pues se han desatendido los problemas y oportunidades productivas para la fase de barbecho;
- que algunos agricultores tienden más hacia la intensificación del uso del suelo, y a la vez tienen mayor disponibilidad a la experimentación y al cuidado de los recursos, lo que quizá tiene que ver con el origen de las familias, la parcelación

ejidal temprana, sus antecedentes agropecuarios, una más amplia y profunda concientización para el cuidado de los recursos naturales y/o las condiciones de vida más restrictivas;

- que la investigación participativa resulta riesgosa (frágil) debido a la dificultad que tienen los agricultores para responder a las obligaciones contraídas, la falta de tiempo de técnicos y del investigador para proporcionar una buena asistencia y recopilar la valiosa información que generan los participantes;
- que la opción agroforestal de barbechos mejorados es novedosa para los campesinos, pero que estos tienen confianza e interés en la misma y están dispuestos a probar el sistema en mayor superficie de sus terrenos, así como a colaborar con sugerencias de manejo que aseguren y faciliten las acciones;
- que la participación campesina mejora a medida que se aclaran las ideas y objetivos de la investigación con el auxilio de situaciones más reales, por ejemplo, en visitas a parcelas de innovadores y a campo experimental;
- que los campesinos se integran excelentemente al equipo de trabajo, con responsabilidad, dedicando esfuerzos para asistir a reuniones de trabajo a pesar de las distancias, el tiempo y el trabajo implicados; además, ellos son pacientes y atentos con los técnicos y el investigador durante las visitas en sus casas y parcelas y;
- que las ideas, sugerencias y estrategias que formulan los campesinos participantes son cada vez más acordes a los objetivos que se persiguen en los sistemas de barbechos mejorados, con lo que el equipo se fortalece y los productos se mejoran.

2.4.4. Productos y beneficios socioeconómicos

Los barbechos mejorados y las leguminosas de cobertera asociadas a maíz buscan, desde el punto de vista de la investigación y en atención a la problemática de producción maicera, mejorar la capacidad productiva del suelo a través de una mayor disposición de nutrimentos, de un uso más eficiente del agua disponible, la reducción de malezas y un

aumento en las condiciones físicas del suelo y en el confort de las plantas de maíz.

Sin embargo, para que los campesinos estén dispuestos a invertir en la adquisición de nuevos conocimientos y aumentar el uso de su mano de obra e insumos, es necesario que las tecnologías alternativas proporcionen otros productos y beneficios tangibles en beneficio de los productores y sus familias.

Los barbechos mejorados y las leguminosas de cobertera tienen la capacidad potencial de suministrar a los agricultores, productos y servicios durante el período de barbecho o mientras paulatinamente hacen su función mejoradora del suelo cuando se asocian al maíz. Así, las especies arbustivas y arbóreas pueden generar, según el tiempo de cultivo, forraje para el ganado, ramas y palos como combustible, palos y hojas para construcción, gomas y resinas, entre otros extractos; por su parte, las leguminosas de cobertera proporcionarían semillas para nuevas siembras o la alimentación animal, follajes para el ganado y sustancias para la industria.

Un solución maicera donde falten otros productos y beneficios socioeconómicos múltiples, pertenecerá a una agroforestería carente de integralidad, faltante de diversidad y seguramente, de baja sostenibilidad; una agroforestería inactiva, donde las funciones de servicio para el beneficio social, económico y ambiental estén limitados o escasamente aprovechados.

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH

3. PROBLEMÁTICA MAICERA

Los campesinos están inconformes con los resultados de la milpa, pues cada vez les es más difícil conseguir selva alta o acahuales maduros que tumbar. Ya no encuentran suficientes palos, leña ni otros productos. Con pocas áreas arboladas, la fauna silvestre se aleja, limitando la cacería. Antes, dicen ellos, la milpa daba comida, forrajes y productos para la venta.

Los campesinos y los científicos concuerdan en que un acahual muy joven todavía no regenera la fertilidad del suelo. Como faltan árboles, la milpa está “debilitada” pues los árboles son los encargados de “subir” los nutrimentos del subsuelo para el maíz. Un suelo descubierto se seca pronto y las raíces del maíz no desarrollan y la producción se afecta. En los terrenos de uso consecutivo con maíz, las malezas persisten y son más agresivas; con los años aumentan la incidencia de plagas y las enfermedades del maíz.

El problema esencial es que los campesinos y sus familias obtienen muy poco maíz, pues ya no hay tiempo para descansar suficientemente los terrenos. Bajo esta nueva condición, todo el esfuerzo de su trabajo corre un alto riesgo de perderse y cada vez se ven más obligados a gastar su escaso dinero en agroquímicos para obtener un poco de maíz; pero de cualquier manera, habrá menos leña y pocos palos. Tristemente, los milperos ven como se van reduciendo y perdiendo los beneficios que antaño les aseguraba su sistema.

4. OBJETIVOS

- Evaluar el comportamiento agronómico y los efectos de dos leguminosas de cobertera sobre el desarrollo y la productividad del maíz, cuando se cultivan como barbecho corto y cuando se asocian intercaladas al maíz, ambos casos con o sin la aplicación de fósforo.
- Evaluar el establecimiento, el desarrollo y los efectos sobre el mejoramiento de la productividad de maíz de 18 leguminosas arbustivas y arbóreas manejadas como barbecho cultivado de cuatro años en un suelo Cambisol ródico del sur de Yucatán.

5. HIPÓTESIS

- Existen leguminosas rastreras, arbustivas y arbóreas, con características agronómicas deseables para el asocio con maíz y el establecimiento de barbechos cortos mejorados, y que pueden ser estratégicamente utilizadas para el mejoramiento de la milpa, por sus efectos benéficos sobre la productividad del maíz, la generación de productos diversos y el aporte de servicios al suelo y los cultivos.
- Estas especies mejoran su papel interactivo potencial cuando son racionalmente manejadas y apoyadas con insumos mínimos como el fertilizante fosforado.

6. METODOLOGÍA

6.1. Características ecológicas del estado de Yucatán.

El estado de Yucatán presenta características ecológicas especialmente definidas y diferentes al resto del país. Las actividades agrícolas y la gran mayoría de sus prácticas de cultivo están determinadas por los factores de índole ambiental. A continuación se describen las condiciones bajo las que se desarrolla la agricultura maicera de RTQ y algunos de sus factores ecológicos que la favorecen o limitan.

Características climáticas. El clima es predominantemente caluroso y subhúmedo, siendo la precipitación pluviométrica el factor climático de mayor variabilidad. La cantidad de agua que aporta la precipitación sobre la región es, en promedio, del orden de los 983 mm anuales; el 60% de las localidades recibe aportaciones por arriba del valor promedio, siendo la mayor parte de la entidad donde se reciben las mayores cantidades de lluvia (Duch, 1988).

La precipitación pluviométrica se distingue por mostrar un gradiente de seco a subhúmedo, cuyo monto anual fluctúa desde poco menos de 500 mm en el extremo noroccidental hasta poco más de 1,200 mm en el suroriental, dejando una amplia porción territorial intermedia donde predominan las precipitaciones de 1,000 mm aproximadamente. La distribución de las lluvias durante el año es variable, caracterizándose una estación lluviosa con duración de 6 a 7 meses donde ocurre el 82% de la precipitación anual y otra seca de 5 a 6 meses. En las Figuras A.1 hasta A.6, puede verse la precipitación ocurrida, la evaporación y la deficiencia hídrica para los seis años de experimentación de presente estudio.

La temperatura media anual se sitúa entre 24° C en la costa y partes elevadas del sur del estado y los 28° C en la porción centro occidental, con una oscilación termal de las medias mensuales entre 5 y 7° C. La humedad relativa del aire que prevalece durante el año es superior al 70%. Las Figuras A.7 hasta A.12, muestran las temperaturas máxima, mínima y media mensual para los años de conducción de los experimentos de este

trabajo.

Bajo estas condiciones de precipitación y temperatura, es importante que la siembra del maíz se realice en el mes de junio, ya que a medida que la fecha se aleja del óptimo, el rendimiento tiende a disminuir debido a la estación de crecimiento que se tiene en el estado (Aguilar y Villareal, 1999). El período húmedo para el crecimiento del maíz en el sur de Yucatán, sólo comprende los meses de junio a septiembre (cuando la precipitación es mayor que la evapotranspiración) y su probabilidad de ocurrencia es del 70% (Aguilar y Villareal, 1999).

Descripción de la vegetación. Los principales tipos de vegetación son selva mediana subcaducifolia y selva baja caducifolia, sin embargo, esta vegetación primaria ha sido prácticamente modificada a vegetación secundaria como resultado de las continuas talas y quemas que se realizan para la práctica del sistema agrícola de RTQ, el establecimiento de pastizales y la tala de especies maderables. De esta manera las condiciones para el establecimiento de nuevas milpas son de una variedad muy amplia, pudiendo generar problemas de baja fertilidad del suelo y alta incidencia de malezas.

Características del suelo. La mayoría de los suelos que se encuentran en Yucatán son de naturaleza pedregosa, alcanzando el 90% del total territorial. Predominan los Litosoles y las Rendzinas, acompañados de Cambisoles, Luvisoles y Vertisoles.

Los Litosoles y Rendzinas se encuentran generalmente asociados, apareciendo en casi todas las distintas porciones territoriales del estado, pero con una mayor dominancia en las porciones norte, centro y occidente; son suelos muy delgados (cero a 30 cm) y de alta pedregosidad (20 a 25%) que subyacen a la llamada coraza calcárea, la cual aflora continuamente (10 a 20%). Inmediatamente abajo de la coraza calcárea se presenta el *sahcab* blando y conchífero (coquinas) que posibilita el sostén y suministro de humedad para plantas con sistema radical profundo (Duch, 1988).

En términos generales, estos suelos son de textura franco-arcillo-arenosa; ricos en MO, K, Ca y Mg y pobres en P; el pH es ligeramente alcalino y no presentan problemas de sales. La variación física, química y morfológica encontrada en estos suelos depende de

su localización y de los suelos con los que se encuentran asociados. La actividad maicera de RTQ en los suelos pedregosos del norte-centro de Yucatán, produce en promedio 642 kg/ha (González *et al.*, 1997).

La región oriente del estado se caracteriza por la presencia de Cambisoles y Luvisoles someros, además de los Litosoles y Rendzinas, con apego al patrón del relieve, destacándose la posición de los suelos someros y pedregosos sobre las lomas y montículos, mientras que los Cambisoles y Luvisoles se encuentran en pequeñas planadas y hondonadas que alternan con las formaciones antes mencionadas (Duch, 1988). La mayor parte de los suelos de esta región está dedicada a praderas con ganadería extensiva de bovinos y parte de ella es considerada dentro de la franja maicera por excelencia.

Como regla general, los Cambisoles y Luvisoles someros que caracterizan a esta zona presentan espesores entre 30 y 60 cm, son ricos en MO, pobres en P, ricos en Ca, Mg y K y ligeramente alcalinos (Cuadro A.1.).

La zona sur del estado presenta predominancia de suelos Luvisoles profundos, que de igual modo no excluye la presencia de Litosoles y Rendzinas, y de Cambisoles y Luvisoles someros. La profundidad media que presentan varía de 60 a 120 cm, sin embargo la utilización de maquinaria queda limitada a las pequeñas extensiones que logran abarcar estos suelos dada la compañía de suelos menos profundos y más pedregosos. La mayor parte de los suelos profundos está dedicada a la producción agrícola milpera y a la ganadería extensiva de bovinos.

Los Luvisoles muy profundos y los Nitosoles (más de dos metros de profundidad) se distribuyen en correspondencia con las formaciones cerriles que se levantan en la parte suroccidental del Estado. Es en esta zona edáfica donde se ha venido impulsando con mayor fuerza la agricultura mecanizada para el cultivo de maíz.

Los Vertisoles del sur del Estado son suelos profundos, sin piedras ni afloramientos rocosos, cuya característica principal es la presencia de elevados contenidos de humedad en su perfil durante ciertas épocas del año, y en los que se destaca la ausencia de la típica

coraza calcárea yucateca. Su textura predominantemente arcillosa y su elevado contenido de humedad son condiciones que dificultan las labores de cultivo.

La dominancia en el estado de Yucatán de suelos extremadamente pedregosos, de escasa profundidad, baja capacidad de retención de humedad y bajo contenido de P aprovechable afectan la sustentabilidad de la actividad maicera de RTQ.

Presiones bióticas. El ambiente tropical subhúmedo del estado de Yucatán puede ejercer altas presiones bióticas sobre los sistemas de producción agropecuaria. Para el caso del maíz estas pueden presentarse en forma de plagas como el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) que causa severos daños al cogollo de la planta cuando deja de llover por varios días, y el gusano medidor (*Pseudoplusia includes*) que es una plaga ocasional que se alimenta de las hojas del maíz y se presenta antes de la floración; otras como el pulgón del maíz (*Rhopalosiphum maydis*), la chicharrita del maíz (*Dalbulus maydis*), la gallina ciega (*Phyllophaga spp.*), el gusano alfilerillo (*Diabrotica spp.*) y los gusanos trozadores (*Agrostis spp.*) sólo causan daños ocasionales (Ramírez, 1993).

Las principales enfermedades del maíz que se presentan en Yucatán son la del achaparamiento del maíz, que es causada por un micoplasma transmitido por *D. maydis*, afectando la coloración de las hojas, el crecimiento axilar y el acortamiento de los entrenudos; también se presenta el carbón común del maíz, causado por *Ustilago maydis*, cuyo síntoma característico es la formación de agallas blancas que al romperse liberan esporas negras; el tizón de la hoja (*Helminthosporium maydis*) es una enfermedad común que ataca a las plantas del maíz antes o durante la floración, pudiendo causar la muerte de la planta y en las parcelas se nota una apariencia de daño por sequía (Díaz, 1993).

El potencial de recuperación y regeneración de las malezas en Yucatán es elevado y es considerado como uno de los principales factores que motivan a los campesinos al abandono de sus terrenos. Es reconocido que terrenos con más de 10 años de barbecho presentan pocas malezas en el primer año de uso, pero a partir del segundo año la incidencia se incrementa sustancialmente y además, comienza una fuerte predominancia de gramíneas de difícil control. Las malas hierbas pueden reducir el rendimiento del

maíz desde un 5% hasta un 83% si los períodos de competencia van de diez días hasta 60 días, respectivamente (Sánchez y Agundis, 1985).

6.2. Exp. I. Evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz

6.2.1. Localización y duración del experimento.

Este experimento se localiza en los terrenos del Campo Experimental Uxmal, del Centro de Investigación Regional del Sureste del INIFAP, ubicado en el km 75 de la carretera Mérida-Uxmal, en el municipio de Muna, Yucatán. Geográficamente se localiza a 20° 25' de latitud Norte y 89° 46' de longitud Oeste (Figura 1). El clima es Aw0 y la precipitación promedio anual es de 990 mm, con variaciones entre 800 y 1200 mm; la temperatura media anual es de 25° C, con variaciones entre 24.5 y 25.5° C. El tipo de suelo que se utilizó es un Cambisol ródico.

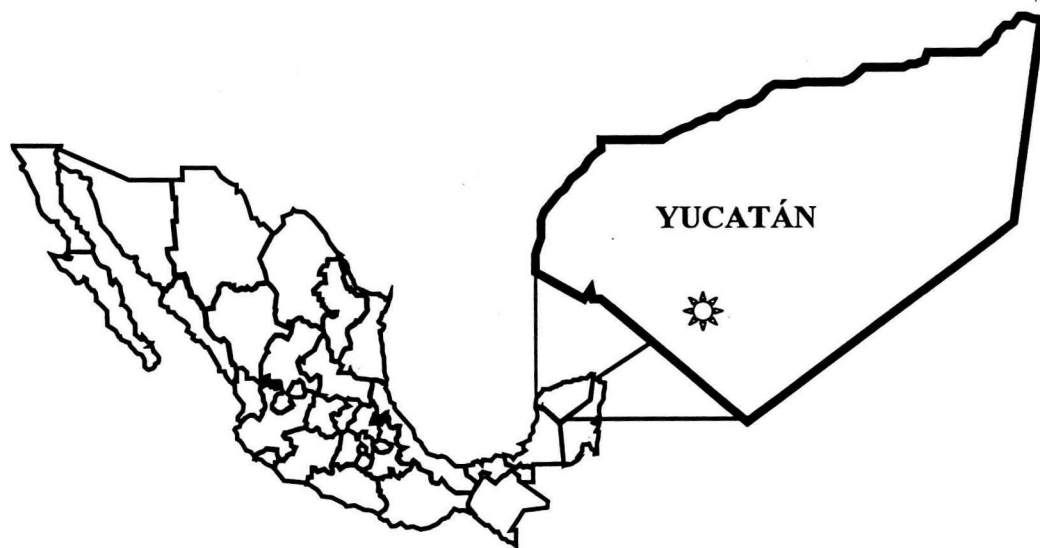


Figura 1. Localización de los lotes experimentales para la evaluación de barbechos cultivados. Campo Experimental Uxmal, Muna, Yucatán, 1996 - 2001

Este trabajo tiene una duración de cinco años y medio. Inició con la preparación del terreno a principios de 1998 y termina con la cosecha de maíz en diciembre de 2002. En esta tesis se reportan los primeros cuatro años del experimento.

6.2.2. Preparación del terreno y establecimiento

El terreno utilizado para este trabajo tiene un historial de varios años de cultivo, aunque de forma intermitente. Al momento de utilizarse tenía un período de descanso de cuatro años y la vegetación espontánea estaba dominada por gramíneas como el zacate Johnson (*Sorghum halapense*), el pasto guinea (*Panicum maximum*) y algunos arbustos esparcidos de no más de un metro y medio de altura.

La preparación del terreno se realizó entre finales de mayo y principios de junio de 1998; consistió en chapeo manual de la biomasa y la posterior aplicación de un herbicida desecante al emerger los rebrotes de la misma con el inicio de las lluvias.

La siembra del experimento se realizó bajo temporal y en diferentes momentos, según el diseño de los tratamientos. En 1998, la siembra del maíz fue el 31 de julio y la de las leguminosas fue el día 13 agosto; al siguiente año, el maíz se sembró el día 28 de junio y las leguminosas el 30 de julio. En los años 2000 y 2001 la siembra respectiva de maíz fue el 27 y el 23 de junio. No fue necesario realizar la resiembra de las leguminosas, debido a que estas repoblaron naturalmente las parcelas ya establecidas, sin embargo, en 1999 fue cuando se sembraron las leguminosas correspondientes a los tratamientos de un año de barbecho, con la intención de hacer coincidir su entrada a período de cultivo con la de los barbechos de dos años sembradas en 1998.

Tanto para maíz como para las leguminosas se utilizó el método de siembra a espeque, depositando para ambos cultivos tres semillas por “golpe”. Las distancias de siembra en maíz son de 1.0 m entre hileras y 0.50 m entre plantas, mientras que para las leguminosas estas fueron de 1.0 x 0.50 m en asocio al maíz y de 0.50 x 0.50 m en los barbechos cortos. Se usó la variedad mejorada de maíz V-539, mejor conocida como Blanco Uxmal.

6.2.3. Diseño experimental y tratamientos

Se empleó un diseño experimental de Bloques Completos al Azar, con cuatro repeticiones o bloques. El tamaño de las parcelas experimentales es de 6 x 11 m (66 m²) y contienen seis hileras de maíz con un total de 132 plantas en monocultivo o asociadas a las leguminosas; estas últimas, en cultivo puro ocupan doce hileras con un total de 264 plantas por parcela. Se dejaron calles de 2.0 m entre los bloques, lo cual da un área total del experimento de 6,696 m² (124 x 54 m). La figura A.13 muestra la forma en que se distribuyeron los tratamientos en dentro de los bloques.

Los tratamientos incluyen a dos testigos o controles: uno es el cultivo consecutivo de maíz sin fertilización y el otro es fertilizado con la fórmula 40-100-00; hay cuatro tratamientos de maíz asociado a las leguminosas *C. ensiformis* y *M. pruriens*, sin o con apoyo de 100 kg/ha de P₂O₅; y ocho tratamientos de barbechos cortos de uno y dos años con esas mismas leguminosas y con o sin el apoyo de P (Cuadro 6). Toda vez que se completan los períodos de uno y dos años de barbecho, en los ocho tratamientos se cultiva maíz con o sin P hasta alcanzar las tres cosechas de grano.

6.2.4. Labores Culturales

Cada año, en sus primeras etapas de desarrollo, las plantas de maíz han requerido de la aplicación de insecticidas para prevenir el ataque de pájaros y ratones a las semillas y plántulas. Después de superar esta etapa, el maíz ha necesitado del apoyo de hasta tres podas por ciclo a las leguminosas para disminuir los niveles de competencia y el acame que ocasionan las guías, principalmente las de *M. pruriens*.

Con el temporal de 2001, se realizó una homogenización de las parcelas en base a la leguminosa correspondiente a cada tratamiento. Esto respondió a que debido a la cercanía de las parcelas existió una invasión gradual por semilla de plantas de una especie de leguminosa a parcelas que no correspondía. Se consideró que los efectos de barbecho y asociación de años anteriores no se modificaba por este manejo.

Cuadro 6. Tratamientos en evaluación en el experimento de leguminosas de cobertera para la producción de maíz, Muna, Yucatán.

No	JUL. 1998	JUN. 1999	JUN. 2000	JUN. 2001
1	Maíz			
2	Maíz + N + P			
3	Maíz / <i>C. ensiformis</i>			
4	Maíz / <i>M. pruriens</i>			
5	Maíz / <i>C. ensiformis</i> + P			
6	Maíz / <i>M. pruriens</i> + P			
7		<i>C. ensiformis</i>	Maíz	
8		<i>M. pruriens</i>	Maíz	
9		<i>C. ensiformis</i> + P	Maíz + P	
10		<i>M. pruriens</i> + P	Maíz + P	
11	<i>C. ensiformis</i> .		Maíz	
12	<i>M. pruriens</i>		Maíz	
13	<i>C. ensiformis</i> + P		Maíz + P	
14	<i>M. pruriens</i> + P		Maíz + P	

N + P = aplicación de la fórmula 40-100-00; P = aplicación de 100 kg/ha de P₂O₅.

Durante el tiempo de conducción de este trabajo fue necesario realizar el envenamiento de tuzas (*D. mexicana*), un roedor muy común de estos suelos y que daña fuertemente a las raíces del maíz.

La cosecha del maíz producido fue manual y se realizó el 25 de enero y el 9 de noviembre de 1999, el 16 de noviembre de 2000 y el 13 de noviembre de 2001.

6.2.5. Variables de respuesta

Para evaluar el establecimiento y el desarrollo de las leguminosas de cobertera se midió el porcentaje de cobertura del suelo por el tapiz vegetal en cuatro fechas diferentes; la altura de plantas se midió con regla desde el nivel del suelo a la copa formada por las leguminosas rastreras en dos fechas diferentes; la producción de biomasa de las leguminosas se midió en diciembre de 1999 y septiembre de 2001 por corte de un área de un m², secado de submuestra y determinación del peso seco.

El establecimiento, desarrollo y rendimiento de maíz se evaluó mediante la medición de la altura de plantas con regla en tres fechas distintas; el número de plantas por parcela se contabilizó en cuatro fechas dentro de la parcela útil y se estimó al tamaño real de la parcela; el número y la calidad de las mazorcas producidas se determinó contabilizando estas dentro de la parcela útil, separandolas en mazorcas buenas y dañadas, y tomando una submuestra para determinar el rendimiento de grano ajustado al 16% de humedad.

La incidencia de malezas se determinó midiendo el peso verde de la biomasa cortada en un m², tomando una submuestra para pesar en verde y una vez secada y finalmente determinar la cantidad de biomasa en materia seca contenida en una hectárea.

6.2.6. Análisis de los datos

Los datos de campo colectados de este experimento fueron codificados y capturados para su agrupamiento y estimación de nuevos parámetros, en una base de datos usando el programa de computador Excel para windows, versión 97.

El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó mediante el programa computacional conocido como Statistycal Analysis System (SAS, 1993), versión 6.12. Se realizaron análisis de varianza y separación de medias por la prueba de Duncan.

6.3. Exp. II. Evaluación de arbustivas y arbóreas para la producción de maíz

6.3.1. Localización y duración del experimento.

Este segundo experimento también se localiza en los terrenos del Campo Experimental Uxmal, del Centro de Investigación Regional del Sureste del INIFAP, ubicado en el km 75 de la carretera Mérida-Uxmal, en el municipio de Muna, Yucatán. Geográficamente se localiza a 20° 25' de latitud Norte y 89° 46' de longitud Oeste (Figura 1). El tipo de suelo que se utilizó es un Luvisol ródico, conocido bajo la nomenclatura maya como *K'ankab*.

Este trabajo tendrá una duración de seis años, que inicia con la preparación del terreno a mediados de 1996 y terminará con la tercer cosecha de maíz en diciembre de 2002. En esta tesis se reporta hasta el quinto año de conducción del trabajo, es decir, hasta la segunda cosecha de maíz después de cumplidos los cuatro años del período barbecho mejorado.

6.3.2. Preparación del terreno y establecimiento

El terreno seleccionado para el establecimiento de este experimento correspondió a un área descansada durante dos años, que se mantenía invadida por gramíneas (*S. halapense*, *Panicum maximum* y *Cynodon plectostachyus*) y algunos rebrotes de arbustivas de corta edad. La preparación del terreno consistió en el chapeo manual de la biomasa, su quema y la aplicación de un herbicida desecante cuando comenzaron a emerger las malezas al inicio de las lluvias.

La siembra de las leguminosas arbóreas y arbustivas se realizó el día cinco de julio de 1996 por el método de espeque, depositando en cada “golpe” el número de semillas necesarias para asegurar dos plantas por punto de siembra según el porcentaje de germinación obtenido en los lotes de semilla colectada en la región. Las fallas en germinación y emergencia se corrigieron el día 22 de mayo de 1997 con un replante en pocetas, usando plantas de un año de edad y provenientes de vivero.

Cuatro años después de la siembra de las leguminosas y cumplido el período de barbecho, se sembró, en dos ocasiones, la variedad mejorada de maíz Blanco Uxmal. Las siembras de maíz fueron el 15 de julio 2000 y el 18 de junio de 2001. El método fue por espeque, depositando tres semillas de maíz por “golpe”. Un último cultivo sucesivo de maíz a temporal se realizará en el año 2002.

6.3.3. Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental usado para el presente trabajo fue un Bloques Completos al Azar, con cuatro repeticiones. Cada parcela experimental es de 96 m² (8 x 12 m) y contó con 48 plantas de leguminosas distanciadas entre sí a dos metros entre hileras y un metro

entre plantas. El tamaño de la parcela útil fue de 40 m² (4 x 10 m) y contó con 20 plantas. La Figura A.14 muestra la forma en que se distribuyeron los tratamientos en el campo.

Los tratamientos consistieron de 18 especies de leguminosas arbóreas y arbustivas y dos barbechos naturales (Cuadro 7). De las 18 leguminosas en evaluación 17 de ellas se colectaron en la región y *S. Sesban* fue introducida de África. El barbecho **uno** consistió en la vegetación natural sin perturbación después de la preparación del terreno, mientras que en el barbecho **dos** las parcelas recibieron los mismos controles de maleza que se aplicaron a los tratamientos con las especies durante el primer año del establecimiento.

6.3.4. Labores culturales

El único manejo que recibieron las leguminosas arbóreas y arbustivas, durante el primer año del establecimiento, fue el control de malezas mediante chapeos manuales. En los siguientes tres años de barbecho no se realizó ninguna labor de mantenimiento.

Entre marzo y abril de 2000, al cumplirse los **cuatro** años del barbecho, las arbóreas y arbustivas fueron eliminadas mediante tumba y pica. El corte de los troncos se realizó a machete, casi al ras del suelo; las hojas y ramas **tiernas** fueron dejadas sobre el terreno, mientras que las ramas gruesas y troncos fueron hechos leña y sacados de cada parcela para ser cuantificada su producción.

Una vez seca la biomasa de las leguminosas e iniciado el temporal, se abrieron brechas entre la hojarasca para facilitar la siembra del maíz y reducir el ataque de ratones.

Durante los primeros dos meses del desarrollo del maíz se asperjó insecticida para reducir los ataques de ratones y pájaros a las semillas y plántulas del maíz. El control de malezas para maíz se realizó con herbicidas selectivos para hoja ancha y selectivos a maíz.

Cuadro 7. Tratamientos en evaluación en el experimento de leguminosas arbóreas y arbustivas para la producción de maíz. Muna, Yucatán.

TRAT.	NOMBRE MAYA	NOMBRE CIENTÍFICO
1	Chackatzin	<i>Acacia gaumeri</i> Blake.
2	Juche	<i>Acacia glomerosa</i>
3	Barbecho 1	Vegetación natural después de quema
4	Barbecho 2	Vegetación natural con control de maleza
5	Sac dzuluctoc	<i>Bauhinia divaricata</i> (L.)
6	Chac dzuluctoc	<i>Bauhinia unguolata</i> L.
7	Kitinche	<i>Caesalpineia gaumeri</i> Greenam
8	Taquinche	<i>Caesalpineia yucatanensis</i> Genm.
9	Cocoite	<i>Gliricidia sepium</i> (Jacq.) Steud
10	Huaxin	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam) de Wit.
11	Cansin	<i>Lonchocarpus rugosus</i> Benth.
12	Balcheque	<i>Lonchocarpus yucatanensis</i> Pittier
13	Sakatzin	<i>Mimosa bahamensis</i>
14	Jabin	<i>Piscidia piscipula</i> (L) Sarg.
15	Chukun	<i>Pithecellobium albicans</i> (Kunth) Benth.
16	Dziuquix	<i>Pithecellobium dulce</i> Benth.
17	Yax ek	<i>Pithecellobium leocospermum</i> Brandeg.
18	Tuche	<i>Senna octucifolia</i>
19	Bolon	<i>Senna racemosa</i> (Miller) Irwin and Barneby
20	Sesbania	<i>Sesbania sesban</i> (L.) Merr.

6.3.5. Variables de respuesta

Para evaluar el establecimiento, desarrollo y producción de las arbóreas y arbustivas se midió, en cuatro ocasiones, la altura promedio de las plantas con una regla de madera de tamaño a propósito; el número de plantas por parcela se estableció contabilizando las plantas existentes, en cuatro fechas diferentes, dentro de la parcela útil definida; el porcentaje de cobertura de los árboles se midió con dos métodos, al inicio mediante la evaluación visual de la cobertura del suelo por el tapiz vegetal, después que los árboles rebasaron la altura del observador se utilizó el método de puntos trazando una línea transversal a la parcela y contabilizando cada punto de contacto entre un alambre

suspendido y las hojas y ramas de los árboles.

La capacidad de rebrote de las arbóreas después de la tumba se midió contabilizando el número, la altura y la biomasa de los rebrotes por planta en tres unidades al azar. Para biomasa se cortó todo el material disponible en tres plantas, se pesó en verde, se obtuvo una submuestra de aproximadamente un kilo, la cual se secó y peso para determinar los gramos de biomasa seca por planta.

El rendimiento de leña de las arbóreas se evaluó cortando y pesando, una vez que estuvieron secos, los palos y ramas gruesas producidas después de la tumba y pica de las especies.

La supresión de las malezas por las arbóreas se evaluó pesando la cantidad de biomasa de malezas disponible bajo dosel por corte de un m², se obtuvo una submuestra manejable que se peso en verde y en seco para de ahí determinar los kg de materia seca por hectárea.

El desarrollo de las plantas de maíz se evaluó mediante la medición con regla de la altura de cinco plantas dentro de la parcela útil; también se contabilizó el número de plantas total por parcela útil. El rendimiento del maíz y la calidad de las mazorcas producidas se evaluó contabilizando estas últimas y separando y pesando las buenas y las malas o dañadas; para determinar el rendimiento de maíz comercial, ajustado al 16% de humedad, se tomó una submuestra de diez mazorcas buenas al azar, las que se desgranaron para pesar la producción de grano y así determinar la producción por área.

6.3.6. Análisis de datos

Los datos colectados durante los pasados seis años de conducción del experimento se codificaron y capturaron en una hoja de trabajo del programa de computación Excel, versión 97. Los análisis estadísticos que se realizaron a la información colectada fueron el análisis de varianza y la separación múltiple de medias por la prueba de Duncan al 5%, usando la versión 6.12 del paquete computacional Statistical Analysis Systems (SAS, 1993).

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Exp. I. Evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz.

7.1.1. Establecimiento y desarrollo de leguminosas.

Porcentaje de cobertura. En octubre de 1998, a poco más de dos meses de sembradas, ambas especies presentaron mejor cobertura del suelo cuando se establecieron solas (75.6%) que cuando se asociaron al maíz (40.3%). La *M. pruriens* en barbecho con y sin P fue la que alcanzó las mayores coberturas ($P < 0.05$), seguida de *C. ensiformis* sola sin P y *M. pruriens* en asocio al maíz con y sin P, que resultaron estadísticamente similares ($P > 0.05$) entre sí (Cuadro 8).

En febrero de 1999, al inicio de la época seca, la *C. ensiformis* fue la especie que mejor cubrió el suelo, con porcentajes de cobertura que fueron del 47 al 91%, mientras que *M. pruriens* casi había desaparecido, dejando desprotegido el suelo. Los más altos porcentajes de cobertura ($P < 0.05$) se presentaron en los dos tratamientos de *C. ensiformis* con el barbecho de dos años sin y con P, alcanzando valores de 91 y 87%, respectivamente; estos fueron seguidos por los dos tratamientos de *C. ensiformis* asociada al maíz con y sin P, que resultaron estadísticamente similares entre sí ($P > 0.05$) y diferentes ($P < 0.05$) a todos los tratamientos de *M. pruriens*.

Con el inicio del temporal de 1999, se completaron los 14 tratamientos de este experimento, al sembrar las leguminosas correspondientes a los barbechos de un año. En diciembre de ese mismo año, se observó que los ocho tratamientos de barbecho con uno y dos años, mostraron en promedio, un más alto porcentaje de cobertura (92.5 %,) que la de los asociados al maíz (78%). En congruencia a esta tendencia, los mejores tratamientos ($P < 0.05$) fueron los de *M. pruriens* en barbecho de dos años con y sin P y el de *C. ensiformis* en barbecho de un año con P; el resto de los tratamientos, a excepción de los de *C. ensiformis* asociada al maíz sin y con P presentaron porcentajes de cobertura similar ($P > 0.05$).

En septiembre de 2000, cuando todos los tratamientos incluían al maíz, la cobertura promedio general de las leguminosas fue de 42.8%. Estadísticamente, el mayor porcentaje de cobertura ($P<0.05$) lo presentó el tratamiento de *M. pruriens* asociada a maíz sin el apoyo de P, aunque el resto de los tratamientos, a excepción de dos de ellos, fueron similares ($P>0.05$) a este; al mismo tiempo, el tratamiento de *M. pruriens* con un año de barbecho fue el de menor ($P<0.05$) cobertura con sólo 31%. Aquí llama la atención que la misma especie sea la que mejor y peor cubra el terreno, sin embargo se debe de considerar que en la asociación *M. pruriens* lleva ventaja de un año sobre *M. pruriens* en barbecho de un año y posiblemente esté siendo influido este resultado por el número de plantas. Los promedios generales y respectivos para *C. ensiformis* y *M. pruriens*, fueron de 42.3 y 43.4%, lo que indica que toda vez que se introduce el cultivo de maíz a los tratamientos con barbecho, los valores de porcentaje de cobertura del suelo tienden a homogenizarse.

Cuadro 8. Cobertura (%) de leguminosas en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1998 – 2000.

TRATAMIENTOS	OCT 1998	FEB 1999	DIC 1999	SEP 2000
Maíz + <i>C. ensiformis</i>	20.5 c	47.5 b	71.3 c	46.3 abc
Maíz + <i>M. pruriens</i>	60.0 b	2.8 c	85.0 abc	68.8 a
Maíz + <i>C. ensiformis</i> + P	20.7 c	60.5 b	75.0 bc	62.5 ab
Maíz + <i>M. pruriens</i> + P	60.0 b	1.3 c	81.3 abc	58.8 abc
Un año de <i>C. ensiformis</i>			92.5 ab	56.3 abc
Un año de <i>M. pruriens</i>			85.0 abc	31.3 c
Un año de <i>C. ensiformis</i> + P			97.5 a	52.5 abc
Un año de <i>M. pruriens</i> + P			91.3 abc	52.5 abc
Dos años de <i>C. ensiformis</i>	57.5 b	91.3 a	90.0 abc	37.5 bc
Dos años de <i>M. pruriens</i>	97.5 a	0.0 c	100 a	51.3 abc
Dos años de <i>C. ensiformis</i> + P	47.5 bc	86.8 a	83.8 abc	41.3 abc
Dos años de <i>M. pruriens</i> + P	99.9 a	2.0 c	100 a	41.3 abc

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

P = 100 kg/ha de P_2O_5 , aplicados anualmente.

De los resultados encontrados para la cobertura de las leguminosas, a través de todo el período experimental, podemos argumentar, que al inicio del establecimiento las leguminosas tienen un mejor comportamiento cuando se establecen solas que asociadas, pues la falta de competencia del maíz y la libertad de expansión en el terreno favorecen este parámetro. Es notorio como *M. pruriens* cubre mejor y más pronto el terreno que *C. ensiformis*; lo que concuerda con lo reportado por Ramírez *et al.* (2001), quienes encontraron que en Quintana Roo, *M. pruriens* y *C. ensiformis* a 30, 60 y 90 días de la siembra alcanzaron coberturas de 35, 75 y 100% y 20, 60 y 90%, respectivamente después de la siembra.

En concordancia con los resultados obtenidos por Uribe (2001b), es de notar que la *M. pruriens* tiene un desarrollo más agresivo durante los días largos pero su ciclo de vida es a la vez más corto y a partir del mes de febrero deja el suelo prácticamente descubierto. Por su parte, *C. ensiformis* se mantiene con hojas verdes hasta entrada la época seca, mostrando con ello una mejor tolerancia a los efectos de la sequía, tal como lo menciona Duke (1981).

La cobertura del suelo por las leguminosas se mejora hacia el segundo año mientras estas son cultivadas como barbecho puro, pero, cuando este se elimina y se incluye maíz en las parcelas, los porcentajes de cobertura descienden y se comportan de manera similar al de las asociadas a maíz desde un principio.

A pesar de que se encuentran diferencias entre tratamientos, las tendencias para cobertura de las leguminosas no parecen estar relacionadas con si reciben o no el apoyo del fertilizante fosforado. Los promedios generales para aplicación de P y no aplicado, considerando las cuatro evaluaciones de cobertura es el mismo, 53%.

Altura de plantas. Los datos del Cuadro 9 corresponden a los meses de agosto y diciembre de 1999, cuando todos los tratamientos del experimento habían sido ya sembrados. En el mes de agosto de ese año, la mayor altura ($P < 0.05$) de planta se registró en el tratamiento de *M. pruriens* con barbecho de dos años y apoyo de P (77.3 cm), aunque estadísticamente fue similar ($P > 0.05$) a la de todos los tratamientos que incluyeron el barbecho de uno y dos años (con 54.3 cm en promedio), a excepción de la

de *C. ensiformis* con dos años de barbecho y apoyo de P que tuvo una altura similar ($P>0.05$) a la de las leguminosas asociadas al maíz (48.7 cm en promedio).

Cuadro 9. Altura (cm) y biomasa (kg MS/ha) de leguminosas en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1999 – 2001.

TRATAMIENTOS	ALTURA		BIOMASA	
	(Ago 1999)	(Dic 1999)	(Dic 1999)	(Sep 2001)
Maíz + <i>C. ensiformis</i>	53.5 bc	48.5 bcd	1975 ab	239 abc
Maíz + <i>M. pruriens</i>	46.0 c	50.8 bcd	1950 ab	144 c
Maíz + <i>C. ensiformis</i> + P	44.7 c	41.5 d	2350 ab	625 a
Maíz + <i>M. pruriens</i> + P	46.0 c	47.5 cd	1987 ab	248 abc
Un año de <i>C. ensiformis</i>	64.3 abc	53.3 bcd	1250 bc	568 ab
Un año de <i>M. pruriens</i>	59.5 abc	51.8 bcd	937 bc	117 c
Un año de <i>C. ensiformis</i> + P	66.0 ab	51.5 bcd	300 c	251 abc
Un año de <i>M. pruriens</i> + P	64.3 abc	52.0 bcd	962 bc	174 bc
Dos años de <i>C. ensiformis</i>	71.8 ab	69.0 a	2362 ab	414 abc
Dos años de <i>M. pruriens</i>	64.0 abc	57.3 abc	1700 abc	114 c
Dos años de <i>C. ensiformis</i> + P	53.5 bc	53.8 bcd	2962 a	186 bc
Dos años de <i>M. pruriens</i> + P	77.3 a	63.8 ab	2287 ab	172 bc

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

P = 100 kg/ha de P_2O_5

En diciembre de 1999, las mayores alturas ($P<0.05$) de las leguminosas se presentaron en los tratamientos que incluyeron el barbecho de dos años, a excepción, otra vez, del tratamiento de *C. ensiformis* con dos años de barbecho y con apoyo de P que tuvo una altura estadísticamente similar ($P>0.05$) al resto de los tratamientos.

Las alturas registradas de las leguminosas estuvieron entre los 41 y los 77 cm, considerando ambas fechas de medición. No se expresa en los datos la alta capacidad trepadora de *M. pruriens*, que en asocio al maíz supera con facilidad a *C. ensiformis* y a

las siembras en monocultivo o barbecho. Es posible que *M. pruriens* no haya expresado su característica trepadora debido al manejo de podas que era necesario realizar con el fin de evitar que el peso de esta especie acamara las plantas de maíz como generalmente resulta (Buckles *et al.*, 1998).

Otra vez, no hay evidencias de que la aplicación de P mejore el desarrollo de las leguminosas.

El desarrollo de las leguminosas de cobertera es importante por las implicaciones que ellas tienen sobre las condiciones de retención de humedad y la regulación de la temperatura del suelo. Uribe (2001) encontró en un Luvisol ródico de Uxmal, Yucatán, que el suelo bajo barbechos de *M. pruriens* con dos y cuatro años de descanso conservó mejor la humedad a través del año (28.1%) que la vegetación natural espontánea (27.5%). Por su parte, Ramírez *et al.* (2001), observaron que durante la época seca en Quintana Roo, el “colchón” de MO dejado por *M. pruriens* conserva hasta un 17% más humedad en el suelo en relación a una parcela enmalezada.

Producción de biomasa. En promedio general, las leguminosas produjeron 1,752 kg MS/ha hacia el final de la temporada de crecimiento de 1999. En este año se observó, que las leguminosas con dos años de barbecho produjeron mejor (2,327 kg MS/ha) que las asociadas al maíz (2,065 kg MS/ha), mientras que aquellas que sólo tuvieron un año de barbecho produjeron menos (862 kg MS/ha). Estadísticamente, la mayor producción de biomasa ($P < 0.05$) fue de 2,962 kg MS/ha y se presentó en el tratamiento de *C. ensiformis* con dos años de barbecho y el apoyo de P, sin embargo, esta producción fue similar ($P > 0.05$) a la del resto de los tratamientos, a excepción de aquellos que incluyeron sólo un año de barbecho con ambas leguminosas (Cuadro 9).

En el mes de septiembre de 2001, se encontró una baja producción de biomasa de las leguminosas (375 kg MS/ha en promedio general), lo que posiblemente se debió a la homogenización realizada en el mes de julio en respuesta a la invasión entre especies que presentaban las parcelas; ello va aunado a la poca edad de las leguminosas a la fecha de muestreo (menos de dos meses). Estadísticamente, la mayor ($P < 0.05$) producción de biomasa se presentó en el tratamiento de maíz asociado a *C. ensiformis* con el apoyo de

P, con 625 kg MS/ha. Los tratamientos de maíz asociado a *C. ensiformis* sin P y a *M. pruriens* con P, los de un año de *C. ensiformis* sin P y con P, así como el de dos años de *C. ensiformis* sin P, fueron estadísticamente iguales ($P>0.05$) al de más alta producción de biomasa; estos cinco tratamientos promediaron 344 kg MS/ha.

Las producciones encontradas en este experimento para *M. pruriens* y *C. ensiformis*, estuvieron por debajo de las registradas por Ramírez *et al.* (2001) en Quintana Roo, quienes reportan, que a cinco meses después de la siembra, *M. pruriens* produjo 5.4 ton MS/ha y *C. ensiformis* produjo 4.5 ton MS/ha. También, Uribe (2001a), señala que *M. pruriens* como barbecho de dos y cuatro años es capaz de producir 5.4 ton MS/ha en el sur de Yucatán. Contrariamente a lo reportado por Ramírez *et al.* (2001), en este trabajo encontramos que como promedio de las dos mediciones realizadas, *C. ensiformis* produjo un 25% más biomasa que *M. pruriens*.

No se detectó una tendencia clara sobre si las leguminosas producen más biomasa cuando son apoyadas con el fertilizante fosforado. Considerando las dos evaluaciones de biomasa, de diciembre 1999 y septiembre 2001, apenas existe una ventaja del 6% para los tratamientos que incluyeron la aplicación de P.

7.1.2. Establecimiento y desarrollo de maíz.

Altura de plantas. En el año de 1999, cuando sólo se contaba con plantas de maíz en los dos testigos y en los tratamientos de maíz asociado a leguminosas, se encontró que la altura de plantas de maíz varió por efecto de los tratamientos (Cuadro 10). Las plantas más altas ($P<0.05$) se presentaron en el tratamiento de maíz bien fertilizado y alcanzaron 195.3 cm; el resto de los tratamientos, a excepción de *C. ensiformis* asociada a maíz sin la aplicación de P, fueron estadísticamente similares ($P>0.05$) entre sí y lograron un promedio de 141.6 cm; el tratamiento con menos ($P<0.05$) altura de planta fue el de *C. ensiformis* asociada a maíz sin P, que sólo alcanzó 105 cm.

En el año 2000, la altura de las plantas de maíz tuvo un comportamiento similar ($P>0.05$) para casi todos los tratamientos, excepto para aquellos que incluyeron al barbecho de un año y el de *M. pruriens* con dos años de barbecho y sin apoyo de P que

también fueron similares ($P>0.05$) entre sí. El promedio de altura de planta en los mejores tratamientos fue de 187 cm, contra 139 cm de los más bajos.

En el año 2001, las plantas de maíz que más altura alcanzaron ($P<0.05$) fueron las de maíz asociado a *C. ensiformis* con aplicación de P con 191 cm. Los cuatro tratamientos de leguminosas con uno y dos años de barbecho y sin la aplicación de P, fueron los que menos altura ($P<0.05$) de plantas presentaron (132.2 cm en promedio), mientras que el resto de los tratamientos presentaron valores intermedios (166.4 cm en promedio), siendo estos estadísticamente iguales ($P>0.05$) al que más altura ganó.

Cuadro 10. Altura (cm) de plantas de maíz en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1999 – 2001.

TRATAMIENTOS	AGO. 1999	SEP. 2000	AGO. 2001
Maíz	144.0 bc	187 a	159 abcd
Maíz + 40-100-00	195.3 a	187 a	155 abcd
Maíz + <i>C. ensiformis</i>	105.0 c	182 a	154 abcd
Maíz + <i>M. pruriens</i>	131.0 bc	176 ab	178 ab
Maíz + <i>C. ensiformis</i> + P	141.3 bc	192 a	191 a
Maíz + <i>M. pruriens</i> + P	150.3 b	183 a	178 ab
Un año de <i>C. ensiformis</i>		129 c	133 cd
Un año de <i>M. pruriens</i>		136 c	123 d
Un año de <i>C. ensiformis</i> + P		154 bc	166 abc
Un año de <i>M. pruriens</i> + P		141 c	162 abcd
Dos años de <i>C. ensiformis</i>		183 a	137 bcd
Dos años de <i>M. pruriens</i>		136 c	136 bcd
Dos años de <i>C. ensiformis</i> + P		205 a	168 abc
Dos años de <i>M. pruriens</i> + P		185 a	178 ab

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

P = 100 kg/ha de P_2O_5

Los promedios generales de altura de planta para cada año de evaluación están en 123.8, 158.4 y 147.8 cm para 1999, 2000 y 2001, respectivamente. En promedio de años, la altura de planta registrada en este trabajo está de 74 a 109% por abajo de la reportada por Aguilar (2000) para esta variedad; este autor menciona que Blanco Uxmal puede alcanzar una altura media de 250 cm en suelo pedregoso y hasta de 300 cm en suelo sin piedras.

El efecto de la fertilización inorgánica se expresó en la altura de planta en el cultivo de maíz de 1999 pero ya no en los siguientes años. Esto concuerda con lo encontrado por Uribe (2001a), quien al fertilizar el maíz con 40-100-00 notó un aumento en la altura de las plantas comparadas contra el no fertilizado (2.22 Vs. 2.01 m). A partir del año 2000 y principalmente en el 2001, se encontró una tendencia al mejoramiento de este parámetro en todos aquellos tratamientos que incluyeron la aplicación de P anualmente, mientras que en los que no lo incluían, las alturas medias fueron cada vez menores (156 Vs 132 cm en promedio de los tres años). Los controles bien fertilizado y sin fertilizante siguen presentado valores intermedios.

Número de plantas de maíz. El número de plantas de maíz por parcela, en los años de 1998 y 1999, se vio negativamente afectado por los tratamientos que incluyeron la asociación de este cultivo con las leguminosas; mientras que en los años de 2000 y 2001, las diferencias entre tratamientos se redujeron sustancialmente por efecto de un mejor manejo dado a las leguminosas (Cuadro 11)

En el primer año del experimento, el mayor número ($P < 0.05$) de plantas por parcela se presentó en los dos tratamientos de maíz solo, con 129 plantas como promedio de ambos; por el otro lado, el *M. pruriens* asociado a maíz y sin P presentó el menor ($P < 0.05$) número de plantas por parcela (34.5), mientras que el resto de los tratamientos fueron similares ($P > 0.05$) entre sí e intermedios entre los controles y el *M. pruriens* asociado a maíz y sin P, y presentaron un promedio de 96.5 plantas por parcela, es decir, un 27% menos de la población original.

En 1999, el número de plantas por parcela fue más alto ($P < 0.05$) en el tratamiento de maíz fertilizado que tuvo 139 plantas, pero que a la vez fue estadísticamente similar ($P > 0.05$) al tratamiento de maíz sin fertilizar que presentó 117 plantas. El resto de los tratamientos, todos asociados a leguminosas, con y sin P, fueron estadísticamente similares ($P > 0.05$) entre sí y su promedio conjunto fue de 88 plantas por parcela (33% menos)

Cuadro 11. Número de plantas de maíz por parcela en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1998 - 2001.

TRATAMIENTOS	DIC. 1998	OCT. 1999	SEP. 2000	SEP. 2001
Maíz	127.0 a	117.0 ab	130.50 ab	124 abc
Maíz + 40-100-00	131.5 a	139.0 a	123.50 b	101 bc
Maíz + <i>C. ensiformis</i>	91.5 ab	92.5 bc	109.00 b	132 ab
Maíz + <i>M. pruriens</i>	34.5 b	102.0 bc	136.50 ab	133 ab
Maíz + <i>C. ensiformis</i> + P	99.5 ab	82.2 c	122.00 b	96 c
Maíz + <i>M. pruriens</i> + P	98.5 ab	75.0 c	113.50 b	105 bc
Un año de <i>C. ensiformis</i>			128.00 ab	131 abc
Un año de <i>M. pruriens</i>			122.50 b	133 ab
Un año de <i>C. ensiformis</i> + P			135.50 ab	131 abc
Un año de <i>M. pruriens</i> + P			124.50 b	119 bc
Dos años de <i>C. ensiformis</i>			139.50 ab	126 abc
Dos años de <i>M. pruriens</i>			137.00 ab	151 a
Dos años de <i>C. ensiformis</i> + P			140.00 ab	115 bc
Dos años de <i>M. pruriens</i> + P			169.95 a	132 ab

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

P = 100 kg/ha de P_2O_5

En el año 2000, cuando se cultivó maíz en todos los tratamientos de este experimento, se encontró que el número de plantas fue muy similar en la mayoría de los tratamientos, obteniéndose un promedio general de 130 plantas por parcela. El tratamiento que obtuvo el mayor número ($P < 0.05$) de plantas fue el de *M. pruriens* con dos años de barbecho y

aplicación de P, con 170 plantas, sin embargo, fue estadísticamente igual ($P>0.05$) a casi la mitad de los demás tratamientos. Por su parte, los seis tratamientos que tuvieron menos plantas y que fueron diferentes al de *M. pruriens* con dos años de barbecho y aplicación de P, promediaron 119 plantas por parcelas, es decir, sólo estuvieron un 10% por debajo de la población esperada.

Para el año 2001, el comportamiento de este parámetro fue similar a lo registrado en el año 2000. El tratamiento con más plantas por parcela ($P<0.05$) fue el de *M. pruriens* con dos años de barbecho y sin la aplicación de P, que presentó 115 plantas; este tratamiento fue similar ($P>0.05$) a otros ocho tratamientos que incluyen al control sin fertilización, los dos asociados sin P, tres de un año de barbecho y dos de dos años, los que promediaron juntos 130 plantas por parcela. El tratamiento de *C. ensiformis* asociado a maíz sin P fue el de menos ($P<0.05$) plantas por parcela, con sólo 96 de ellas, y este fue estadísticamente similar ($P>0.05$) a cuatro tratamientos, entre ellos el de maíz bien fertilizado, que juntos promediaron 110 plantas por parcela.

De los resultados obtenidos para el número de plantas por parcela, puede argumentarse que las leguminosas asociadas pueden ejercer un efecto negativo sobre la población del maíz, sobretodo en los primeros años si el manejo no es adecuado. Este efecto fue debido a la alta agresividad de las especies, principalmente la de *M. pruriens*, quien debió ser controlada por podas para reducir su tendencia a trepar y agobiar a las plantas del maíz por sobrecarga, acabando por doblar las cañas y eliminar plantas.

La falta de experiencia en el manejo de las asociaciones y las podas provocó las diferencias iniciales, pero como puede verse, más adelante se logró reducir estas diferencias de población con la experiencia ganada en el campo al reconocer la necesidad de realzar hasta tres podas por época de crecimiento. Aparentemente, otra forma de reducir este problema de competencia es retrasando la siembra de las leguminosas, principalmente *M. pruriens*, hasta mediados de agosto, de esta manera el maíz desarrollará libremente hasta la dobla de su caña pero se someterá al mismo a la competencia de malezas.

Otra vez, todavía no hay una tendencia clara sobre si la fertilización con fósforo favorece o no el mantenimiento de las poblaciones de maíz.

7.1.3. Efecto sobre la incidencia de malezas.

Todos aquellos tratamientos que incluyeron a las leguminosas de cobertera redujeron, hacia el mes de septiembre de 2000, la incidencia de malezas de un 84 al 100% en comparación a la registrada en los dos controles de maíz. Sin embargo, en 2001, este efecto no fue claro debido a que en este ciclo se homogenizaron las parcelas con la nueva siembra de las leguminosas y los efectos de la aplicación de herbicidas aún no se perdía en el lote experimental (Cuadro 12).

En el primer muestreo de malezas, correspondiente al mes de septiembre del año 2000, se observó que la mayor ($P<0.05$) incidencia de malezas se presentó en los tratamientos controles de maíz sin fertilizar y maíz fertilizado, con 2,230 y 2,700 kg de MS/ha, respectivamente; el resto de los tratamientos fueron estadísticamente similares ($P>0.05$) entre sí y sus cantidades de biomasa fluctuaron entre cero y 730 kg MS/ha.

En septiembre de 2001, el tratamiento de maíz sin fertilizar presentó la más alta ($P<0.05$) incidencia de malezas con 700 kg MS/ha, sin embargo, este fue estadísticamente similar ($P>0.05$) a más de la mitad de los tratamientos, sin observarse tendencias claras como efecto de las especies, su asociación o los años de barbecho. Los cuatro tratamientos que presentaron las más bajas incidencias de malezas promediaron 69.7 kg MS/ha y tres de ellos incluyeron a *M. pruriens* en sus tres modalidades (asociado y con uno y dos años de barbecho).

La leguminosas *M. pruriens* y *C. ensiformis* están ampliamente reconocidas como especies con capacidad para reducir la incidencia de malezas (Gordillo *et al.*, 1998). Por ejemplo, al asociar estas dos especies con maíz, Ramírez *et al.* (2001) encontraron que se suprimía el número de malezas en más del 75% con respecto al maíz solo. Por su parte, Uribe (2001b), en un suelo Luvisol ródico de Yucatán, encontró que el barbecho

de cuatro años con *M. pruriens* redujo considerablemente la biomasa de malezas (hasta un 83%) cuando se le comparó con un barbecho de sólo dos años de descanso; sin embargo, este autor no encontró diferencias para la densidad de las arvenses.

Cuadro 12. Incidencia de malezas (kg MS/ha) en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 2000 - 2001.

TRATAMIENTOS	SEP. 2000	SEP. 2001
Maíz	2230 a	700 a
Maíz + 40-100-00	2700 a	254 ab
Maíz + <i>C. ensiformis</i>	0 b	234 ab
Maíz + <i>M. pruriens</i>	0 b	69 b
Maíz + <i>C. ensiformis</i> + P	0 b	393 ab
Maíz + <i>M. pruriens</i> + P	0 b	387 ab
Un año de <i>C. ensiformis</i>	0 b	97 b
Un año de <i>M. pruriens</i>	730 b	66 b
Un año de <i>C. ensiformis</i> + P	370 b	218 ab
Un año de <i>M. pruriens</i> + P	160 b	177 ab
Dos años de <i>C. ensiformis</i>	360 b	472 ab
Dos años de <i>M. pruriens</i>	0 b	384 ab
Dos años de <i>C. ensiformis</i> + P	230 b	338 ab
Dos años de <i>M. pruriens</i> + P	520 b	47 b

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

P = 100 kg/ha de P₂O₅

Gordillo *et al.* (1998), en un estudio sobre la composición de las malezas en milpas asociadas a leguminosas, encontraron que si bien el número de especies de maleza y su cantidad de biomasa decrecen, no puede afirmarse que exista un efecto definitivo de control de las mismas, pues el banco de semillas permanece después del segundo año de intercalación; ellos consideran que *M. deeringianum* es mucho más efectiva que *C. ensiformis*, ya que a esta última le falta capacidad de cobertura.

Al parecer, para que se alcancen estos efectos de reducción de biomasa de malezas por efecto de las leguminosas, es necesario que se logre una buena producción de biomasa de estas últimas. Si consideramos que la biomasa de las leguminosas en este trabajo para el año 2000, fue similar a la registrada en 1999 (1,752 kg MS/ha), podemos argumentar que la biomasa producida a septiembre de 2001 (271 kg MS/ha) no fue suficiente para lograr la reducción de las malezas asociadas a los tratamientos.

7.1.4. Efecto sobre el rendimiento de grano y la calidad de mazorcas.

En el primer cultivo de maíz de 1998, no se detectaron diferencias estadísticas significativas ($P>0.05$) para el rendimiento de grano debido al alto coeficiente de variación que arrojó el análisis de varianza (121%). Los tratamientos de maíz sin fertilizar y maíz fertilizado presentaron los más altos rendimientos con 1,383 y 1,926 kg/ha, respectivamente. El resto de los tratamientos, que incluyen la asociación con las leguminosas, no lograron la media tonelada de maíz por hectárea (Cuadro 13).

El mejor rendimiento de maíz de los dos tratamientos controles, se explica por el más alto ($P<0.05$) número de mazorcas por parcela (más de 190) y el menor daño registrado en estas (57%). Los tratamientos asociados a leguminosas vieron sustancialmente reducido su rendimiento de maíz debido, principalmente, al menor ($P<0.05$) número de mazorcas por parcela (menos de 90), además de un daño relativamente mayor en estas (70%, en promedio). Aparentemente, las deficiencias en manejo de podas en este año provocaron que en los tratamientos asociados con leguminosas se verificaran problemas de número de plantas, consecuentemente un menor número de mazorcas y daños mayores en las mismas (interferencia de polinización y consumo por ratones).

Al parecer, se expresa un ligero efecto de la fertilización completa en el rendimiento de maíz en este primer año de producción. Por otro lado, los bajos resultados en rendimiento de grano y en el número de mazorcas de los tratamientos de maíz asociado a leguminosas están fuertemente influenciados por el número de plantas por parcela encontrados para este año de cultivo (ver el Cuadro 11).

Cuadro 13. Calidad y número total de mazorcas y rendimiento de grano de maíz en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1998.

TRATAMIENTOS	BUENAS (%)	DANADAS (%)	MAZORCAS (No/parcela)	MAÍZ (kg/ha)
Maíz	40.7	59.3	191 a	1,383 a
Maíz + 40-100-00	45.0	55.0	208 a	1,926 a
Maíz + <i>C. ensiformis</i>	36.6	63.3	63 b	407 a
Maíz + <i>M. pruriens</i>	26.6	73.4	33 b	135 a
Maíz + <i>C. ensiformis</i> + P	34.7	65.3	74 b	435 a
Maíz + <i>M. pruriens</i> + P	20.0	80.0	85 b	193 a

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

NOTA: Mazorcas dañadas por mala polinización y ataque de pájaros y ratones.

P = 100 kg/ha de P₂O₅.

En el segundo cultivo de maíz, realizado en 1999, el rendimiento de grano fue mayor ($P < 0.05$) para el tratamiento de maíz con fertilización completa, el cual presentó 2,280 kg/ha. El tratamiento de menor ($P < 0.05$) rendimiento fue el de *C. ensiformis* asociada a maíz y sin P, que sólo produjo 1,159 kg/ha. El resto de los tratamientos fueron estadísticamente similares ($P > 0.05$) a los dos anteriores y promediaron 1,602 kg/ha (Cuadro 14)

El número de mazorcas por parcela fue más alto ($P < 0.05$) en el tratamiento de maíz bien fertilizado con 234 unidades, sin embargo fue similar ($P > 0.05$) al testigo absoluto o sin fertilización que presentó 204 mazorcas. El resto de los tratamientos, los asociados a leguminosas, fueron similares ($P > 0.05$) entre sí con un promedio de 161 mazorcas por parcela (Cuadro 14).

En este año, se nota el efecto de la fertilización completa sobre el rendimiento de maíz, aunque el resultado aparece enmascarado por el número de mazorcas por parcela. Es fácil notar que el mayor rendimiento de los tratamientos de maíz sin asociar se explica por el más alto número de mazorcas por parcela que presentan y además, a que estas no presentaron fuertes daños por pájaros y roedores.

Cuadro 14. Calidad y número total de mazorcas y rendimiento de grano de maíz en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1999.

TRATAMIENTOS	BUENAS (%)	DAÑADAS (%)	MAZORCAS (No/parcela)	MAÍZ (kg/ha)
Maíz	70.3	29.7	204 ab	1,931 ab
Maíz + 40-100-00	69.0	31.0	234 a	2,280 a
Maíz + <i>C. ensiformis</i>	64.4	35.6	168 bc	1,159 b
Maíz + <i>M. pruriens</i>	75.3	34.7	180 bc	1,319 ab
Maíz + <i>C. ensiformis</i> + P	69.9	30.1	142 c	1,552 ab
Maíz + <i>M. pruriens</i> + P	72.0	28.0	155 c	1,606 ab

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

NOTA: Dañadas por mala polinización y ataque de pájaros y ratones.

En el año 2000, tres años después de iniciado el experimento y cuando ya todos los tratamientos incluyeron al maíz, los rendimientos más altos ($P<0.05$) de grano correspondieron a los tratamientos de maíz bien fertilizado y al de *C. ensiformis* con dos años de barbecho y apoyo P, ambos con más de 900 kg/ha. Estadísticamente, se formó un grupo de tratamientos con comportamiento similar ($P>0.05$) a los de mejor rendimiento y que juntos produjeron 665 kg/ha en promedio, entre estos se incluye al testigo absoluto sin fertilización. Los tratamientos de más bajo ($P<0.05$) rendimiento fueron los cuatro correspondientes a un año de barbecho con y sin P y el de *M. pruriens* con dos años de barbecho sin el apoyo de P (Cuadro 15).

M. pruriens con dos años de barbecho y aplicación de P, fue el tratamiento que mayor ($P<0.05$) número de mazorcas por parcela presentó (232 unidades), aunque fue similar ($P>0.05$) a otros 10 tratamientos, que juntos promediaron 179 mazorcas; al final, los tratamientos con más bajo ($P<0.05$) número de mazorcas por parcela fueron el de *C. ensiformis* asociado a maíz y los dos tratamientos de un año de barbecho sin aplicación de P y entre los tres promediaron 141 mazorcas (Cuadro 15).

Los tratamientos con menores rendimientos de maíz se caracterizan también por presentar un daño relativamente mayor en sus mazorcas (65% Vs. 47.5%).

Con tres años de cultivo consecutivo, el tratamiento de maíz bien fertilizado sigue presentándose como el más rendidor, sin embargo, hay que advertir que el testigo absoluto se ha mantenido muy cercano en rendimiento a aquel, a pesar de lo que indica la literatura sobre el descenso de la productividad de los terrenos bajo milpa. Por otro lado, los tratamientos de maíz asociado a leguminosas y los de leguminosas con dos años de barbecho, parecen estar mejorando los rendimientos y esto podría ser un indicativo de que después de estos años, las leguminosas comienzan a mostrar sus efectos bondadosos sobre la producción de maíz. Sin embargo, los resultados obtenidos concuerdan poco con los de Huz (1994) y Gordon *et al.* (1995), ambos citados por Kass y Somarriba (1997), quienes respectivamente encontraron que en Yucatán y Panamá, la asociación o la rotación de *C. ensiformis* con maíz fue capaz de llevar los rendimientos de este cultivo hasta 2,600 kg/ha.

En 2001, el más alto ($P>0.05$) rendimiento de maíz lo presentó el tratamiento de *M. pruriens* con dos años de barbecho y apoyo de P con 1,477 kg/ha. El maíz bien fertilizado, junto con los dos tratamientos de un año de barbecho sin P y el de dos años de barbecho de *M. pruriens* sin el apoyo de P fueron los que más bajos ($P<0.05$) rendimientos de maíz presentaron con un promedio de 670 kg/ha. El resto de los tratamientos fueron similares entre sí y estadísticamente iguales ($P>0.05$) a los más y los menos productivos (Cuadro 16). Para el mismo año de evaluación, Uribe (2001b) no encontró diferencias en el rendimiento de maíz al comparar los barbechos mejorados de dos y cuatro años de *M. pruriens* y *L. Leucocephala*, el barbecho natural espontáneo y el cultivo consecutivo de maíz con y sin fertilizante

Cuadro 15. Calidad y número total de mazorcas y rendimiento de grano de maíz en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 2000.

TRATAMIENTOS	BUENAS (%)	DAÑADAS (%)	MAZORCAS (No/parcela)	MAÍZ. (kg/ha)
Maíz	56.4	43.6	174 abc	738 ab
Maíz + 40-100-00	54.6	45.4	216 ab	925 a
Maíz + <i>C. ensiformis</i>	48.2	51.8	152 bc	514 abc
Maíz + <i>M. pruriens</i>	47.0	53.0	175 abc	581 abc
Maíz + <i>C. ensiformis</i> + P	54.8	45.2	171 abc	650 abc
Maíz + <i>M. pruriens</i> + P	54.6	45.4	178 abc	681 abc
Un año de <i>C. ensiformis</i>	32.0	68.0	128 c	232 c
Un año de <i>M. pruriens</i>	30.9	69.1	142 bc	223 c
Un año de <i>C. ensiformis</i> + P	39.6	60.4	155 abc	328 bc
Un año de <i>M. pruriens</i> + P	36.5	63.5	156 abc	281 bc
Dos años de <i>C. ensiformis</i>	58.0	42.0	194 abc	782 ab
Dos años de <i>M. pruriens</i>	35.5	64.5	165 abc	324 bc
Dos años de <i>C. ensiformis</i> + P	55.8	44.2	205 abc	919 a
Dos años de <i>M. pruriens</i> + P	42.7	57.3	232 a	710 abc

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

NOTA: Dañadas por mala polinización y ataque de pájaro y ratones.

El tratamiento más productivo, tuvo al mismo tiempo, el mayor ($P<0.05$) número de mazorcas por parcela (221 unidades), el mayor porcentaje de mazorcas buenas (85) y el menos de dañadas (15) por pájaros y ratones. Por el otro lado, los cuatro tratamientos menos productivos fueron los que presentaron el mayor porcentaje de mazorcas dañadas (un promedio de 30%), aunque sólo los tratamientos del maíz bien fertilizado y el de un año de *M. pruriens* sin P, fueron los que menor número ($P<0.05$) de mazorcas por parcela presentaron.

Cuadro 16. Calidad y número total de mazorcas y rendimiento de grano de maíz en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 2001.

TRATAMIENTOS	BUENAS (%)	DANADAS (%)	MAZORCAS (No/parcela)	MAÍZ (kg/ha)
Maíz	77	33	160 ab	872 ab
Maíz + 40-100-00	71	29	139 b	753 b
Maíz + <i>C. ensiformis</i>	74	26	182 ab	909 ab
Maíz + <i>M. pruriens</i>	75	25	193 ab	990 ab
Maíz + <i>C. ensiformis</i> + P	79	21	141 ab	883 ab
Maíz + <i>M. pruriens</i> + P	83	17	168 ab	1006 ab
Un año de <i>C. ensiformis</i>	71	29	155 ab	618 b
Un año de <i>M. pruriens</i>	67	33	134 b	581 b
Un año de <i>C. ensiformis</i> + P	73	27	178 ab	875 ab
Un año de <i>M. pruriens</i> + P	80	20	169 ab	992 ab
Dos años de <i>C. ensiformis</i>	70	30	187 ab	953 ab
Dos años de <i>M. pruriens</i>	69	31	170 ab	726 b
Dos años de <i>C. ensiformis</i> + P	74	26	188 ab	1006 ab
Dos años de <i>M. pruriens</i> + P	85	15	221 a	1477 a

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

NOTA: Dañadas por mala polinización y daños por pájaro.

Es reconocido por los campesinos de la Península de Yucatán, que los efectos de las leguminosas de cobertera en asocio a maíz, tardan en expresarse entre tres y cinco años, según las condiciones de suelo, clima y manejo. El análisis de los costos de cultivar maíz con o sin fertilizante, comparado contra el cultivo de maíz en asocio a leguminosas ayudará a reconocer las bondades de estos sistemas de cultivo y a decidir las posibilidades de éxito que ellos podrían tener en una zona maicera por excelencia, y donde todavía existen una gran cantidad de agricultores que practica la milpa bajo el sistema tradicional de roza, tumba y quema, debido a que carecen de acceso a tecnologías innovadoras y que por sus condiciones socioeconómicas y culturales no pueden hacer uso de insumos sencillos y de demostrada eficiencia como los fertilizantes y herbicidas.

Hasta el momento, y visto este experimento como sistemas de producción, el tratamiento más productivo es el de maíz bien fertilizado, que en cuatro años de cultivo consecutivo acumuló 5,884 kg/ha de maíz; le sigue el testigo absoluto con 4,924 kg/ha. Juntos, tienen una media de producción anual de 1,351 kg/ha y los dos han reducido su productividad (51% menos) hacia el cuarto año (Figura 2). Esta reducción no parece estar influenciada por la precipitación, pues la lluvia acumulada en 100 días de desarrollo, a partir de la fecha de siembra del maíz para 2000 y 2001, fue muy similar a la del primer año (Cuadro 17). Parece muy probable que problemas físicos y químicos del suelo estén determinando esta drástica caída de la productividad del maíz.

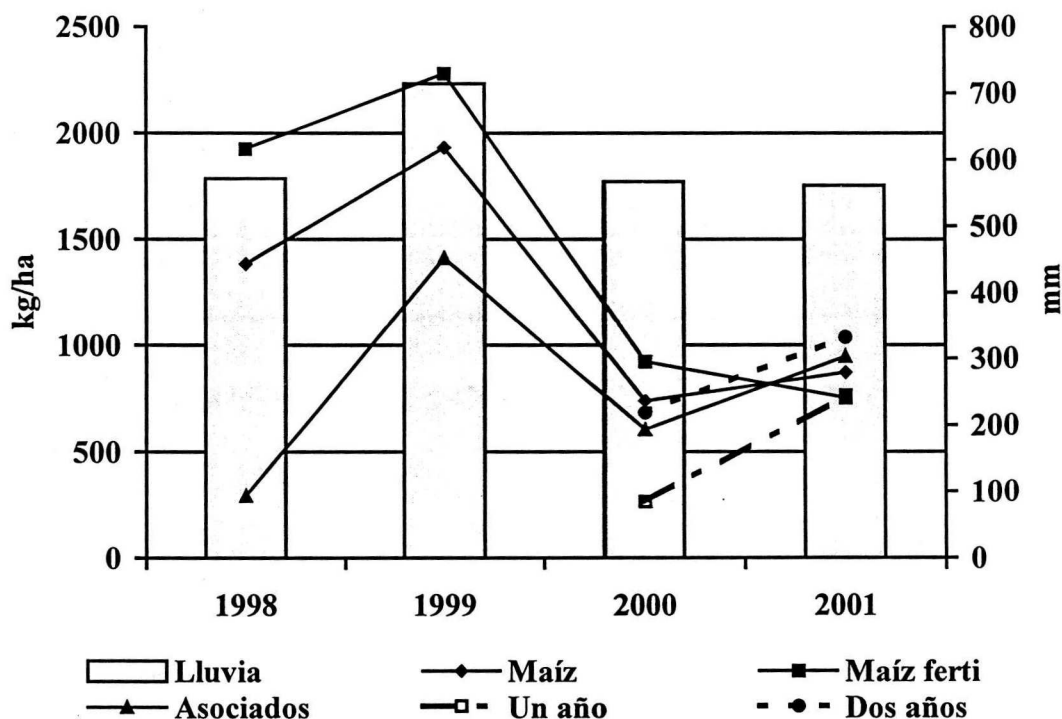


Figura 2. Rendimiento de grano de maíz por año de controles, asociados y barbechos en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera. Muna, Yucatán, 1998 - 2001.

Los cuatro tratamientos de maíz asociado a leguminosas con o sin P, tienen un acumulado promedio de 3,255 kg/ha, para una media anual de 814 kg. Con respecto al tratamiento más productivo, el maíz bien fertilizado, las asociaciones sólo han sido capaces de producir, en promedio, el 55% de aquel. Sin embargo, a diferencia de los maíces sin asociar, en estos se presentó una mejoría en el rendimiento del año 2001, lo que puede estar indicando beneficios en el suelo y concordar con la afirmación de que en la Península de Yucatán los efectos de asociar leguminosas a maíz se expresan hasta pasados unos años (Figura 2). Buckles *et al.* (1998) señalan que una vez que el sistema de maíz asociado a *M. pruriens* ha sido bien establecido (tres o más años), los rendimientos superan al maíz sin asociar y parecen permanecer constantes en los años sucesivos.

Las leguminosas asociadas al maíz en Yucatán parecen ejercer un efecto deprimente en la producción de grano durante los primeros años. Esto fue confirmado por Ramírez *et al.* (2001) cuando compararon los rendimientos de las asociaciones maíz/*M. pruriens*, maíz/*C. ensiformis*, el maíz limpio, y el maíz enyerbado, obteniendo rendimientos respectivos de 0.3, 1.2, 2.8 y cero ton/ha bajo un sistema de labranza convencional y rendimientos de 1.3, 1.8, 3.4 y cero ton/ha bajo un sistema de labranza de conservación. Sin embargo, Buckles *et al.* (1998) indican que uno de los principales beneficios de *M. pruriens* en Honduras es el incremento de la producción de maíz dentro del primer año de introducción de la leguminosa al sistema.

En el Cuadro 17 y la Figura 2 podemos observar, que en promedio, los tratamientos de un año de barbecho con leguminosas apoyadas o no con P, se presentan como los menos productivos con una media anual de 344 kg/ha. Esto significa que el barbecho de un año no fue suficiente para proporcionar mejoras inmediatas al suelo y que de este modo, los tratamientos que lo integran sólo fueron capaces de producir en un año, el 23% de lo logrado por el maíz bien fertilizado. Buckles *et al.* (1998) advierten que el éxito con *M. pruriens* para la producción de maíz se logra, comunmente, en parcelas viejas mas que en las nuevas.

Cuadro 17. Rendimiento (kg/ha) de grano de maíz por año y acumulado en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1998 - 2001.

TRATAMIENTOS	1998	1999	2000	2001	ACUM.	MEDIA	(%)
Maíz	1,383	1,931	738	872	4,924	1231	84
Maíz + 40-100-00	1,926	2,280	925	753	5,884	1471	100
Promedio	1,655	2,105	832	812	5,404	1,351	92
Maíz + <i>C. ensiformis</i>	407	1,159	514	909	2,989	747	51
Maíz + <i>M. pruriens</i>	135	1,319	581	990	3,025	756	51
Maíz + <i>C. ensiformis</i> + P	435	1,552	650	883	3,520	880	60
Maíz + <i>M. pruriens</i> + P	193	1,606	681	1,006	3,486	872	59
Promedio	292	1,409	606	947	3,255	814	55
Un año de <i>C. ensiformis</i>		B	232	618	850	283	19
Un año de <i>M. pruriens</i>		B	223	581	804	268	18
Un año de <i>C. ensiformis</i> + P		B	328	875	1,203	401	27
Un año de <i>M. pruriens</i> + P		B	281	992	1,273	424	29
Promedio			266	767	1,032	344	23
Dos años de <i>C. ensiformis</i>	B	B	782	953	1,735	434	29
Dos años de <i>M. pruriens</i>	B	B	324	726	1,050	263	18
Dos años de <i>C. ensiformis</i> + P	B	B	919	1,006	1,925	481	33
Dos años de <i>M. pruriens</i> + P	B	B	710	1,477	2,187	547	37
Promedio			684	1,040	1,724	431	29
<i>C. ensiformis</i>	421	1,356	571	874	2,037	509	35
<i>M. pruriens</i>	164	1,463	467	962	1,971	493	33
Leguminosas con P	314	1,579	595	1,040	3,528	882	41
Leguminosas sin P	271	1,239	443	796	2,749	687	31
Lluvia (100 días de la siembra)	571	714	566	561	2,412	603	

El cálculo de la media incluye a los años de barbecho de esos sistemas de producción.

En promedio, los cuatro tratamientos de barbechos de dos años acumularon 1,724 kg/ha de maíz en dos años de cultivo y esto les adjudica una media de rendimiento anual de 431 kg/ha, pues deben considerarse los años de barbecho como parte del sistema de producción de maíz; como media anual, los barbechos de dos años produjeron el 29% de lo logrado por el maíz bien fertilizado (Figura 2).

Es muy interesante notar en el Cuadro 17 que la mayoría (75%) de los tratamientos de maíz asociado a leguminosas y de los barbechos de uno y dos años con leguminosas, presentaron en 2001, rendimientos similares o superiores a los de los maíces sin asociar. Además, en las asociaciones y los barbechos existe una mejoría de la productividad en comparación al año anterior (2000), mientras que los maíces solos fueron menos productivos en 2001 que en el año 2000. Este comportamiento de los tratamientos con leguminosas podría estar asociado a beneficios en la retención de humedad en el suelo, reducción de competencia contra malezas y pequeñas mejoras en la física y química del suelo. La producción media anual es similar (509 y 493 kg/ha) entre ambas especies de leguminosas (Figura 3).

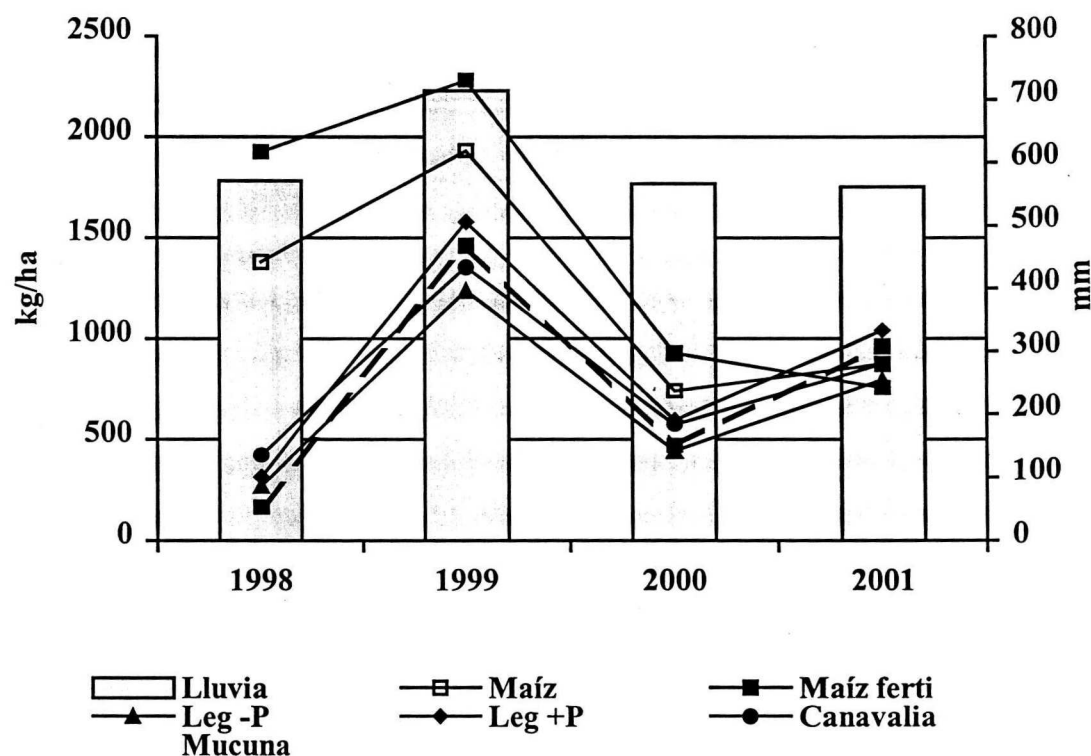


Figura 3. Rendimiento de grano de maíz por año para los controles, las especies y la aplicación o no de P en el experimento de evaluación de leguminosas de cobertura. Muna, Yucatán, 1998 - 2001.

Los análisis estadísticos no han permitido separar con claridad los efectos de la aplicación de P, pero en el Cuadro 17 y la Figura 3 podemos observar que en conjunto, las leguminosas que incluyeron el apoyo de P, presentan en promedio, un 28% más producción media anual que las no apoyadas con este nutrimento.

7.1.5. Beneficios biofísicos, sociales, ecológicos y económicos.

Los primeros intentos para introducir barbechos mejorados en los tropicos estuvieron dominados por el uso de leguminosas herbáceas, sin embargo, más tarde hubo consenso de que estas no son viables en zonas donde preceden períodos secos prolongados a la estación de siembra (Nair, 1993), como podría ser el caso de Yucatán. A pesar de lo anterior en este trabajo hemos encontrando que las leguminosas de cobertera asociadas o alternadas al maíz en el sur de Yucatán, son capaces generar servicios y productos en beneficio de los agricultores, el sistema milpero y el ambiente. Sin embargo, la percepción campesina variará entre individuos y objetivos de producción, así como de las expectativas de desarrollo de las familias campesinas (Cuadro A.2.).

Beneficios biofísicos. Las dos especies son hábiles para desarrollar rápidamente y mantener cubierto el terreno hasta enero o marzo, proporcionando una aceptable cantidad de MO al suelo mientras ayudan en la retención de humedad en el suelo y disminuyen la incidencia de malezas. Cuando son manejadas como barbecho son más eficientes en cubrir el terreno y bajo esta forma de manejo se evita la competencia que estas especies agresivas pueden ejercer sobre las plantas de maíz. Asociadas al cultivo, las leguminosas de cobertera pueden causar un efecto deprimente en la productividad de maíz en los primeros dos o tres años, sobre todo si su manejo no es adecuado y se permite su excesivo desarrollo, pudiendo ocasionar la pérdida de plantas por acame y una reducción directa en el número de mazorcas por área. Con tres o cuatro años de iniciados los sistemas de producción, tanto asociadas como en barbecho, las leguminosas de cobertera muestran ser eficaces en el mejoramiento de la productividad anual del maíz. Aunque no se cuenta con datos sobre las características físicas y químicas iniciales

y finales del suelo, es de esperarse que las leguminosas estén aportando N por fijación, reciclando otros nutrientes y mejorando ciertas características físicas que ayudan al mejoramiento de la productividad del sistema.

Beneficios sociales. Los sistemas de producción con leguminosas asociadas o alternadas al maíz se presentan como una alternativa de mejoramiento de la milpa apegada a los usos y las costumbres de los agricultores de Yucatán; además de representar sistemas de bajos insumos externos. Las dificultades para la utilización de fuertes cantidades de fertilizantes y herbicidas, se verán minimizadas en el mediano plazo por los servicios que las leguminosas hacen al cultivo y al terreno mediante la recirculación de nutrientes y la cobertura para la protección del suelo. Generalmente, la mano de obra familiar tiende a eficientizarse con los sistemas más diversificados, a la vez que la multiplicidad de productos cubre mejor la inversión de esta. Estos sistemas innovadores priorizan y aumentan la producción de maíz, sustento básico y eje cultural de las familias campesinas mayas de Yucatán.

Beneficios ecológicos. Las leguminosas de cobertera, en asocio o en barbecho al maíz, aportan considerable cantidad de MO mientras protegen el suelo; según (Sánchez, 1994), esta es la clave para la reducción de la erosión del suelo. Siguiendo a Young (1989), podemos afirmar que las leguminosas de cobertera serían uno de los componentes principales de aquel sistema agroforestal que apropiadamente mantenga la MO del suelo y sus propiedades físicas y promueva el eficiente reciclaje de nutrientes. Es reconocido que los milperos de Yucatán abandonan sus terrenos y desmontan nuevos predios cuando la fertilidad disminuye y aumentan las malezas; con el uso de leguminosas de cobertera se vería reducido el uso total de la tierra en cultivo, presentándose un impacto positivo en la deforestación como sucedió en la Amazonía con *P. phaseoloides* (Yanggen y Alegre, 2000).

Beneficios económicos. El cultivo comercial de maíz en Yucatán es de nula o escasa redituabilidad. La racionalidad económica de la milpa se basa en la diversificación de cultivos y en el aprovechamiento de subproductos de la rica vegetación nativa, sin embargo, actualmente el sistema milpero está “debilitado” por la falta de árboles y

herbáceas que aporten servicios y productos de valor económico. La integración de las leguminosas de cobertera al sistema de producción de maíz se puede traducir en beneficios económicos para los agricultores y sus familias; aquellas pueden mejorar la fertilidad química y la física del suelo, generando un ahorro en el uso de fertilizantes inorgánicos y agregando valor a la producción de los cultivos subsecuentes; al reducir la incidencia de malezas, disminuyen el uso de la mano de obra y la necesidad de comprar herbicidas; pero también ahorran mano de obra para abrir nuevas áreas de cultivo al aumentar la intensidad del uso del suelo; *per se*, las leguminosas producen follaje y semillas para la alimentación de animales o la venta.

7.2. Exp. II. Evaluación de arbustivas y arbóreas para la producción de maíz.

7.2.1. Establecimiento y desarrollo de las arbustivas y arbóreas.

Altura de plantas. A través de los cuatro años de barbecho o descanso del terreno la especie *L. leucocephala* fue la que más altura desarrolló (Cuadro 18). En diciembre de 1996, seis meses después de la siembra, *L. Leucocephala* y *S. sesban* fueron las especies que alcanzaron la mayor ($P<0.05$) altura, superando los 140 cm; les siguió *C. yucatanensis*, que fue de altura similar ($P>0.05$) a *G. sepium*, *A. gaumeri* y *P. albicans* con un promedio de 70 cm; el resto de las especies presentaron valores que variaron entre los 4 y los 48 cm de altura.

En octubre de 1997, con dos años de edad, la *L. leucocephala* presentó una altura de 379 cm siendo la más alta ($P<0.05$) de entre todas las especies; la segunda más alta ($P<0.05$) fue *S. sesban* con 307 cm; a esta le siguieron *C. yucatanensis*, *S. octucifolia* y *G. sepium* que fueron iguales ($P>0.05$) entre sí y promediaron 215 cm; el resto de las especies presentaron diferencias estadísticas entre sí ($P<0.05$) y sus valores estuvieron entre 61 y 164 cm.

Para enero de 1999, cuando las plantas contaban con 30 meses de edad, *L. leucocephala* seguía siendo la más alta ($P<0.05$) de entre todas las especies en evaluación, midiendo 561 cm; la segunda más alta ($P<0.05$) en esta fecha fue *S. sesban* con 334 cm, pero estadísticamente resultó igual ($P>0.05$) a *C. yucatanensis*, *P. piscipula*, *G. sepium*, *B.*

ungulata, *S. racemosa*, *A. gaumeri*, *L. yucatanensis* y *S. octucifolia* que juntas promediaron 250 cm; las restantes ocho especies mostraron diferencias significativas entre sí ($P<0.05$) y sus valores estuvieron entre los 39 y los 192 cm.

Cuadro 18. Altura (cm) de leguminosas en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1996 - 2000.

TRATAMIENTOS	DIC 1996	OCT 1997	ENE 1999	MAR 2000
<i>A. gaumeri</i>	64 bcd	147 def	226 bcdef	438 bc
<i>A. glomerosa</i>	5 g	66 g	125 efg	81 ef
<i>B. divaricata</i>	4 g	63 g	39 g	64 f
<i>B. unglata</i>	42 def	144 def	251 bcde	353 bcd
<i>C. gaumeri</i>	34 defg	95 fg	173 def	352 bcd
<i>C. yucatanensis</i>	85 b	229 c	307 bc	478 b
<i>G. sepium</i>	78 bc	206 cd	264 bcd	358 bcd
<i>L. leucocephala</i>	147 a	379 a	561 a	716 a
<i>L. rugosos</i>	16 fg	61 g	114 fg	226 d
<i>L. yucatanensis</i>	32 defg	158 def	224 bcdef	279 cd
<i>M. bahamensis</i>	27 fge	93 fg	188 cdef	330 bcd
<i>P. albicans</i>	54 bcde	126 efg	192 cdef	352 bcd
<i>P. dulce</i>	46 cdef	74 g	104 fg	210 de
<i>P. leucospermum</i>	42 def	94 fg	134 efg	249 d
<i>P. piscipula</i>	31 defg	164 de	267 bcd	454 b
<i>S. octucifolia</i>	48 cdef	209 cd	212 bcdef	461 b
<i>S. racemosa</i>	48 cdef	164 de	245 bcde	442 b
<i>S. sesban</i>	142 a	307 b	334 b	412 bc

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

Al final del período de barbecho, marzo de 2000, la especie más alta ($P < 0.05$) fue *L. leucocephala* con 716 cm; esta fue seguida por *C. yucatanensis*, *S. octucifolia*, *P. piscipula* y *S. racemosa* que fueron similares ($P > 0.05$) y juntas promediaron 459 cm; siete especies más fueron estadísticamente iguales ($P > 0.05$) al grupo anterior y su promedio fue de 370 cm; las menos altas fueron diferentes ($P < 0.05$) entre sí y sus valores estuvieron entre 64 y 279 cm.

El comportamiento diferencial en altura de las especies en evaluación tiene que ver con el carácter de arbórea o arbustiva de las plantas, sin embargo, es importante destacar que el crecimiento inicial proporciona a las plantas ventajas competitivas sobre las malezas. Aunque es reconocido que *L. leucocephala* crece despacio en sus primeros meses después de la siembra directa, esta especie toma ventaja cuando logra su establecimiento y presenta un acelerado desarrollo que la pone muy por encima de las otras especies en evaluación. Lulandala y Hall (1991) consignan alturas de 580 cm para plantas de *L. leucocephala* con 30 meses de edad, lo que es muy cercano a lo obtenido en este ensayo.

Standley (1930), señala que *C. yucatanensis* es un arbusto de menos de cuatro metros de altura, pero en este ensayo rebasó esta altura (478 cm) en los cuatro años que fue cultivado. Por su parte *G. sepium* que aquí alcanzó menos de los cuatro metros, puede todavía llegar hasta una altura de 12 m (Pennington y Sarukhan, 1968), al igual que *P. piscipula* (menos de cinco metros) que en forma natural es un árbol de entre 15 hasta 25 metros (Adame, 1985; Chávez, 1995).

Número de plantas. El número de plantas varió entre especies a través de los años que duró el barbecho; las especies que presentaron un más alta persistencia fueron *P. piscipula*, *L. leucocephala*, *C. yucatanensis*, *P. dulce*, , *A. gaumeri*, *P. albicans* y *G. sepium* (Cuadro 19).

Cuadro 19. Número de plantas de leguminosas por parcela en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1996 - 1999.

TRATAMIENTOS	AGO 1996	FEB 1997	ENE 1998	ENE 1999
<i>A. gaumeri</i>	23 abcde	41 ab	38 abcd	38 ab
<i>A. glomerosa</i>	10 cdef	7 e	24 bcde	14 de
<i>B. divaricata</i>	10 cdef	12 cde	10 e	3 e
<i>B. unguolata</i>	9 def	24 bcde	26 abcde	25 bcd
<i>C. gaumeri</i>	25 abcd	26 bcde	26 abcde	24 bcd
<i>C. yucatanensis</i>	37 a	34 ab	46 ab	40 ab
<i>G. sepium</i>	30 abc	38 ab	41 ab	32 abc
<i>L. leucocephala</i>	24 abcde	36 ab	43 ab	34 abc
<i>L. rugosus</i>	16 bcdef	41 ab	36 abcd	37 ab
<i>L. yucatanensis</i>	3 f	10 de	36 abcd	29 bcd
<i>M. bahamensis</i>	12 bcdef	22 bcde	19 cde	17 cde
<i>P. albicans</i>	26 abcd	41 ab	46 ab	38 ab
<i>P. dulce</i>	30 ab	38 ab	38 abcd	37 ab
<i>P. leucospermum</i>	20 abcdef	29 abcd	36 abcd	27 bcd
<i>P. piscipula</i>	30 abc	46 a	48 a	48 a
<i>S. octucifolia</i>	5 ef	29 abc	41 abc	39 ab
<i>S. racemosa</i>	1 f	29 abc	36 abcd	30 bcd
<i>S. sesban</i>	13 bcdef	29 abc	17 de	7 e

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

En 1996, el año del establecimiento y a dos meses de la siembra, se presentó dificultad para lograr un buen número de plantas por área; aunque se compensó a la siembra, la germinación de las semillas colectadas fue, en promedio, del 50%, variando de 10 al 80% según la especie. La leguminosa *C. yucatanensis* fue la que presentó el mayor ($P<0.05$) número de plantas (37 por parcela) pero fue estadísticamente similar ($P<0.05$) a *L. leucocephala*, *P. leucospermum*, *P. dulce*, *P. piscipula*, *C. gaumeri*, *A. gaumeri*, *P. albicans* y *G. sepium* quienes mostraron un promedio de 26 plantas; el resto de las especies mostraron diferencias ($P<0.05$) entre sí y sus valores fueron desde una hasta 16 plantas.

En febrero de 1997, la población proveniente de siembra directa alcanzó valores más altos que el año anterior, significando que la germinación de las semillas continuó después de dos meses. *P. piscipula* fue la especie que más alto ($P<0.05$) número de plantas por parcela presentó (46); sin embargo, fue estadísticamente similar ($P>0.05$) a otras 11 de las especies en evaluación, las que variaron entre 29 y 41 plantas; las especies con menor ($P<0.05$) número de plantas fueron *M. bahamensis*, *A. glomerosa*, *B. divaricata*, *B. unguolata*, *L. yucatanensis* y *C. gaumeri*, que tuvieron entre siete y 26 plantas por parcela.

En mayo de 1997 se plantaron unidades faltantes en las parcelas para uniformizar la población deseada. Para enero de 1998, cuando las plantas originales tenían 18 meses, se encontró que *P. piscipula* fue la que mayor ($P<0.05$) número de plantas presentó (48) y que fue estadísticamente igual ($P>0.05$) a 12 de las especies en evaluación y que estas tuvieron valores de 26 a 46 plantas; las de menor ($P<0.05$) población fueron *M. bahamensis*, *A. glomerosa*, *B. divaricata*, *C. gaumeri* y *S. sesban*, que presentaron entre 10 y 24 plantas por parcela.

En enero de 1999, *P. piscipula* siguió siendo la especie que mayor ($P<0.05$) número de plantas mantuvo; las especies que fueron similares ($P>0.05$) a aquella fueron *L. rugosus*, *S. octucifolia*, *L. leucocephala*, *C. yucatanensis*, *P. dulce*, *A. gaumeri*, *P. albicans* y *G. sepium* con 32 a 40 plantas; el resto de las especies tuvo valores de entre tres y 30 plantas por parcela.

Hacia el final del período de barbecho, *P. piscipula* mantuvo el 100% de la población por parcela; la persistencia de las especies que siguieron a *P. piscipula* fue: *L. rugosus* (77%), *S. octucifolia* (81%), *L. leucocephala* (71%), *C. yucatanensis* (83%), *P. dulce* (77%), *A. gaumeri* (79%), *P. albicans* (79%) y *G. sepium* (67%); las especies menos persistentes mantuvieron un porcentaje de población que fue del 62 hasta sólo el 6%. Esta baja en la población a través de los años se explica por falta de adaptación y agresividad de las especies, además de los fuertes ataques de tuzas que se dan en los suelos rojos del sur de Yucatán y que requieren de una constante vigilancia y eliminación por trampeo.

Las especies en evaluación tienen diferente capacidad para volverse dominantes. Por ejemplo, *L. leucocephala* tiene abundante y precoz producción de semillas, no necesita de polinizadores específicos, tiene habilidad de rebrote después del corte o quema, su banco de semillas en el suelo es persistente y tiene la habilidad de formar densos e impenetrables matorrales (Hughes, 1998). Otras especies, como *M. bahamensis*, *C. gaumeri*, *P. piscipula*, *P. albicans*, *G. sepium*, *L. rugosus*, *B. divaricata*, *P. albicans* y *C. yucatanensis*, son comunmente encontradas en los terrenos de milpa, lo que podría ser indicativo de su adaptabilidad a los procesos de corte y quema y/o estar relacionado con el manejo selectivo de los agricultores por sus características deseables (Sánchez, 1993).

Porcentaje de cobertura. *L. leucocephala* mostró una dominancia sobre las demás especies para cubrir el terreno como resultado del desarrollo de su fronda (Cuadro 20). En enero de 1997, con sólo siete meses de edad, *L. leucocephala* presentó la mejor ($P<0.05$) cobertura del suelo con 58%, y únicamente *C. yucatanensis* fue similar ($P>0.05$) a ella con 43%; el resto de las especies fueron diferentes ($P<0.05$) a estas dos especies y presentaron porcentajes de cobertura de entre 30 y el 2%.

Un año después de la anterior evaluación, enero de 1998, *L. leucocephala* siguió siendo la mejor ($P<0.05$) en cobertura con 91%, aunque resultó estadísticamente similar ($P>0.05$) a *P. piscipula* (72%), *C. yucatanensis* (67%) y *P. albicans* (64%); las demás especies, que fueron diferentes ($P<0.05$) a las anteriores, presentaron coberturas de entre uno y 57%.

En febrero 2000, casi para cumplirse los cuatro años de barbecho y en plena época de sequía, las especies que mayor ($P<0.05$) cobertura presentaron fueron *P. piscipula* y *L. leucocephala* con 69 y 65%, respectivamente; a estas les siguieron, sin diferencias significativas ($P>0.05$), *S. octucifolia*, *C. yucatanensis*, *S. racemosa*, *A. gaumeri* y *P. albicans* que tuvieron porcentajes de entre 49 y 62%; el resto de las especies tuvieron valores de cobertura entre uno y el 40%.

Cuadro 20. **Porcentaje de cobertura de leguminosas en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1997 - 2000.**

TRATAMIENTOS	ENE 1997	ENE 1998	FEB 2000
<i>A. gaumeri</i>	6 de	57 bcd	49 abcd
<i>A. glomerosa</i>	2 e	1 h	1 h
<i>B. divaricata</i>	5 de	3 h	6 gh
<i>B. unguolata</i>	14 cde	31 defg	40 bcde
<i>C. gaumeri</i>	8 de	18 fgh	40 bcde
<i>C. yucatanensis</i>	43 ab	67 abc	62 ab
<i>G. sepium</i>	27 bcd	47 bcde	33 cdef
<i>L. leucocephala</i>	58 a	91 a	65 a
<i>L. rugosos</i>	4 e	13 gh	17 fgh
<i>L. yucatanensis</i>	6 de	26 efgh	15 fgh
<i>M. bahamensis</i>	3 e	19 efgh	31 def
<i>P. albicans</i>	12 cde	64 abc	54 abc
<i>P. dulce</i>	5 de	21 efgh	24 efg
<i>P. leucospermum</i>	3 e	32 defg	31 def
<i>P. piscipula</i>	30 bc	72 ab	69 a
<i>S. octucifolia</i>	9 cde	41 cdefg	53 abcd
<i>S. racemosa</i>	7 de	45 bcdef	55 abc
<i>S. sesban</i>	21 cde	42 cdef	16 fgh

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

De las 18 especies en evaluación, *L. leucocephala* fue quien más temprano y mejor cubrió el terreno; este efecto es resultado de su alta tasa de crecimiento en hoja y madera según lo discute Hughes (1998). Las especies que también tuvieron un buen comportamiento en cobertura del suelo fueron *P. piscipula*, *C. yucatanensis*, *P. albicans*, *A. gaumeri* y *S. octucifolia*, y es de notarse que la cobertura alcanzada está muy relacionada a la población de plantas por parcela que estas mismas especies tienen (ver

Cuadro 19). Los valores de cobertura registrados deben de ser tenidos en consideración ya que las mediciones se realizaron en medio de la época seca y los árboles y arbustos que fueron superiores tienen la alta capacidad de tolerar la sequía y de retener una alta proporción de sus hojas, a pesar del estrés de agua.

7.2.2. Efecto de las arbustivas y arbóreas sobre la incidencia de malezas.

La incidencia de malezas se muestreó después del período más lluvioso del año (octubre) y al inicio de la época seca (diciembre), sin embargo, durante el período de barbecho la cantidad de biomasa de maleza fue muy bajo en comparación a la registrada cuando el terreno entró a la fase de cultivo (Cuadro 21).

En octubre de 1997, quince meses después de la siembra de las arbóreas y arbustivas y después del período más lluvioso del año, la maleza presente bajo el dosel de las especies fue relativamente bajo, pues no alcanzó la media tonelada por hectárea. Los tratamientos que presentaron la menor ($P < 0.05$) incidencia de malezas bajo su dosel fueron *L. leucocephala*, *S. sesban*, *P. dulce*, *A. gaumeri*, *S. racemosa* y el Barbecho 1 (natural) que no pasaron de 211 kg MS/ha; sin embargo, resultaron estadísticamente similares ($P > 0.05$) a *M. bahamensis*, *A. glomerosa*, *B. divaricata*, *B. unguolata*, *P. leucospermum*, *C. yucatanensis*, el Barbecho 2 (manejado), *P. piscipula*, *L. yucatanensis*, *C. gaumeri*, *P. albicans* y *G. sepium*, quienes también presentaron menos de 292 kg MS/ha.

En diciembre de 1998, se encontró que fue *L. leucocephala* quien mejor redujo ($P < 0.05$) la incidencia de maleza bajo el dosel con sólo 88 kg MS/ha; 10 especies fueron similares ($P > 0.05$) a *L. leucocephala* para reducir la incidencia de maleza y sus valores de biomasa estuvieron entre 107 y 127 kg MS/ha; el resto de los tratamientos fueron diferentes ($P < 0.05$) a *L. leucocephala* y la incidencia de maleza estuvo entre los 131 y los 145 kg MS/ha.

Toda vez que los árboles y arbustos fueron eliminados por tumba y pica y se estableció maíz en todas las parcelas, la incidencia de maleza medida dentro del cultivo fue menor ($P < 0.05$) en donde estuvo *P. leucospermum*, quien presentó 600 kg MS/ha en el mes de

octubre de 2000; estadísticamente similares ($P>0.05$) a este tratamiento fueron *B. unguolata*, *P. albicans*, *L. leucocephala* y *P. dulce*, con incidencias de maleza que fueron de 750 a 800 kg MS/ha; el resto de tratamientos fue similar ($P>0.05$) entre sí y presentaron incidencias de malezas desde 825 hasta 1,450 kg MS/ha.

Los árboles y arbustos mostraron un efecto depresivo sobre las malezas causado por el sombreado y la competencia de espacio y posiblemente nutrientes y agua. Sin embargo, este efecto desaparece rápidamente toda vez que el terreno entra a la fase de cultivo. Al parecer, el control de las malezas invasoras es más rápido cuando se utilizan especies herbáceas para el mejoramiento de los acahuals. Szott *et al.* (1991 citados por Kass *et al.*, 1994), trabajaron durante un período de 4-5 años de barbecho con leguminosas herbáceas y leñosas, encontrando un mejor control de las malezas con las especies estoloníferas (*Centrosema macrocarpa*, *Pueraria phaseoloides* y *Desmodium ovalifolium*), aunque la mejor supresión de malezas fue obtenida por las leguminosas leñosas (*Cajanus cajan* e *Inga edulis*)

7.2.3. Efecto sobre el desarrollo de plantas de maíz.

Altura de planta. Un mes después de su siembra, la altura de maíz fue más alta ($P<0.05$) en los tratamientos que incluyeron a *M. bahamensis* y *C. yucatanensis*, ambos presentaron 30 cm; sin embargo, estas alturas fueron similares ($P>0.05$) al resto de los tratamientos que mostraron alturas de entre 24 y 29 cm, exceptuando a *L. rugosus*, *L. yucatanensis* y *P. albicans* cuyas alturas fueron estadísticamente iguales ($P>0.05$) y juntas promediaron 23 cm (Cuadro 22). En una segunda medición, realizada en el mes de septiembre de 2000, las plantas de maíz no mostraron diferencias significativas ($P>0.05$) en este parámetro, resultando un promedio de 223 cm para todos los tratamientos.

Cuadro 21. Incidencia de maleza (kg MS/ha) bajo dosel de las leguminosas en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1997 - 2000.

TRATAMIENTOS	OCT 1997	DIC 1998	OCT 2000*
<i>A. gaumeri</i>	189 c	107 ab	1,025 abcd
<i>A. glomerosa</i>	260 abc	131 a	825 bcd
<i>B. divaricata</i>	289 abc	137 a	925 abcd
<i>B. unguolata</i>	216 bc	127 ab	750 cd
Barbecho 1	211 c	120 ab	1,050 abcd
Barbecho 2	292 abc	119 ab	825 bcd
<i>C. gaumeri</i>	241 abc	123 ab	1,450 a
<i>C. yucatanensis</i>	214 bc	108 ab	1,075 abcd
<i>G. sepium</i>	237 bc	120 ab	1,100 abcd
<i>L. leucocephala</i>	164 c	88 b	775 cd
<i>L. rugosus</i>	348 ab	143 a	1,275 abc
<i>L. yucatanensis</i>	231 bc	144 a	925 abcd
<i>M. bahamensis</i>	292 abc	136 a	825 bcd
<i>P. albicans</i>	238 bc	119 ab	750 cd
<i>P. dulce</i>	185 c	139 a	800 cd
<i>P. leucospermum</i>	291 abc	131 a	600 d
<i>P. piscipula</i>	288 abc	111 ab	1,100 abcd
<i>S. octucifolia</i>	371 a	145 a	900 abcd
<i>S. racemosa</i>	198 c	136 a	850 bcd
<i>S. sesban</i>	172 c	109 ab	1,400 ab

* Para el año 2000, el terreno está ocupado solo con maíz.

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

En el segundo cultivo de maíz, correspondiente al año 2001, las plantas de maíz que crecieron en donde se desarrolló *C. yucatanensis* fueron las más altas ($P>0.05$) y presentaron 234 cm; estadísticamente, le siguieron en altura las plantas de maíz que se desarrollaron en donde se barbechó con *L. leucocephala*, *B. unguolata*, *S. racemosa*, el barbecho 2, *P. piscipula*, *C. gaumeri*, *A. gaumeri* y *P. albicans*, las cuales presentaron más de dos metros de altura.

Para este parámetro, se destaca la persistencia de *C. yucatanensis* como la especie en la cual, después de los cuatro años de barbecho, el maíz tiende a desarrollar más alto. Otras especies que se mostraron promisorias para favorecer la altura del maíz fueron *L. leucocephala*, *S. racemosa*, *P. piscipula* y *P. albicans*, las cuales son coincidentes además, con haber mostrado un buen desarrollo durante el período de barbecho. Es decir, parece haber una relación directa entre barbechos altos, poblados y frondosos con la altura alcanzada por las plantas de maíz en estos primeros dos años de cultivo consecutivo.

Número de plantas. Dos meses después de la siembra, el número de plantas de maíz por parcela no presentó diferencias significativas ($P>0.05$) entre tratamientos y su promedio general, en el año 2000, se estableció en 257 plantas (Cuadro 22), es decir, se logró una relación de 2.13 plantas por cepa o punto de siembra.

El número de plantas por parcela en el segundo año de cultivo varió entre tratamientos (Cuadro 22). Se encontraron más plantas por parcela ($P<0.05$) en el tratamiento que contuvo el barbecho de *G. sepium* (150 plantas), aunque la gran mayoría de los tratamientos fueron estadísticamente similares ($P>0.05$) a este. Los tratamientos donde se registraron las menores ($P<0.05$) poblaciones de maíz por área fueron *L. leucocephala*, *P. piscipula* y *P. albicans*. En este año, los valores para plantas por parcela variaron entre 113 y 150; la relación plantas por cepa, en promedio general de los 20 tratamientos, fue de 1.79, es decir, se alcanzó un 89.5% de éxito en la siembra.

Cuadro 22. Desarrollo de plantas de maíz en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 2000 - 2001.

TRATAMIENTOS	ALTURA (cm)		PLANTAS (No/parcela)	
	AGO 2000	AGO 2001	SEP 2000	AGO 2001
<i>A. gaumeri</i>	25 ab	209.5 abc	256 a	244 abcd
<i>A. glomerosa</i>	24 ab	197.0 b	240 a	296 ab
<i>B. divaricata</i>	27 ab	195.5 c	252 a	274 abcd
<i>B. unguolata</i>	27 ab	212.2 abc	244 a	260 abcd
Barbecho 1	24 ab	197.2 bc	284 a	284 abc
Barbecho 2	25 ab	211.7 abc	252 a	296 ab
<i>C. gaumeri</i>	29 ab	211.2 abc	240 a	258 abcd
<i>C. yucatanensis</i>	30 a	233.7 a	248 a	270 abcd
<i>G. sepium</i>	27 ab	200.0 bc	268 a	302 a
<i>L. leucocephala</i>	26 ab	222.7 abc	248 a	228 d
<i>L. rugosus</i>	23 b	195.5 c	244 a	260 abcd
<i>L. yucatanensis</i>	23 b	194.2 c	228 a	292 abc
<i>M. bahamensis</i>	30 a	191.7 c	292 a	254 abcd
<i>P. albicans</i>	23 b	205.0 abc	256 a	236 cd
<i>P. dulce</i>	27 ab	191.0 c	264 a	258 abcd
<i>P. leucospermum</i>	24 ab	195.5 c	260 a	262 abcd
<i>P. pispipula</i>	29 ab	228.0 ab	260 a	238 bcd
<i>S. octucifolia</i>	26 ab	195.5 c	240 a	262 abcd
<i>S. racemosa</i>	27 ab	223.2 abc	280 a	290 abc
<i>S. sesban</i>	24 ab	200.7 bc	256 a	268 abcd

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

A pesar de que no se registraron grandes diferencias en los resultados de altura de plantas ni en el número de plantas por área entre los diferentes tratamientos, se notó que el descanso del terreno por cuatro años favoreció el desarrollo inicial de las plantas de maíz. En el año 2000, después de la siembra del cultivo ocurrió un fuerte período de sequía (45% menos lluvia que la de tres años diferentes) que dañó gran cantidad de siembras en la zona aledaña al experimento, sin embargo, las parcelas en este trabajo mantuvieron sus plantas y estas su desarrollo.

7.2.4. Rendimiento de grano y la calidad de mazorcas.

El rendimiento de grano para el primer año de cultivo después del período de barbecho fue más alto ($P < 0.05$) en el tratamiento que incluyó a *M. bahamensis* con 1,047 kg/ha; sin embargo, este rendimiento fue similar ($P > 0.05$) a casi la totalidad de los demás tratamientos, a excepción de *L. yucatanensis*, *A. gaumeri* y *P. leucospermum*, que respectivamente presentaron 471, 539 y 556 kg/ha (Cuadro 23).

No hubo diferencias estadísticas ($P > 0.05$) para el número de mazorcas por parcela. El promedio de los 20 tratamientos estuvo en 222 mazorcas, con el 40% de dañadas y el resto constituyeron las mazorcas de calidad comercial.

En el año 2001, segundo ciclo de cultivo de maíz después del período de barbecho, los más altos rendimientos de grano ($P > 0.05$) se presentaron en los tratamientos que contuvieron a *S. racemosa* y a *G. sepium* con, respectivamente, 824 y 803 kg/ha, estimado sobre la base del número de mazorcas buenas y su rendimiento medio ajustado al 16% de humedad. El tratamiento de barbecho con *P. dulce* mostró el más bajo ($P > 0.05$) rendimiento con 479 kg/ha, mientras que el resto fueron estadísticamente similares ($P < 0.05$) entre sí con rendimientos que variaron entre los 599 y los 747 kg/ha (Cuadro 24)

El número total de mazorcas por parcela resultante de este año y entre tratamientos no mostró diferencias estadísticas significativas (Cuadro 24). El número de mazorcas sólo varió entre 51 y 68 por parcela. Las diferencias encontradas en el rendimiento de grano parecen estar, parcialmente, definidas por el porcentaje de mazorcas buenas y dañadas; las buenas variaron entre el 66 y el 80%, mientras que las dañadas variaron entre el 19 y el 33%.

Los rendimientos promedio de los 20 tratamientos, respectivos para los años 2000 y 2001, son de 738 y 679 kg/ha; los tratamientos con mejores producciones apenas superaron a los barbechos naturales en un 20 a 34%. Las diferencias en rendimiento de maíz encontradas en este trabajo no son tan espectaculares como las reportadas en la literatura, las cuales varían entre el 55 hasta 157% más que los tratamientos testigos (Rao *et al.*, 1998; Kwesiga y Coe, 1994; Torquebiau y Kwesiga, 1996; ICRAF, 1996; Alegre *et al.*, 2000).

Cuadro 23. Número y calidad de mazorcas y rendimiento de grano de maíz en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 2000.

TRATAMIENTOS	BUENAS (%)	DAÑADAS (%)	TOTAL (No/parcela)	RENDIMIENTO (kg/ha)
<i>A. gaumeri</i>	53	47	199 a	539 bc
<i>A. glomerosa</i>	63	37	214 a	713 abc
<i>B. divaricata</i>	67	33	228 a	814 abc
<i>B. unguolata</i>	63	37	226 a	745 abc
Barbecho 1	57	43	240 a	793 abc
Barbecho 2	59	41	238 a	768 abc
<i>C. gaumeri</i>	67	33	208 a	740 abc
<i>C. yucatanensis</i>	63	37	228 a	826 abc
<i>G. sepium</i>	74	26	234 a	986 ab
<i>L. leucocephala</i>	51	49	241 a	706 abc
<i>L. rugosus</i>	55	45	216 a	612 abc
<i>L. yucatanensis</i>	42	58	212 a	471 c
<i>M. bahamensis</i>	73	27	251 a	1,047 a
<i>P. albicans</i>	60	40	223 a	721 abc
<i>P. dulce</i>	62	38	215 a	726 abc
<i>P. leucospermum</i>	52	48	206 a	556 bc
<i>P. piscipula</i>	58	42	218 a	746 abc
<i>S. octucifolia</i>	63	37	196 a	659 abc
<i>S. racemosa</i>	59	41	232 a	879 abc
<i>S. sesban</i>	61	39	222 a	707 abc

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).
Mazorcas dañadas por mala polinización y ataque de pájaro.

Por otro lado, es posible que los efectos de mejoramiento del suelo y la productividad del maíz debidos al período de descanso por cuatro años del terreno con árboles no sea todavía observable en estos primeros dos años de cultivo, pues las parcelas han logrado un mejoramiento general. Es sabido que la lenta pudrición de raíces juega un papel

importante en el mejoramiento de la productividad del suelo después del período de barbecho y que en los años sucesivos de siembra se pueden incrementar los rendimientos (Kwesiga, 1993). Sin embargo, advierte Borner (1959, citado por Granados *et al.*, 1989), que ha sido plenamente demostrada la liberación de toxinas por la pudrición de raíces residuales.

7.2.5. Capacidad de rebrote de las arbustivas y arbóreas en maíz.

Se argumenta que la estrategia de los barbechos mejorados está fundamentada en la conservación de especies arbóreas o arbustivas, tanto en el período de descanso de los terrenos como durante la fase de cultivo. Siguiendo esta hipótesis, se evaluó la capacidad de rebrote, su altura media y la producción de biomasa de las especies. También se midió su capacidad de producir leña después de los cuatro años de barbecho.

Número de rebrotes. El mayor ($P < 0.05$) número de rebrotes por planta, después de la tumba y pica, lo presentaron *M. bahamensis*, *P. albicans* y *P. leucospermum*, sus valores respectivos fueron de 28, 27 y 26; por el otro lado, *B. divaricata*, *L. yucatanensis*, *A. glomerosa* y *S. sesban*, presentaron muy baja o ninguna ($P < 0.05$) capacidad para rebrotar, pues sus números respectivos de rebrotes fueron de cero, cero, tres y seis por planta; el resto de las especies, con valores intermedios, se ubicaron entre nueve y 21 rebrotes por planta (Cuadro 25).

Cuadro 24. Número y calidad de mazorcas y rendimiento de grano de maíz en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 2001.

TRATAMIENTOS	BUENAS (%)	DANADAS (%)	TOTAL (No/parcela)	RENDIMIENTO (kg/ha)
<i>A. gaumeri</i>	70.4	29.6	220 a	648.8 ab
<i>A. glomerosa</i>	72.1	27.9	247 a	692.4 ab
<i>B. divaricata</i>	73.8	26.2	237 a	665.0 ab
<i>B. unglata</i>	70.6	29.4	225 a	747.8 ab
Barbecho 1	74.1	25.9	255 a	710.6 ab
Barbecho 2	67.9	32.1	256 a	649.3 ab
<i>C. gaumeri</i>	72.0	28.0	243 a	660.7 ab
<i>C. yucatanensis</i>	71.1	28.9	243 a	741.6 ab
<i>G. sepium</i>	74.9	25.1	244 a	803.5 a
<i>L. leucocephala</i>	69.1	30.9	223 a	712.0 ab
<i>L. rugosos</i>	71.8	28.2	227 a	674.4 ab
<i>L. yucatanensis</i>	68.2	31.8	239 a	599.2 ab
<i>M. bahamensis</i>	74.5	25.5	232 a	732.3 ab
<i>P. albicans</i>	72.2	27.8	206 a	587.0 ab
<i>P. dulce</i>	66.5	33.5	227 a	479.9 b
<i>P. leucospermun</i>	74.2	25.8	214 a	668.7 ab
<i>P. piscipula</i>	72.8	27.2	239 a	722.7 ab
<i>S. octucifolia</i>	67.3	32.7	212 a	517.4 ab
<i>S. racemosa</i>	70.3	29.7	274 a	824.2 a
<i>S. sesban</i>	80.3	19.7	220 a	740.1 ab

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%)

Mazorcas dañadas por mala polinización y ataque de pájaro.

Altura de rebrotes. La altura de los rebrotes fue más alta ($P<0.05$) en *L. leucocephala* y *A. gaumeri* con valores respectivos de 76 y 58 cm; un grupo intermedio y similar ($P>0.05$) entre sí y con *A. gaumeri*, se constituyó por 10 especies que presentaron valores de altura de rebrotes que fueron de 34 a 49 cm; los más bajos ($P<0.05$) fueron *M. bahamensis*, *B. divaricata*, *P. dulce* y *L. yucatanensis* que mostraron alturas de 15, 13, 26 y 22 cm, mientras que *A. glomerosa* y *S. sesban* no rebrotaron (Cuadro 25).

Cuadro 25. Desarrollo de rebrotes y producción de leña de leguminosas en el experimento de evaluación de especies arbóreas y arbustivas como barbecho mejorado para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 2000.

TRATAMIENTOS	REBROTOS (No/planta)	ALTURA (cm)	BIOMASA (gr MS/planta)	LEÑA (Ton/ha)
<i>A. gaumeri</i>	11 bcde	58 ab	69 bcde	56 cdef
<i>A. glomerosa</i>	0 e	0 g	0 g	17 ef
<i>B. divaricata</i>	3 de	13 fg	25 fg	3 f
<i>B. unguolata</i>	21 ab	49 bc	95 ab	28 ef
<i>C. gaumeri</i>	15 abcd	46 bcd	128 a	40 def
<i>C. yucatanensis</i>	18 abc	48 bc	71 bcde	113 ab
<i>G. sepium</i>	9 bcde	34 bcdef	49 cdef	21 ef
<i>L. leucocephala</i>	18 abc	76 a	91 abc	154 a
<i>L. rugosus</i>	11 bcde	41 bcd	80 bcd	18 ef
<i>L. yucatanensis</i>	6 cde	22 defg	35 efg	33 def
<i>M. bahamensis</i>	28 a	15 efg	24 fg	11 f
<i>P. albicans</i>	27 a	49 bc	65 bcdef	27 ef
<i>P. dulce</i>	11 bcde	26 cdef	45 def	19 ef
<i>P. leucospermum</i>	26 a	39 bcd	35 efg	7 f
<i>P. piscipula</i>	10 bcde	35 bcdef	83 bcd	102 abc
<i>S. octucifolia</i>	19 abc	39 bcd	63 bcdef	76 bcde
<i>S. racemosa</i>	12 bcde	38 bcde	46 def	90 bcd
<i>S. sesban</i>	0 e	0 g	0 g	44 def

Valores con la misma letra en columnas no difieren significativamente (Duncan 5%).

Producción de rebrotes. La más alta ($P<0.05$) cantidad de biomasa producida fue para el rebrote de la especie *C. gaumeri*, quien logró 128 gr MS/planta y que a la vez fue estadísticamente similar ($P>0.05$) a las cantidades producidas por *B. unguolata* y *L. Leucocephala*, con 95 y 91 gr MS/planta, respectivamente; las 15 especies restantes no produjeron o sólo llegaron a 83 gr MS/planta (Cuadro 25).

La capacidad de rebrote después del disturbio es considerado como una adaptación de las especies al proceso de RTQ. Illsley (1995) encontró que en Yucatán, de las 33 especies leñosas presentes en los terrenos de milpa, 32 de ellas originaron rebrotes de los tocones. Por su parte, Flores (1989) menciona que *A. gaumeri*, *L. leucocephala*, *M. bahamensis*, *P. piscipula* y *P. dulce*, son especies que se manifiestan desde la primera etapa (un año) y continúan apareciendo en las siguientes (hasta 25 años). Estos datos señalan, que los campesinos de Yucatán podrían haber venido realizando un manejo selectivo de las especies con el fin de retener a las leñosas deseables en la vegetación secundaria o barbecho, coincidiendo desde antes con lo mencionado por Nair (1993), quien afirma que la clave para el manenimiento de la productividad de los terrenos es la retención o inclusión de las leñosas a la fase de barbecho.

Desde el anterior punto de vista, la milpa yucateca es una tecnología agroforestal campesina que implica una pseudo-rotación de mediano o largo plazo entre árboles y cultivo; además, durante el cultivo los tocones de los árboles permanecen dispersos en el terreno. Puede asegurarse entonces, que la milpa es uno de los pocos sistemas agroforestales que mantiene a las especies arbóreas tanto durante el período de descanso del terreno (barbecho) como durante el período de cultivo.

Leña producida en barbecho. Las especies que produjeron la mayor ($P<0.05$) cantidad de leña durante el período de barbecho fueron *L. leucocephala*, *C. yucatanensis* y *P. piscipula* con producciones respectivas de 154, 113 y 102 ton/ha; el resto de las especies produjeron entre tres y 76 ton/ha (Cuadro 25). La mayoría de las especies en evaluación dieron buenos rendimientos de leña en los cuatro años de barbecho. En Zambia, el ICRAF (1996) reporta la producción de 9 ton/ha de leña para el barbecho de dos años con *S. sesban*.

Algunas de las especies en evaluación son muy demandadas por los campesinos de Yucatán por sus propiedades caloríficas. En las comunidades de Yaxcabá y X-uilub, Yucatán, los campesinos prefieren la leña de *C. gaumeri*, *P. piscipula*, *P. albicans*, *M. bahamensis*, *A. gaumeri* y *G. sepium* (Levy y Hernández, 1992; Sánchez, 1993).

7.2.6. Beneficios biofísicos, sociales, ecológicos y económicos.

Los barbechos mejorados con arbustivas y arbóreas son solo una variante, más sistemática, específica y menos diversificada, de los sistemas de producción rotacionales tradicionales que han desarrollado los agricultores de roza, tumba y quema. Los científicos han decidido llamarlos “mejorados” para diferenciarlos de los sistemas donde la vegetación arbustiva en rotación es espontánea. Sin embargo, tenemos suficientes evidencias para reconocer que la regeneración de la vegetación no es tan espontánea como a nosotros nos había parecido (Levy y Hernández, 1992; Sánchez, 1993; Kass *et al.*, 1994; Illsley, 1995) y que los agricultores han desarrollado sistemas de manejo del barbecho específicos que alcanzan grados de perfección o mejoramiento, que rebasan a los ahora propuestos (Szott *et al.*, 1991; Kass *et al.*, 1994; Lasco and Suson, 1994).

Beneficios biofísicos. Los barbechos mejorados han demostrado tener capacidad para recuperar la fertilidad del suelo a través de la mejora de las condiciones físicas (Van Noordwijk *et al.*, 1991; Schroth *et al.*, 1995; Juo *et al.*, 1996; Torquebiau and Kwesiga, 1996; Rao *et al.*, 1998) y químicas del suelo (Prinz, 1986; Onim *et al.*, 1990; Gichuru, 1991; Dreschsel *et al.*, 1991; Torquebiau and Kwesiga, 1996; ICRAF, 1996; ICRAF, 1997a; Barrios *et al.*, 1997; Buresh and Tian, 1998) aunque no todos los barbechos lo logran (Jonsson *et al.*, 1996; Juo *et al.*, 1996; Kang *et al.*, 1997); además, resalta la incapacidad de los barbechos mejorados para suplir los requerimientos de P en los cultivos subsecuentes (Onim *et al.*, 1990; Palm, 1995; Cairns *et al.*, 1998; Buresh and Tian, 1998). Los modestos rendimientos de maíz obtenidos en nuestro ensayo pueden ser un indicativo de que las especies no fueron eficaces en mejorar las condiciones biofísicas del suelo ni de reducir eficientemente la incidencia de malezas en los cuatro años de descanso.

Beneficios sociales. Los barbechos mejorados específicos parecen ser compatibles con la cultura maicera maya yucateca y además, podrían mejorar el uso de la mano de obra familiar. Sin embargo, el aprovechamiento de estos beneficios dependerá, como dicen Kass *et al.* (1994), de que vengan aparejados con beneficios económicos. Las especies que hemos evaluado tienen variados e importantes usos para las familias y algunos comerciantes, pero hasta ahora ninguna de ellas han alcanzado niveles de explotación económica que no sean cubiertos con la simple colecta dentro de la vegetación natural.

Beneficios ecológicos. Se argumenta que los barbechos mejorados con arbóreas pueden ayudar aumentando el equilibrio y la resiliencia de los ecosistemas y mejorando los ciclos biogeoquímicos (Alegre, 2000). Al parecer, la erosión del suelo por escorrentía podría reducirse con el uso de barbechos mejorados de sólo dos años de descanso y tres de cultivo (Opio *et al.*, 1994), ello debido a que las raíces de los árboles penetran más profundo (Rao *et al.*, 1998) y la infiltración de agua al suelo aumenta (Torquebiau y Kwesiga, 1996). Los barbechos han demostrado ser capaces de acumular mantillo en la superficie del suelo y modificar el microclima, favoreciendo el aumento en la actividad de la macrofauna del suelo (Adejuyigbe *et al.*, 1998; Rao *et al.*, 1998).

Beneficios económicos. El cultivo de maíz es de por sí irredituable en Yucatán, pero los milperos nos enseñan que la diversidad de especies y el uso y manejo racional de las mismas, les permiten obtener beneficios múltiples, que algunas veces se traducen en ingresos económicos. Las 18 especies evaluadas tienen usos importantes para las familias pero ninguna es explotada con fines comerciales; sin embargo, las oportunidades parecen estar en las manos de los campesinos. Hay al menos cinco especies muy estimadas como leña y el comercio de estas en el estado es una realidad todavía poco estudiada; entre las sobresalientes, tenemos especies reconocidas como forrajeras de buena productividad, alta calidad y adaptabilidad al ambiente; una cantidad sorprendente de subproductos puede ser obtenida de varias de estas leguminosas arbustivas y arbóreas, entre ellos están los palos para construcción, madera, carbón, postes, curtientes, néctares, remedios caseros y alimento humano. Algunas, las más agroforestales, son usadas como plantas nodrizas y abonos verdes.

8. CONCLUSIONES

De la evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz.

- Durante la fase de establecimiento y desarrollo, los tratamientos con leguminosas en dos años de barbecho presentaron el mejor comportamiento. Entre estos se destacan por su cobertura, altura y biomasa producida, los dos tratamientos que incluyeron a *M. pruriens*, especialmente con la aplicación de P. Por otro lado, las leguminosas se desarrollaron bien en asocio al maíz pero muy poco en el barbecho de un año.
- Las plantas de maíz desarrollaron mejor en monocultivo y con fertilización completa o sin fertilizar. El barbecho mejorado de dos años con *M. pruriens* y aplicación de P, favoreció el desarrollo de las plantas del maíz en comparación a las asociadas con leguminosas, mientras que las plantas de maíz después de un año de barbecho tuvieron el más pobre desarrollo.
- La maleza se redujo considerablemente con los tratamientos de dos años de barbecho de *M. pruriens* con P, un año de *C. ensiformis* sin P y la asociación de *M. pruriens* a maíz sin P. En el primer año, las leguminosas asociadas al maíz crecieron tanto que eliminaron totalmente a las malezas, perjudicando por igual al maíz.
- El rendimiento de grano y la calidad de las mazorcas fueron mejores para el maíz bien fertilizado y el control absoluto en los primeros dos años, posteriormente, el tratamiento de *M. pruriens* con dos años de barbecho y aplicación de P fue el que presentó los mayores rendimientos de grano y calidad de mazorcas.
- Por lo anterior, se puede decir que la productividad del monocultivo de maíz en Yucatán, aún con fertilizante, tiende a la insostenibilidad después del tercer año de siembra consecutiva, y que las leguminosas de cobertera perjudican al maíz en los primeros tres años de consolidación de los sistemas asociados o alternados, pero, que a partir del cuarto año parece haber un beneficio de estas a favor de la producción de grano, especialmente en el sistema de *M. pruriens* con dos años de barbecho y aplicación anual de P.

De la evaluación de arbustivas y arbóreas para la producción de maíz.

- Por su rápido y sostenido crecimiento, por la capacidad de sobrevivencia de sus plantas y el desarrollo de una cobertura amplia y persistente durante los cuatro años de su establecimiento y desarrollo, se presentan como especies promisorias para su uso en barbechos mejorados en el sur de Yucatán, las especies de *Leucaena leucocephala*, *Caesalpina yucatanensis* y *Piscidia piscipula*, seguidas de *Pithecellobium albicans*, *Gliricidia sepium* y *Acacia gaumeri*.
- Las especies arbustivas y arbóreas que ayudaron en la reducción de las malezas durante la fase de barbecho y el primer año de cultivo de maíz, fueron *Leucaena leucocephala*, *Pithecellobium dulce*, *Senna racemosa*, *Acacia gaumeri* y *Pithecellobium albicans*.
- El desarrollo de las plantas de maíz después de los cuatro años de descanso, se vió favorecido por los barbechos de *Caesalpina yucatanensis*, *Leucaena leucocephala*, *Piscidia piscipula*, *Acacia gaumeri*, *Gliricidia sepium*, *Senna racemosa* y *Mimosa bahamensis*.
- La productividad de maíz no mostró aumentos significativos por efecto de las distintas especies en barbecho. Sin embargo, se encontraron aumentos modestos en el rendimiento de grano para los barbechos de *Senna racemosa*, *Leucaena leucocephala*, *Caesalpina yucatanensis*, *Piscidia piscipula*, *Pithecellobium albicans*, *Gliricidia sepium* y *Mimosa bahamensis*.
- *Leucaena leucocephala*, *Caesalpina yucatanensis* y *Piscidia piscipula*, fueron las especies que más leña por área produjeron, aunque la mayoría de las leguminosas presentaron producciones muy aceptables.
- Después de la tumba y pica de los barbechos, las especies que mostraron persistencia y regeneración por rebrotes dentro del cultivo de maíz, fueron *Leucaena leucocephala*, *Acacia gaumeri*, *Mimosa bahamensis*, *Pithecellobium leucospermum*, *Pithecellobium albicans*, *Senna octucifolia*, *Caesalpina yucatanensis* y *Caesalpina gaumeri*.

- Por su establecimiento y desarrollo, su capacidad para reducir la incidencia de malezas, sus beneficios sobre el desarrollo y la productividad del maíz, su producción de leña y su persistencia y capacidad de regeneración, las especies de *Leucaena leucocephala*, *Caesalpina yucatanensis* y *Piscidia piscipula*, seguidas de *Acacia gaumeri*, *Pithecellobium albicans* y *Gliricidia sepium*, son las más recomendables para utilizarse como barbechos mejorados para la producción de maíz en el sur de Yucatán.

9. RECOMENDACIONES

- Los barbechos cultivados con especies de uso múltiple, son una opción tecnológica agroforestal altamente recomendable para el mejoramiento del sistema milpa en el sur de Yucatán y otras regiones tropicales de México.
- Se sugiere a las instituciones de investigación y desarrollo de la región, establecer entre sus prioridades de trabajo a esta importante línea agroforestal, debido a los múltiples beneficios biofísicos y socioeconómicos que puede proporcionar a los productores y sus familias, así como a la sociedad y al ambiente.
- Se recomienda el uso de *M. pruriens* y el de *C. ensiformis* en sistemas de maíz asociado y de barbechos jóvenes mejorados por sus beneficios sobre el control de malezas, el mantenimiento de la humedad del suelo y la estabilización de la producción de maíz.
- De igual modo, resultan altamente recomendables las especies de *Leucaena leucocephala*, *Caesalpinia yucatanensis* y *Piscidia piscipula*, así como *Acacia gaumeri*, *Pithecellobium albicans* y *Gliricidia sepium* para su inclusión en sistemas de barbechos cultivados, debido a sus buenos establecimiento y desarrollo, su alta capacidad para reducir la incidencia de malezas, su persistencia, producción de leña y su capacidad de regeneración, además de sus efectos positivos sobre el desarrollo y la productividad del maíz.
- Se recomienda, que en los futuros trabajos experimentales sobre esta tecnología, se cuiden los detalles propios de la investigación agroforestal. Los problemas de interferencia aérea y radicular entre especies y parcelas daña la calidad de los datos y puede conllevar a interpretaciones erróneas; los trabajos agroforestales deberán incluir siempre, la medición y la evaluación de los aspectos biofísicos, sociales, económicos y ecológicos.
- En los programas de investigación como en los de desarrollo sobre este tema de trabajo, será importante contar con la participación temprana, directa y entusiasta de los campesinos y sus familias. Los modelos de investigación y del desarrollo participativos son una prioridad de la agroforestería; es altamente recomendable que

los campesinos sean incluidos desde el diseño, en el establecimiento, la conducción y la evaluación y difusión de los trabajos sobre barbechos mejorados.

- Se sugiere el despliegue de esfuerzos y recursos institucionales para avanzar en la adopción de la tecnología de barbechos cultivados, por parte de los campesinos y sus familias. Es recomendable que los trabajos dirigidos en esta dirección se enfoquen a distinguir, primero, los factores que promuevan o limiten las posibilidades de adopción; en segundo lugar, se deberán establecer las estrategias y los medios más viables para demostrar y difundir esta tecnología; y tercero, se deberán desarrollar los correspondientes estudios de impacto a corto y mediano plazos.

10. LITERATURA CITADA

- Acosta, E.; Torres H.; Reyes, D. y Rodríguez, J. 1990b. Como sembrar los maíces V-527, V-528 y V-532 en los suelos chac lu'um u k'ankab de la milpa caña en Yucatán. SARH-INIFAP-CIFAPY-CEUX. Muna, Yucatán. Folleto Desplegable No.1.
- Acosta, E; Rodríguez, J.; Reyes y Torres, H. 1990a. Guía para producir maíz y frijol de relevo en suelos chac-lu'um en Yucatán. SARH-INIFAP-CIFAPY-CEUX. Mérida, Yucatán. Folleto para Productores No. 11.
- Adame, G. G. 1985. La maleza de las praderas de Quintana Roo. Folleto Técnico No 1. SARH. INIA. Campo Agrícola Experimental Chetumal. Chetumal, Quintana Roo. 80 pp.
- Adejuyigbe, C .O.; Tian, G. and Adeoye, G. O. 1998. Potentials of woody fallows in restoration of soil microarthropods in a tropical soil. Agroforestry Systems (in press).
- Agricultural Research Center. 1971. Fifth Annual Report. Hacienda Yokat, Yucatán, 1971. 37 p.
- Aguilar, A. y Castillo, R. 1985. "Uxmal" V-527 y "Peninsular "V-528 nuevas variedades de maíz para la península de Yucatán. SARH-INIA-CIAPY-CAEUX. Folleto Técnico No. 2.
- Aguilar, C. G. 2000. V-539 Blanco Uxmal. Nueva variedad de maíz para el sistema milpa en el Sureste de México. SAGAR-INIFAP-CIRSE. Mérida, Yucatán. Folleto Técnico. 16 p.
- Aguilar, C. G. y Villareal, F. E. 1999. Manejo de programa de mejoramiento continuo de la productividad del maíz y diseño de empresas agropecuarias con capacidad para una rentabilidad sostenible, región Yucatán. Informe final de Proyecto. INIFAP-MASECA. Muna, Yucatán. 26 pp.
- Aguilar, C.; Castillo, A.; Rodríguez, S. y Martín, P. 1990a. V-533 variedad supertardía de maíz para el sistema milpa de Yucatán y Quintana Roo. SARH-INIFAP-CIFAPY-CEUX. Muna, Yucatán. Folleto Técnico No. 4. 11 p.
- Aguilar, G.; Castillo, R.; Morales, A.; Sierra, M.; Preciado, E.; Martínez, J.; Gómez, N.; Valdivia, R. y Barrón, S. 1990b. V-532 variedad de maíz para suelos mecanizados de la Península de Yucatán y el estado de Tabasco. SARH-INIFAP-CIRSE-CEUX. Muna, Yucatán. Folleto Técnico No. 5. 10 p.
- Alegre, J. 2000. El desafío de los barbechos mejorados. Editorial. Agroforestería en las Américas. 7(27): 4.
- Alegre, J.; Arévalo, L.; Guzmán, W. Y Rao, M. 2000. Barbechos mejorados para intensificar el uso de la tierra en los trópicos húmedos de Perú. Agroforestería en las Américas. 7(27): 7-12.

- Arias, L. 1980. La producción maicera actual en Yaxcabá, Yucatán. Memorias del Seminario sobre Producción Agrícola en Yucatán. Gobierno del Estado de Yucatán. Secretaría de Programación y Presupuesto. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados de Chapingo. Mérida, Yucatán, del 7 al 10 de mayo de 1980. pp. 259 - 304.
- Ayala, S. A. 2001. Barbechos mejorados en el Sureste de México: La participación de los campesinos maiceros. Red de Gestión de Recursos Naturales. México. En Prensa.
- Bandy, E.D.; Garrity, P.D. and Sánchez, A.P. 1993. The worldwide problem of slash-and-burn agriculture. *Agroforestry Today*. 5(3): 2-6.
- Barrios, E.; Kwesiga, F., Buresh, R.J. and Sprent, J.I. 1997. Light fraction soil organic matter and available nitrogen following trees and maize. *Soil Science Society of America Journal*. 61: 826-831.
- Brady, C.N. .1994. Alternatives to Slash-and-Burn: A global imperative. In: Sanchez, P. and van Houten, H. (eds.). *Alternatives to Slash-and-Burn Agriculture*. 15th International Soil Science Congress. Acapulco, México, 1994. pp. 3-14.
- Buckles, D.; Triomphe, B. and Sain, G. 1998. Cover crops in hillside agriculture. Farmer innovation with mucuna. International Development Centre. International Maize and Wheat Improvement Center. Ottawa, Canada. 218 pp.
- Buresh, R.J. and Tian, G. 1998. Soil improvement by trees in sub-Saharan Africa. *Agroforestry Systems*. 38: 51-76.
- Cairns, M.; van Noordwijk, M.; Mercado, J.; Parwi; Handayanto, E.; Priyono, S.; Hariah, K. and Garrity, P. 1998. Tithonia and other daisy fallow research in S. E. Asia. Manuscript. Paper presented at the DFID-FRP Tithonia research planning meeting at CIAT. Cali, Colombia, 2-4 September, 1998.
- Carvajal, A. J. 1986. Comportamiento agronómico de forrajes introducidos en el Oriente de Yucatán. Memorias del IV día del ganadero del Campo Experimental Pecuario de Tizimín. INIFAP-SARH. 25 p.
- CIAPY. 1984. La milpa. Sistema tradicional para producir maíz asociado con frijol y calabaza en la Península de Yucatán. SARH-INIA-CIAPY. Mérida, Yucatán. Publicación Especial No. 3. 67 p.
- Cuanalo, H. 1980. La quema en el agroecosistema roza-tumba-quema. Memorias del Seminario sobre Producción Agrícola en Yucatán. Gobierno del Estado de Yucatán. Secretaría de Programación y Presupuesto. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados de Chapingo. Mérida, Yucatán, del 7 al 10 de mayo de 1980. pp. 373 - 392.
- Chávez, G. M. 1995. Dzibilchaltún, flora y fauna. Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad. Biocenosis, A. C. Mérida, Yucatán. 110 p.
- Chel, G. L. 1987. *Canavalia ensiformis*. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*. 2(160): 48-55.

- Díaz, P. R. 1993. Control de enfermedades agrícolas. Folleto Técnico. SARH. INIFAP. Mocochoá, Yucatán. 31 pp.
- Drechsel, P.; Glaser, B. And Zech, W. 1991. Effect of four multipurpose tree species on soil amelioration during tree fallow in central Togo. *Agroforestry Systems*. 16: 193-202.
- Drechsel, P.; Steiner, K. G. and Hagedorn, F. 1996. A review on the potential of improved fallows and green manure in Rwanda. *Agroforestry Systems*. 33: 109-136.
- Duch, G.J. 1988. Conformación territorial del estado de Yucatán. Los componentes del medio físico. Universidad Autónoma de Chapingo. Centro Regional de la Península de Yucatán. México, D.F. 427 p.
- Duch, G. J. 1992. Condicionamiento ambiental y modernización de la milpa. En: Zizumbo, V.D.; Rasmussen, H.C.; Arias, R.L. y Terán, C.S. (eds.). La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad. CICY. Mérida, Yuc. pp. 81-96.
- Duke, A. J. 1981. Handbook of legumes of world economic importance. Plenum Press. New York, USA. Pp 39-41.
- Finegan, B. 1992. El potencial de manejo de los bosques húmedos secundarios neotropicales de las tierras bajas. CATIE. Silvicultura y Manejo de Bosques Naturales. No. 5. Turrialba, Costa Rica. 29 p.
- Flores, G. S. 1987. Yucatán, tierra de leguminosas. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*. 2(163):33-37.
- Flores, G. S. 1989. Dominancia de las leguminosas en la vegetación de Yucatán. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*. 4(170): 68-80.
- Flores, G. S. 2001. Leguminosae. Florística, etnobotánica y ecología. *Etnoflora Yucatanense*. Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Medicina veterinaria y Zootecnia. Mérida, Yucatán. 320 p.
- Franzel, S. 1998. Socioeconomic factor affecting the adoption potential of improved fallows in Africa. *Agroforestry Systems*. (in press).
- Gichuru, M.P. 1991. Residual effects of natural bush, *Cajanus cajan* and *Tephrosia candida* on the productivity of an acid soil in southeastern Nigeria. *Plant and Soil*. 134: 31-36.
- González, A. y Reyes, E. 1984. Fertilización y control de maleza en la asociación maíz-ib-calabaza en la Zona Henequenera. SARH-INIA-CAEZOHE. Mérida, Yucatán. Folleto Técnico No. 2.
- González, M. A.; Hernández, L. A.; Santamaría, B. F. y Ramírez, J. G. 1997. Producción de maíz en sistemas múltiples para la Zona Henequenera. Folleto Técnico. SAGAR. INIFAP. Mocochoá, Yucatán. 15 pp.

- Gordillo, S.; Jiménez, J y Caamal, A. 1998. Banco de semillas y composición de arvenses en mipas con manejo tradicional (roza-tumba-quema) e intensivo (labranza con intercalación de leguminosas) en Sahcabá, Yucatán, México. Gestión de recursos naturales. Segunda Época (11): 55 – 63.
- Graca, R. L.; Couto, L. and Betters, R. D. 1993. Agroforestry systems with bracing in Southern Brazil: technical and economic perspectives. In Chultz, C. R. and Colletti, P. J. (eds.). Opportunities for agroforestry in the temperate zone worldwide. Proceedings of the Third North American Agroforestry Conference. August 15-18, 1993. Ames, Iowa, Iowa State University. Pp. 337-341.
- Granados, S. D.; Castañeda, P. A. y Mendoza, A. M. 1989. Ecología vegetal: interacciones ecológicas de las plantas. Apoyos Académicos No. 9. Universidad Autónoma Chapingo. Dirección de Difusión Cultural. Texcoco, México. 85 p.
- Haggar, J.; Ayala, A.; Diaz, B. and Uc, C. 2001. Participatory design of agroforestry systems: developing farmer participatory research methods in Mexico. Development in Practice. 11(4): 417 – 424.
- Haggar, J.; Uribe, G.; Basulto, J. y Ayala, A. 2000. Barbechos mejorados en la Península de Yucatán, México. Agroforestería en las Américas. 7(27): 19-24.
- Hernández, L. B. y Ramírez, C. M. 1988. Guía para producir maíz y frijol ib intercalados al henequén en etapa de cultivo. SARH-INIFAP-CIFAPY-CEZOHE. Mérida, Yucatán. Folleto para Productores No. 15.
- Hernández, C. E. 1981. Prácticas agrícolas. In: Vázquez, L. (Comp.) La milpa entre los mayas de Yucatán. Departamento de Estudios de Cultura Regional. Universidad Autónoma de Yucatán. Números Monográficos 1. pp. 45-73.
- Hernández, X. 1985. Informe de actividades y resultados del Programa Dinámica de la Milpa. Documento de trabajo. Secretaría de Programación y Presupuesto. Mérida, Yucatán, México.
- Hernández, X. 1989. Resumen de las investigaciones del Programa Dinámica de la Milpa en Yucatán. CP. Chapingo, México.
- Hernández, X. y Padilla, R. (eds.). 1980. Seminario sobre producción agrícola en Yucatán. Gobierno del Estado de Yucatán.-SPP-SARH-CP. Mérida, Yucatán.
- Hernández, X.; Arias, L.; Mariaca, R.; Castillo, M.; Levy, S.; Moguel, E.; Hernández, I.; Durán, A.; Llanes, W.; Ventura, M.; Aguilera, M. y Cortina, S. 1989. Informe final del proyecto agricultura tradicional bajo limitantes de producción. Asesores: Castillo, A.; Martínez, T. y Cuanalo, H. CONACyT. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 132 P.
- Herrera, F. G. 1985. Efecto de densidad de población sobre el rendimiento de semilla de *Canavalia ensiformis*. Producción Animal Tropical. 8: 166-169.

- Hughes, E. C. 1998. *Leucaena*. Manual de Recursos Genéticos. Oxford Forestry Institute. Department of Plant Sciences. University of Oxford. Oxford, United Kingdom. 280 pp.
- Huz, M. y Vallado, I. 1992. Hacia una agroecología campesina maya-yucateca. En: Zizumbo, V.D.; Rasmussen, H.C.; Arias, R.L. y Terán, C.S. (eds.). La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad. CICY. Mérida, Yucatán. pp. 305-314.
- ICRAF. 1996. Annual Report for 1995.. International Centre for Research in Agroforestry, Nairobi, Kenya. 340 p.
- ICRAF. 1997a. Annual Report for 1996. International Centre for Research in Agroforestry, Nairobi, Kenya. 288 p.
- ICRAF. 1997b. ICRAF and agroforestry. A vision-and a plan of action. International Centre for Research in Agroforestry, Nairobi, Kenya. 16 p.
- ICRAF. 1997c. Redefining agroforestry – and opening Pandora's box? *Agroforestry Systems*. 9(1): 5.
- Illsley, C. 1984. Vegetación y producción de la milpa bajo roza-tumba-quema en el ejido de Yaxcabá, Yucatán, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo. Escuela de Biología. Morelia, Michoacán, México. 199 p.
- Illsley, C. 1995. Vegetación y milpa en el ejido de Yaxcabá, Yucatán. En: Hernández, E.; Bello, E. y Levy, S. (comp.). La milpa en Yucatán. Un sistema de producción agrícola tradicional. Colegio de Postgraduados. Tomo 1. México, Méx. pp. 129 – 148.
- Jonsson, K.; Stahl, L. and Hagberg, P. 1996. Tree fallows: a comparison between five tropical tree species. *Biology and fertility Soils*. 23: 50-56.
- Juo, A. And Manu, A. 1994. Chemical Dynamics in Slash-and-Burn Agriculture. . In: Sanchez, P. and van Houten, H. (eds.). Alternatives to Slash-and-Burn Agriculture. 15th International Soil Science Congress. Acapulco, México, 1994. Pp. 62-76.
- Juo, A.; Franzluebbers, K.; Dabiri, A. And Ikhile, B. 1995. Changes in soil properties during long-term fallow and continuous cultivation after forest clearing in Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 56: 9-18.
- Juo, A.; Franzluebbers, K.; Dabiri, A. And Ikhile, B. 1996. Soil properties and crop performance on a kaolinitic Alfisol after 15 years of fallow and continuous cultivation. *Plant and Soil*. 180: 209-217.
- Kang, B.T.; Salako, F.K., Akobundu, I.O.; Pleysier, J.L. and Chianu, J.N. 1997. Amelioration of a degraded Oxic Paleustalf by leguminous and natural fallows. *Soil Use and Management*. 13: 130-135.
- Kass, D. y Somarriba, E. 1997. Traditional fallows in Latin America. Manuscript. Paper presented at the IUFRO-ICRAF international symposium on short term improved fallows. Malawi, Africa, 10 – 14 march, 1997.35 p.

- Kass, D.C.L.; Foletti, C.; Szott, L.T.; Landaverde, R. y Nolasco, R. 1994. Sistemas tradicionales de barbecho de las Américas. En: Krishnamurthy, L. y Leos-Rodríguez, J. (eds.). Agroforestería en Desarrollo. Educación, investigación y extensión. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. UACH. Chapingo, México. pp. 110-125.
- Kessler, C. 1985. *Canavalia ensiformis*: introducción a la planta y comportamiento agronómico en Yucatán. Memorias de la primera reunión sobre la producción y utilización del grano de *Canavalia ensiformis* en sistemas pecuarios en Yucatán. Mérida, Yucatán. 45 p.
- Krishnamurthy, L. y Ávila, M. 1999. Agroforestería básica. FAO. PENUMA. Serie Textos Básicos para la Formación Ambiental, No. 3. México, D. F. 340 p.
- Ku, N.R. 1992. La milpa yucateca y sus innovaciones técnicas. En: Zizumbo, V.D.; Rasmussen, H.C.; Arias, R.L. y Terán, C.S. (eds.). La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad. CICY. Mérida, Yucatán. pp. 267-280.
- Kumwenda, J. D. T. ; Waddington, S.R.; Snapp, S. S.; Jones, R. B. and Blackie, M.J. 1996. Soil fertility management research for the maize cropping systems of smallholders in Southern Africa: a review. NRG Paper 96-02. Mexico, D. F. CIMMYT. 42 p.
- Kwesiga, F. 1993. *Sesbania sesban* fallows for mitigating land depletion in Zambia. In Chultz, C. R. and Colletti, P. J. (eds.). Opportunities for agroforestry in the temperate zone worldwide. Proceedings of the Third North American Agroforestry Conference. August 15-18, 1993. Ames, Iowa, Iowa State University. Pp. 221-228.
- Kwesiga, F. and Beniest, J. 1998. *Sesbania* improved fallows for Eastern Zambia: an extension guideline. Nairobi, Kenya, ICRAF. 56 p.
- Kwesiga, F. And Coe, R. 1994. The effect of short rotation *Sesbania sesban* fallows on maize yield. Forest Ecology and management. 64: 199-208.
- Lasco, D.R. and Suson, D.P. 1994. A *Leucaena leucocephala*-Based modified fallow system in the Philippines. In: Schultz, C.R. and Colletti, P.J. (eds.). Opportunities of the Third North American Agroforestry Conference. Iowa State University. Ames, Iowa, August 15-18, 1993. pp. 229-232.
- Levy, S. 1990. Sucesión secundaria en Yucatán. Antecedentes para su manejo. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 173 p.
- Levy, T.S. y Hernández, X.E. 1992. La sucesión secundaria y su manejo en el sistema roza-tumba-quema. En: Zizumbo, V.D.; Rasmussen, H.C.; Arias, R.L. y Terán, C.S. (eds.). La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad. CICY. Mérida, Yuc. pp. 195-202.
- Lulandala, L. L. L. and Hall, B. J. 1991. *Leucaena leucocephala*: potential role in rural development. Working Paper No. 65. International Council for Research in Agroforestry. 78 pp.

- Mariaca, M.R. 1992. El papel de la fertilidad del suelo en el sistema roza tumba-quema. En: Zizumbo, V.D.; Rasmussen, H.C.; Arias, R.L. y Terán, C.S. (eds.). La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad. CICY. Mérida, Yucatán. pp. 215-226.
- McIlroy, R. J. 1984. Introducción al cultivo de los pastos tropicales. LIMUSA. México, D. F. pp 31 y 32.
- Morley, A. S. 1981. La Agricultura. In: Vázquez, L. (comp.) La milpa entre los mayas de Yucatán. Departamento. Estatal de Cultura Regional. Universidad Autónoma de Yucatán. Números Monográficos 1. pp. 29-44.
- Mulongoy, K.; Kunda, K.N. and Chiang, C.N.K. 1993. Effect of alley cropping and fallowing on some soil fertility parameters in southern Nigeria. In: Mulongoy, K. And Merckx, R. (eds.). Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture, pp. 47-56, John Wiley and Sons and Sayce Publishing, Chichester, UK.
- Nair, P.K. 1993. An introduction to agroforestry. Kluwer Academic Publishers ICRAF. Dordrecht, The Netherlands. 499 pp.
- Navarrete, R.; Uribe, G.; Mata, H.; Pérez, O. y Medizabal, F. 1982. Fertilización el maíz de temporal en el sur y oriente de Yucatán. SARH-INIA-CIAPY-CAEUX. Mérida, Yucatán. Folleto Técnico No. 1.
- Neugebauer, B. 1981. Agricultura intensiva y aprovechamientos forestales. En: SARH. Alternativas para el uso del suelo en áreas forestales del trópico húmedo. Estudios del acuerdo sobre planificación y uso de recursos forestales tropicales, México - Alemania. SARH. INIF. Publicación Especial. Tomo 3. pp. 57 - 66.
- Nye, H.P. and Greenland, J.D. 1960. The soil under shifting cultivation. Technical communication No. 51. Commonwealth Bureau of Soils. CAB. Harpenden, UK. 156 p.
- Nziguheba, G.; Palm, C.; Buresh, R. And Smithson, P. 1998. Soil phosphorus fractions and adsorption as affected by organic and inorganic sources. Plant and Soil. 198: 159 - 168.
- Odum, E. P. 1986. Fundamentos de ecología. Nueva Editorial Interamericana. México, D. F. 422 p.
- Onim, J.F.M.; Mathuva, M.; Otieno, K. And Fitzhugh, H.A. 1990. Soil fertility changes and response of maize and beans to green manures of leucaena, sesbania and pigeonpea. Agroforestry Systems. 12: 197-215.
- Opio, C; Apedaile, P.L. and Murphy, J.P. 1994. Effects of *Sesbania sesban* improved fallow on an ox-hoe farming system. In. Schultz, C.R. and Colletti, P.J. (eds.). Opportunities of the Third North American Agroforestry Conference. Iowa State University. Ames, Iowa, August 15-18, 1993. Pp. 89-92.
- Palm, C.A.. 1995. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. Agroforestry Systems. 30: 105-124.

- Pennington, D. T. y Sarukhan, J. 1968. Árboles tropicales de México. INIF. FAO. México, D. F. 413 p.
- Pérez-Toro, A. 1981. La agricultura milpera de los mayas de Yucatán. In: Vázquez, L. (comp.) La milpa entre los mayas de Yucatán. Depto. Est. Cultura Regional. Univ. de Yuc. Números Monográficos 1. pp. 1-28.
- Pool, N. L. 1986. Experimentación en producción milpera bajo roza, tumba y quema en el ejido de Yaxcabá, Yucatán, México. Tesis de licenciatura. Escuela de Biología. UMSNH. Morelia, Mich., Méx.
- Prinz, D. 1986. Increasing the productivity of smallholder farming systems by introduction of planted fallows. *Plant Research and Development*. 24: 31-56.
- Raintree B.J. and Warner K. 1986. Agroforestry pathways for the intensification of shifting cultivation. *Agroforestry Systems* 4:39-54.
- Ramírez, C. J. L. 1993. Control de plagas agrícolas. Folleto Técnico. SARH. INIFAP. Mocochá, Yucatán. 29 pp.
- Ramírez, S. J.; Gutierrez, B. A. y Sosa, R. E. 2001. Mucuna y Canavalia, leguminosas de cobertura en la producción de maíz. SAGARPA. INIFAP. CIR Sureste. Folleto Técnico. Mérida, Yucatán. 38 p.
- Ramos, P. J. 1993. La silvicultura de bosques secundarios tropicales. Mimeógrafo de ponencia presentada en el taller de trabajo Logros y Aportaciones de la Investigación sobre el Sistema Milpa en el Sureste de México: Mejoras, Alternativas y Prioridades para el Futuro. ICRAF. INIFAP. UADY. Uxmal, Yucatán, México, del 29 de noviembre al 3 de diciembre de 1993. 25 pp.
- Rao, R.M.; Nair, P.K.R. and Ong, C.K. 1998. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry Systems*. 38: 3-50.
- Reyes, D. y Aguilar, G. 1992. Intensificación de la milpa en Yucatán. En: Zizumbo, V. D.; Rasmussen, H. C.; Arias, R. L. y Terán, C. S. (eds.). La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad. CICY. Mérida, Yucatán. pp. 347-358.
- Reyes, D. y Sánchez, A. 1990. Uso continuo de los suelos pedregosos para la producción de maíz, ib y calabaza. SARH-INIFAP-CIFAPY-CEUX. Muna, Yucatán. Desplegable para Productores No. 3.
- Rivera, L. R. 1986. Manual con claves de campo para la identificación de las malezas en el municipio de Conkal, Yucatán. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico Agropecuario No 2. Conkal, Yucatán. sp.
- Sánchez, G. M. A. y Agundis, M. O. 1983. Guía para controlar las malas hierbas del maíz en Yucatán. SARH. INIA. CIAPY. CAEUX. Mérida, Yucatán. Folleto para productores No. 3.
- Sánchez, G. M. A. y Agundis, M. O. 1985. Control de la maleza del maíz en el sistema milpa de Yucatán. Folleto Técnico No. 3. SARH. INIA. Campo Agrícola Experimental Uxmal. Mérida, Yucatán. 23 pp.

- Sánchez, G. M. C. 1993. Uso y manejo de la leña en X-uilub, Yucatán. Etnoflora yucatanense. Fascículo 8. Universidad Autónoma de Yucatán. Sostenibilidad Maya. Mérida, Yucatán. 117 p.
- Sánchez, M.A.; Mata, H.; Uribe, A.; Aguilar, A. y Rodríguez, R. 1984 Guía para producir maíz, frijol y calabaza en el sistema roza tumba quema de Yucatán. SARH-INIA-CIAPY-CAEUX. Mérida, Yucatán. Folleto para Productores no. 5.
- Sánchez, P. 1994. Tropical soil fertility research: towards the second paradigm. Transactions of the 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, Mexico. 1: 65-88.
- Sánchez, P. 1995. Science in agroforestry. Agroforestry Systems. 30: 5-55.
- Sarukhan, K. J. 1964. Estudio de la sucesión en un área talada en Tuxtepec, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. D. F., México. 104 p.
- Schroth, G.; Kolbe, D.; Pity, B. And Zech, W. 1995. Searching for criteria for the selection of efficient tree species for fallow improvement, with special reference to carbon and nitrogen. Fertilizer Research. 42: 297-314.
- Soria, F. M. 1983. Guía para producir maíz, frijol y hortalizas mediante un sistema sencillo de riego en la Zona Henequenera. SARH-INIA-CIPAY-CAEZOHE. Mérida, Yucatán. Folleto para Productores No. 4.
- Soria, F. M. 1985. Guía para cultivar maíz asociado con ib y calabaza a la Zona Henequenera. SARH-INIA-CIAPY-CAEZOHE. Folleto para Productores No. 2. Primera Reimpresión.
- Soria, F.M. y Dzib, E.R. 1983. Guía para producir maíz y frijol ib intercalados al henequén en etapa de cultivo. SARH-INIA-CIAPY-CAEZOHE. Mérida, Yucatán. Folleto para Productores No. 5.
- Standley, P. C. 1930. Flora of Yucatan. Field Museum Natural History. Botanical Service. USA. Pp. 439.
- Statistical Analysis System. 1993. User Guide. Statistical methods system. Cary, N.C.
- Szott, L.T.; Palm, C.A. and Sanchez, P.A. 1991. Agroforestry in acid soils of the humid tropics. Advances in Agronomy. 45: 275-301
- Terán, C. S. y Rasmussen, C. 1992. Estrategia agrícola y religión. En: Zizumbo, V.D.; Rasmussen, H.C.; Arias, R. L. y Terán, C.S. (eds.). La modernización de la milpa en Yucatán: utopía o realidad. CICY. Mérida, Yucatán. pp. 257-267.
- Terán, C. S. y Rasmussen, C. 1994. La milpa de los mayas. La agricultura de los mayas prehispánicos y actuales en el norte de Yucatán. DANIDA. Gobierno Estatal de Yucatán. Mérida, Yucatán. 349 p.
- Torquebiau, E. 1993. Conceptos de agroforestería: una introducción. Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible. UACH. Chapingo, México. 92 p.

- Torquebiau, E.F. and Kwesiga, F. 1996. The role of roots in improved fallows systems in Eastern Zambia. *Agroforestry Systems*. 34: 193-211.
- Uribe, V. G. 2001a. El barbecho como una forma de restaurar la tierra para el cultivo. Memoria electrónica del XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo y V Cubano de la Ciencia del Suelo. Varadero, Cuba, del 11 al 16 de noviembre de 2001.
- Uribe, V. G. 2001b. Generación de opciones a la roza, tumba y quema en Yucatán. Impresión del Informe Anual de Actividades, 1996. Proyecto CONACyT. INIFAP. CEUX. Muna, Yucatán. 15 p.
- Van Noordwijk, M. 1989. Rooting depth in cropping systems in the humid tropics in relation to nutrient use efficiency. In: van der Heide, J. (ed.). *Nutrient Management for Food Crop Production in Tropical Farming Systems*, pp. 129-144. Institute for Soil Fertility, Haren, The Netherlands.
- Van Noordwijk, M.; Widiyanto, M.; Heinen, M. And Hairiah, K. 1991. Old tree roots channels in acid soils in the humid tropics: important for crop root penetration, water infiltration and nitrogen management. *Plant and Soil*. 134: 37-44.
- Vázquez, P.L. 1981. La milpa y los milperos del "oriente" de Yucatán. In: Vázquez, L. (comp.) *La milpa entre los mayas de Yucatán*. Depto. Est. Cultura Regional Univ. de Yuc. *Números Monográficos* 1. pp. 74-114.
- Warman, A. 1985. Estrategias de sobrevivencia de los campesinos mayas. Instituto de Investigaciones Sociales. Universidad Nacional Autónoma de México. Cuadernos de Investigación Social 13. 65 p.
- Yanggen, D. y Alegre, J. 2000. Barbechos con kudzu: análisis, adopción e impacto sobre la deforestación en Pucallpa, Perú. *Agroforestería en las Américas*. 7(27): 13-18.
- Young, A. 1989. *Agroforestry for soil conservation*. CAB International. ICRAF. Wallingford, UK. And ICRAF, Nairobi, Kenya.

11. ANEXOS

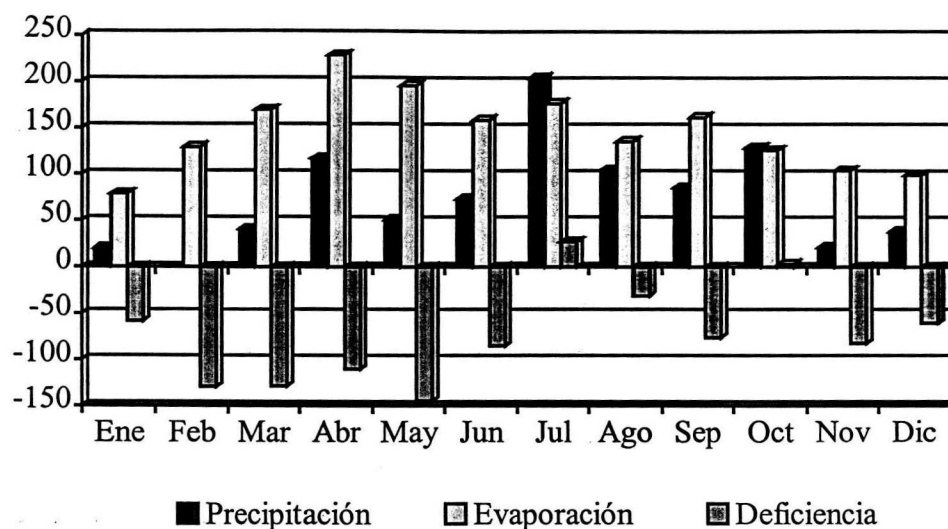


Figura A.1. Precipitación, evaporación y deficiencia hídrica mensuales en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yuc., 1996

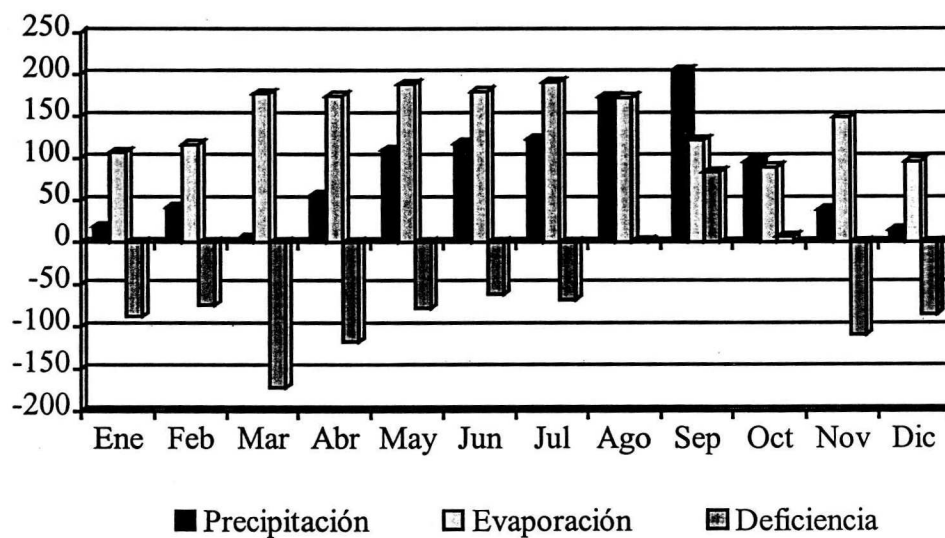


Figura A.2. Precipitación, evaporación y deficiencia hídrica mensuales en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yuc., 1997

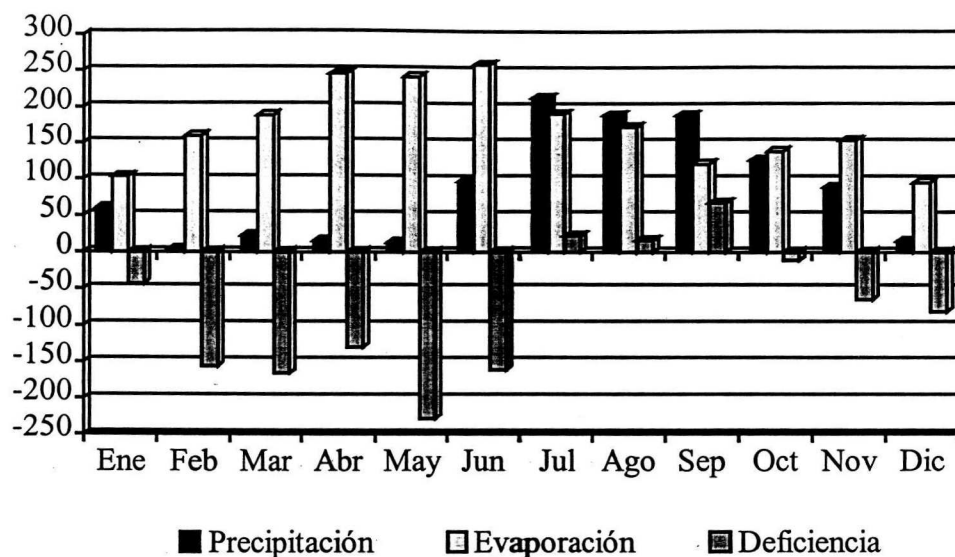


Figura A.3. Precipitación, evaporación y deficiencia hídrica mensuales en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yuc., 1998

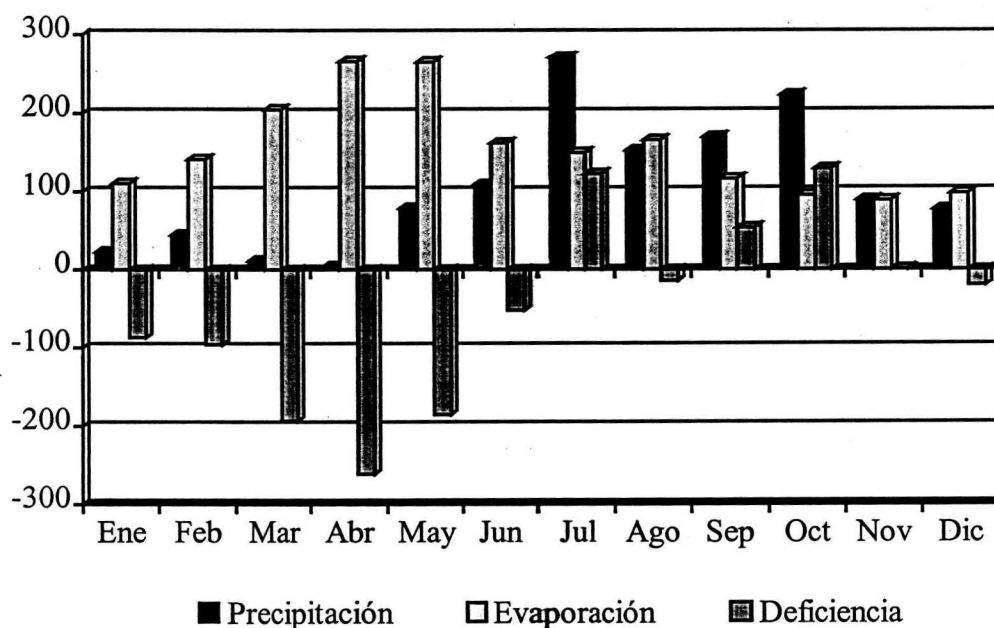


Figura A.4. Precipitación, evaporación y deficiencia hídrica mensuales en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yuc., 1999

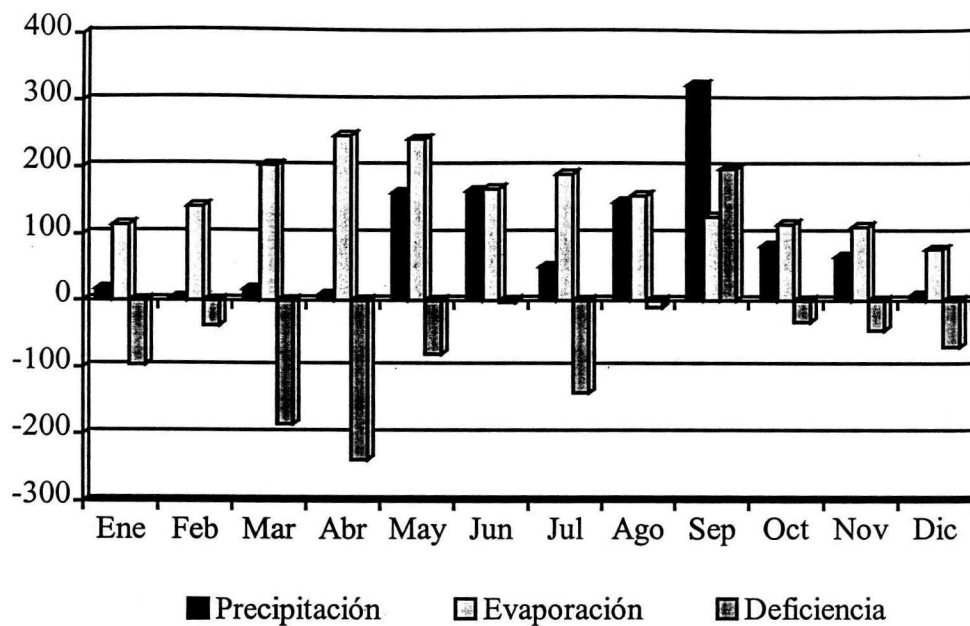


Figura A.5. Precipitación, evaporación y deficiencia hídrica mensuales en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yuc. , 2000

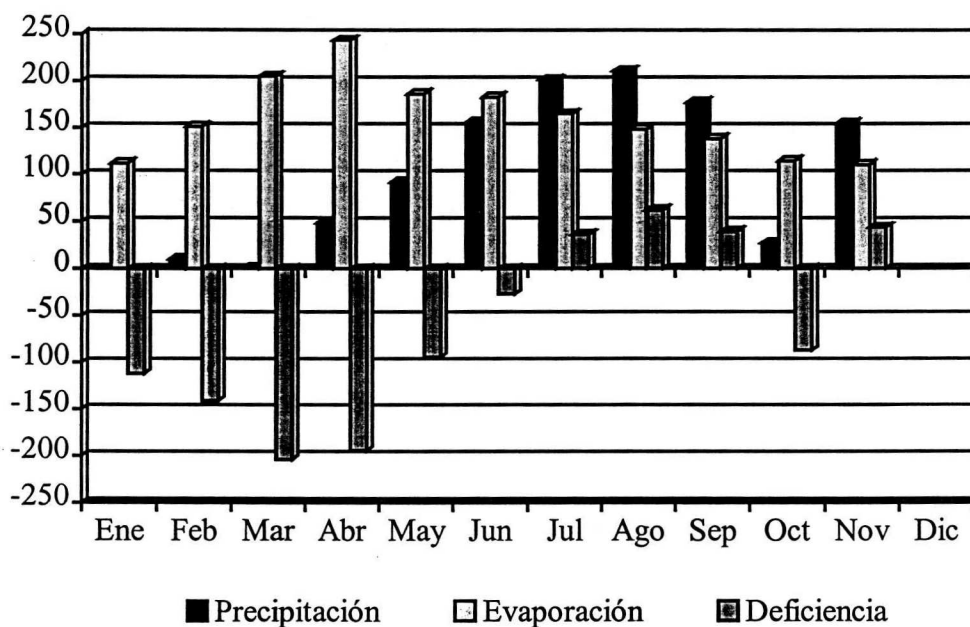


Figura A.6. Precipitación, evaporación y deficiencia hídrica mensuales en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yuc. , 2001

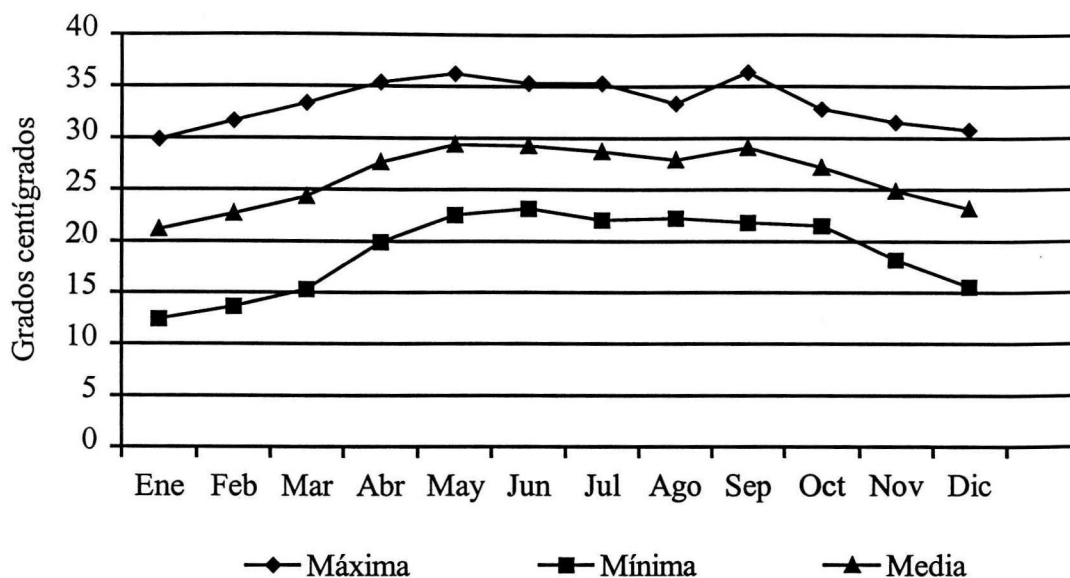


Figura A.7. Temperaturas máxima, mínima y media mensuales promedio en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yucatán, 1996

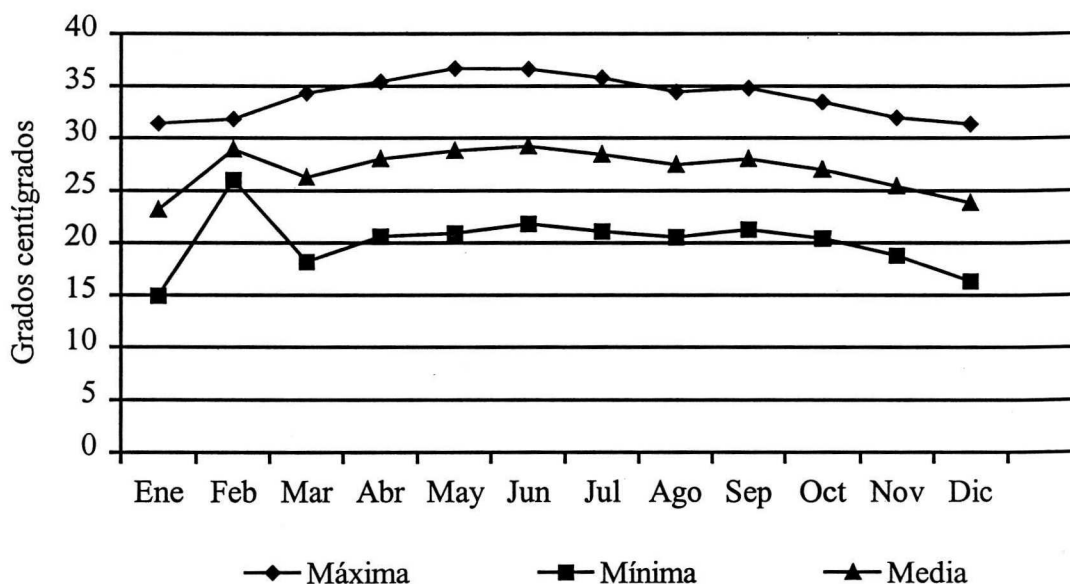


Figura A.8. Temperaturas máxima, mínima y media mensuales promedio en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yucatán, 1997

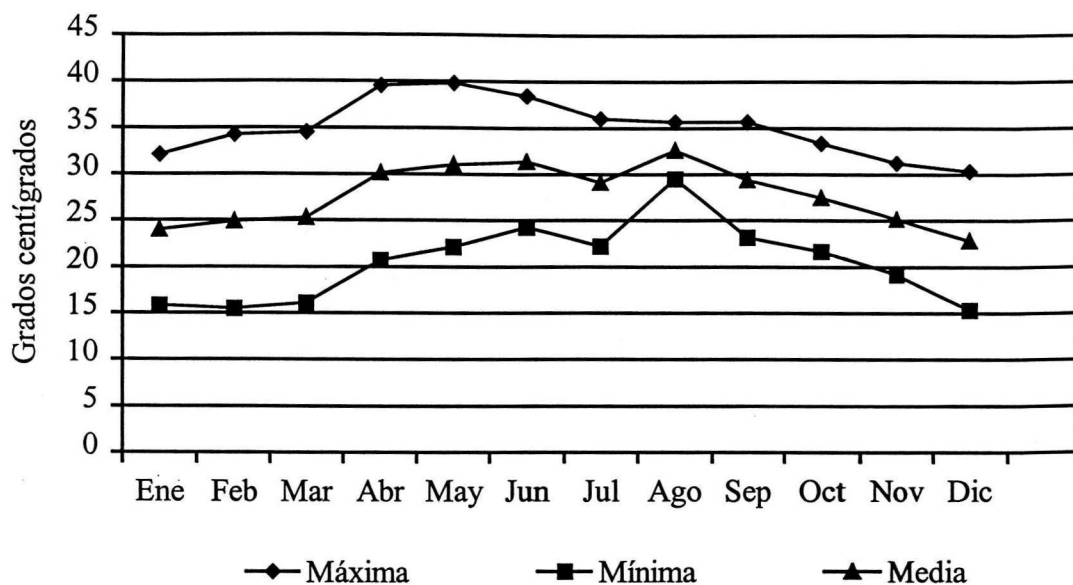


Figura A.9. Temperaturas máxima, mínima y media mensuales promedio en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yucatán, 1998

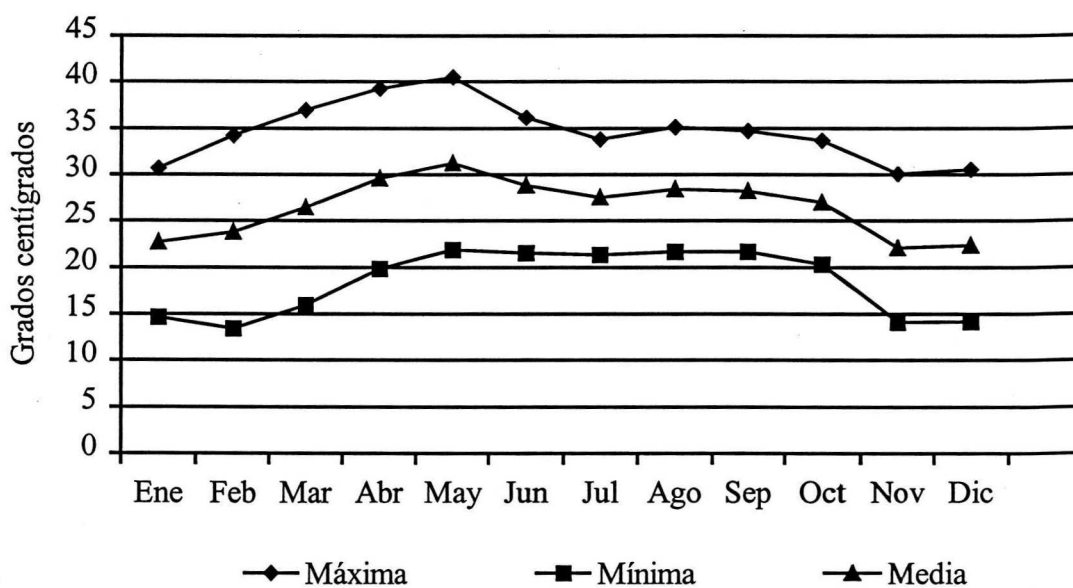


Figura A.10. Temperaturas máxima, mínima y media mensuales promedio en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yucatán, 1999

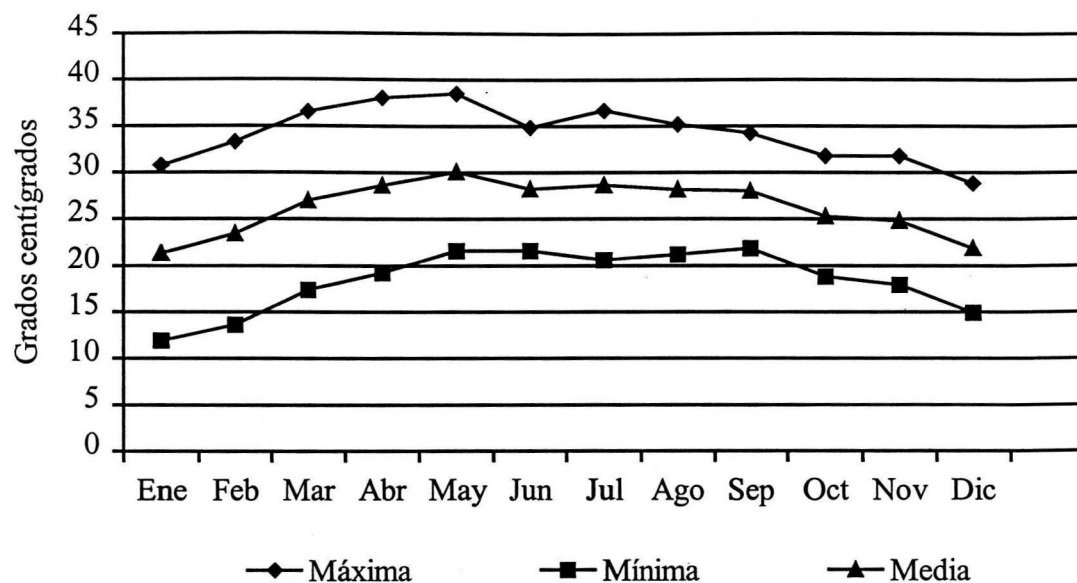


Figura A.11. Temperaturas máxima, mínima y media mensuales promedio en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yucatán, 2000

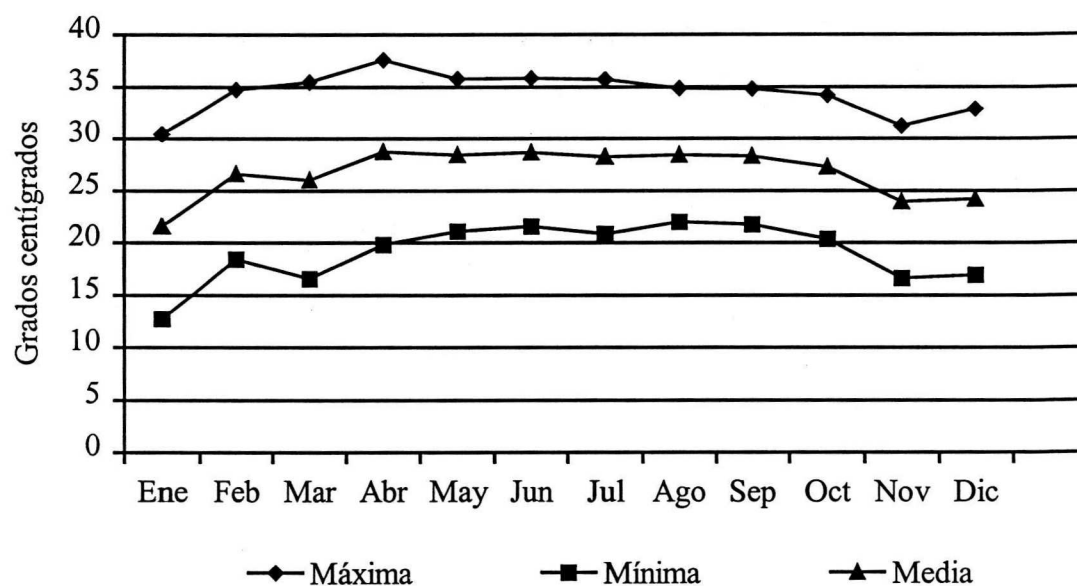


Figura A.12. Temperaturas máxima, mínima y media mensuales promedio en el lote experimental de barbechos cultivados. Muna, Yucatán, 2001

Cuadro A.1. Características de los suelos Cambisol ródico en el estado de Yucatán.

	A1	B1	B21t	B22t	B3
Profundidad (cm)	0-19	19-30	30-57	57-83	83-105
Color	café rojizo.	rojo	rojo	rojo	rojo
Textura:	R	R	R	R	R
Arcilla (%)	56	58	60	62	58
Limo (%)	14	14	16	14	22
Arena (%)	30	28	24	24	20
pH (agua 1:1)	7.5	7.5	7.5	7.4	7.5
MO (%)	6.6	4.4	2.5	1.7	1.4
CIC (meq/100 gr)	31.3	30.0	29.0	29.5	30.8
Sodio (meq/100 gr)	0.4	0.5	0.5	0.7	0.7
K (meq/100 gr)	2.2	1.0	0.5	0.4	0.4
Calcio (meq/100 gr)	27.5	19.1	20.0	20.6	22.2
Magnesio (meq/100 gr)	6.4	4.7	3.0	3.5	3.2
Saturación con bases (%)	100.0	84.3	82.7	85.4	95.8
P (ppm)	3.6	1.6	1.6	-	-

FUENTE: Duch, 1988.

3	2	12	8	13	1	10	7	6	5	14	11	9	4
Maíz C. ens.	Maíz CF (NF)	M. pru. Año2	M. pru. Año1	C. ens. (F) Año2	Maíz SF	M. pru. (F) Año1	C. ens. Año1	Maíz M. pru. (F)	Maíz C. ens. (F)	M. pru. (F) Año2	C. ens. Año2	C. ens. (F) Año1	Maíz M. pru.
56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43

12	3	14	6	5	11	4	7	13	9	10	2	1	8
M. pru. Año2	Maíz C. ens.	M. pru. (F) Año2	Maíz M. pru. (F)	Maíz C. ens. (F)	C. ens. Año2	Maíz M. pru.	C. ens. Año1	C. ens. (F) Año2	C. ens. (F) Año1	M. pru. (F) Año1	Maíz CF (NF)	Maíz SF	M. pru. Año1
29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42

4	10	5	9	12	8	13	14	3	2	7	1	6	11
Maíz M. pru.	M. pru. (F) Año1	Maíz C. ens. (F)	C. ens. (F) Año1	M. pru. Año2	M. pru. Año1	C. ens. (F) Año2	M. pru. (F) Año2	Maíz C. ens.	Maíz CF (NF)	C. ens. Año1	Maíz SF	Maíz M. pru. (F)	C. ens. Año2
28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15

9	13	4	2	6	7	14	11	12	8	3	1	5	10
C. ens. (F) Año1	C. ens. (F) Año2	Maíz M. pru.	Maíz CF (NF)	Maíz M. pru. (F)	C. ens. Año1	M. pru. (F) Año2	C. ens. Año2	M. pru. Año2	M. pru. Año1	Maíz C. ens.	Maíz SF	Maíz C. ens. (F)	M. pru. (F) Año1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

C. ens. = *Canavalia ensiformis*; **M. pru.** = *Mucuna pruriens*; **CF** = Con fertilizante; **SF** = Sin fertilizante; **(F)** = Fósforo; **(NF)** = Nitrógeno y fósforo; **Año1** = Un año de barbecho; **Año2** = Dos años de barbecho; **1 a 56** = Número de parcela; **1 a 14** = Número de tratamiento.

Figura A.13. Distribución aleatoria de tratamientos en las parcelas del experimento sobre la evaluación de leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1998.

1	<i>L. yuc.</i>	14	40	<i>P. dul.</i>	12	41	<i>S. ses.</i>	19	80	<i>G. sep.</i>	18
2	Bar 2	11	39	<i>A. gau.</i>	16	42	Bar. 1	20	79	<i>P. pis.</i>	13
3	<i>C. gau.</i>	15	38	<i>P. alb.</i>	17	43	<i>G. sep.</i>	18	78	<i>P. leu.</i>	8
4	<i>G. sep.</i>	18	37	<i>L. leu.</i>	6	44	<i>M. bah.</i>	2	77	<i>A. glo.</i>	4
5	<i>P. dul.</i>	12	36	<i>S. ses.</i>	19	45	<i>B. div.</i>	5	76	Bar. 2	11
6	<i>B. div.</i>	5	35	<i>G. sep.</i>	18	46	<i>C. gau.</i>	15	75	<i>M. bah.</i>	2
7	<i>M. bah.</i>	2	34	Bar. 1	20	47	<i>L. yuc.</i>	14	74	<i>L. leu.</i>	6
8	<i>P. alb.</i>	17	33	Bar. 2	11	48	<i>L. leu.</i>	6	73	<i>S. oct.</i>	3
9	<i>L. rug.</i>	1	32	<i>C. yuc.</i>	9	49	<i>A. glo.</i>	4	72	<i>B. div.</i>	5
10	<i>C. yuc.</i>	9	31	<i>P. pis.</i>	13	50	<i>B. ung.</i>	7	71	<i>C. yuc.</i>	9
11	<i>L. leu.</i>	6	30	<i>C. gau.</i>	15	51	<i>P. pis.</i>	13	70	<i>P. alb.</i>	17
12	Bar. 1	20	29	<i>M. bah.</i>	2	52	<i>S. rac.</i>	10	69	<i>S. ses.</i>	19
13	<i>S. rac.</i>	10	28	<i>B. div.</i>	5	53	<i>S. oct.</i>	3	68	Bar. 1	20
14	<i>S. ses.</i>	19	27	<i>L. rug.</i>	1	54	<i>C. yuc.</i>	9	67	<i>S. rac.</i>	10
15	<i>A. glo.</i>	4	26	<i>S. rac.</i>	10	55	<i>P. leu.</i>	8	66	<i>C. gau.</i>	15
16	<i>B. ung.</i>	7	25	<i>B. ung.</i>	7	56	<i>A. gau.</i>	16	65	<i>L. rug.</i>	1
17	<i>A. gau.</i>	16	24	<i>P. leu.</i>	8	57	Bar. 2	11	64	<i>B. ung.</i>	7
18	<i>P. pis.</i>	13	23	<i>S. oct.</i>	3	58	<i>L. rug.</i>	1	63	<i>A. gau.</i>	16
19	<i>P. leu.</i>	8	22	<i>A. glo.</i>	4	59	<i>P. alb.</i>	17	62	<i>L. yuc.</i>	14
20	<i>S. oct.</i>	3	21	<i>L. yuc.</i>	14	60	<i>P. dul.</i>	12	61	<i>P. dul.</i>	12

I

II

III

IV

A. gau. = *Acacia gaumeri* Blake; *A. glo.* = *Acacia glomerosa*; Bar.1 = Vegetación natural después de quema; Bar. 2 = Vegetación natural con control de maleza; *B. div.* = *Bauhinia divaricata* (L.); *B. ung.* = *Bauhinia unguiculata* L.; *C. gau.* = *Caesalpinea gaumeri* Greenam; *C. yuc.* = *Caesalpinea yucatanensis* Genm.; *G. sep.* = *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud; *L. leu.* = *Leucaena leucocephala* (Lam) de Wit.; *L. rug.* = *Lonchocarpus rugosus* Benth.; *L. yuc.* = *Lonchocarpus yucatanensis* Pittier; *M. bah.* = *Mimosa bahamensis*; *P. pis.* = *Piscidia piscipula* (L.) Sarg.; *P. alb.* = *Pithecellobium albicans* (Kunth) Benth.; *P. dul.* = *Pithecellobium dulce* Benth.; *P. leu.* = *Pithecellobium leucospermum* Brandeg.; *S. oct.* = *Senna octucifolia*; *S. Rac.* = *Senna racemosa* (Miller) Irwin and Barneby; *S. ses.* = *Sesbania sesban* (L.) Merr.

1 a 80 = Número de parcela; 1 a 20 = Número de tratamiento.

Figura A.14. Distribución aleatoria de tratamientos en las parcelas del experimento sobre la evaluación de arbustivas y arbóreas para la producción de maíz. Muna, Yucatán, 1996.

Cuadro A.2. Comentarios del Sr. Evelio Cortés sobre su experiencia en la conducción del experimento con leguminosas de cobertera para la producción de maíz. Muna, Yucatán, febrero de 2002.

Siembra	El primer año, la asociación maíz/leguminosa requiere de doble proceso de siembra. Después, es necesario hacer brechas entre la biomasa no quemada para la siembra del maíz.
Resiembra	La resiembra del maíz por fallas se debe evitar, pues más del 60% de las plantas no logrará producir una mazorca y el llenado de grano de las que sí será deficiente.
Malezas	Se presentan más malezas en el maíz en monocultivo, mientras que con el uso de las leguminosas y principalmente con <i>M. pruriens</i> , aquellas se reducen.
Fertilización	Esta es necesaria y eficiente, pero se debe fertilizar sólo con nitrógeno dividiendo la dosis en dos o tres aplicaciones.
Podas	Las leguminosas requieren hasta tres podas por ciclo.
Dobla	En las asociaciones, las guías dificultan doblar las cañas del maíz hacia un mismo lado del surco y así hacer más eficiente la cosecha.
Cosecha	En las asociaciones se dificulta pues hay que buscar las mazorcas entre la biomasa
Rendimiento	El maíz bien fertilizado fue el mejor sistema. Los sistemas asociados con leguminosas no producen bien. Los barbechos no funcionaron.
Mano de obra	Se aumenta el uso de jornales en los sistemas con leguminosas debido a la necesidad de hacer brechas para la siembra, controlar roedores, podar las guías y cosechar entre la biomasa de las guías.
Restricciones	El uso de leguminosas no mejoró el rendimiento de maíz; aumentó el uso de mano de obra (siembra, brechas, podas y cosecha) y los cuidados al maíz (animales y pudrición de mazorcas); la agresividad de <i>M. pruriens</i> dañó las plantas del maíz (desarrollo y acame); los efectos benéficos son a largo plazo; <i>M. pruriens</i> descubre el suelo desde el mes de enero.
Ventajas	Las malezas se reducen por las leguminosas y es notorio que el suelo es más suave y además retiene mucho mejor la humedad. <i>C. ensiformis</i> mantiene más tiempo cubierto el suelo y es menos agresiva.
Mejoras	Sembrar las leguminosas un mes y medio después del maíz a distancias de 1.0 x 0.25 m, usando herbicidas durante este período. Otro modo es manejar a <i>M. pruriens</i> como barbecho corto para reducir la incidencia de coquillo y después incorporar la leguminosa como abono verde con la rastra del tractor. <i>C. ensiformis</i> en asociación requiere de resiembra en los años subsecuentes.
Adopción	Los barbechos no son recomendables. Las leguminosas asociadas se pueden recomendar pero falta ajustar algunas practicas como la fecha y la densidad de siembra para reducir la competencia y los problemas causados por <i>M. pruriens</i> . Como está, la tecnología no conviene. Falta mejorar los sistemas de asociaciones y los barbechos; de este modo está a medias y falta conocer otros aspectos para que primero podamos convencernos a nosotros mismos y luego a la gente.

DATOS BIOGRÁFICOS DE LOS MIEMBROS DEL COMITÉ ASESOR

LAKSMI REDDIAR KRISHNAMURTHY. Ph. D. en Ecología por la Universidad de Saurashtra, India.

Fundador y Director del Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México. Ha jugado un papel clave en el diseño curricular, e implementación de un nuevo Programa de Posgrado en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible, dentro del marco del Sistema de Posgrado de la Red de Formación Ambiental del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), en la UACH.

Coordinador general del curso Internacional de entrenamiento sobre Agroforestería para el Ecodesarrollo bajo el auspicio del PNUMA y de la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales (SEMARNAT) y la UACH.

Distinguido como miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) por el CONACyT desde 1985.

Autor de numerosas publicaciones internacionales, destacando la última "Agroforestería Básica", publicada en 1999, dentro de la Serie de Textos básicos para la formación ambiental no. 3 del PNUMA.

JUAN ANTONIO LEOS RODRÍGUEZ. Ph.D. en Economía Agrícola y Recursos Naturales por la Universidad de California, Berkeley, C. A., E.U.A., 1977 – 1980.

Coordinador General de Estudios de Postgrado de la UACH. Miembro fundador del Centro de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible y titular de la cátedra de Economía Ambiental en el programa de maestría en ciencias de Agroforestería para el Desarrollo Sostenible de la UACH.

Ha ocupado cargos importantes en la administración de la UACH, tales como Director del Departamento de Fitotecnia, Subdirector General de Investigación, Subdirector General de Apoyo Académico, Director General de Administración, Secretario Particular de la Rectoría y Director General de Difusión Cultural, entre otros.

Es profesor de tiempo completo en la UACH e imparte los cursos de Macroeconomía, Desarrollo Agrícola, Política Agrícola, Economía Internacional y Macro y Agricultura. En el Colegio de Postgraduados es profesor colaborador del Centro de Economía, impartiendo los cursos de Macroeconomía, Mercados y Desarrollo Agrícola.

MC. JORGE A. BASULTO GRANIEL. MC. en Nutrición Animal por la Universidad Autónoma de Yucatán, México. Ing. Agrónomo en Agricultura Tropical por el Colegio Superior de Agricultura Tropical en Cárdenas, Tabasco, México.

Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Se ha desempeñado en los programas de pasturas tropicales, yuca y agroforestería.

Ha participado como responsable del Proyecto colaborativo México-ICRAF, sobre, mejoramiento de la fertilidad del suelo y la productividad de la milpa para una agricultura sustentable en la Península de Yucatán.

Autor de publicaciones nacionales e internacionales, siendo la última, Respuesta del follaje de yuca a distancias de siembra y niveles de fertilización nitrogenada en un Luvisol de Yucatán, México. Publicado en Resumen y en Extenso en el XV Congreso Latinoamericano y V Cubano de la Ciencia del Suelo, celebrado en Varadero, Cuba del 11 al 16 de Noviembre de 2001.

Actualmente se desarrolla como Jefe del Campo Experimental de Uxmal, en el Centro de Investigación Regional del Sureste del INIFAP.

|

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH.

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
LIBRERÍA Y EDITORIA