

## Orientación a la luz de la plantación de *Agave cupreata* Trel. y Berger, bajo manejo integral, Tzitzio, Mich.

Alejandro Martínez Palacios, Sugey Araceli Chávez Mendoza, Roberto Reyes González, Angélica Aguilar Alberto, Philippe Lobit y Christian Prat

### El policultivo en la agricultura tradicional

En muchos lugares del mundo, especialmente en los países en desarrollo, los agricultores realizan sus siembras en combinaciones (policultivos o cultivos intercalados), más que en cultivos de una sola especie (monocultivos o cultivos aislados).

La enorme variedad de policultivos existentes refleja la gran diversidad de cosechas y prácticas de manejo, que usan los agricultores en todo el mundo para suplir las necesidades de comida, vestido, combustible, medicamentos, materiales de construcción, forraje y dinero. Los sistemas en policultivos pueden ser del tipo agroforestal, en los cuales el cultivo destinado a la cosecha, en general anual, se cultivan entre otras plantas perennes, consiste en cultivos asociados, donde los mismos, en general anuales, se cosechan, o en la asociación del cultivo principal con un cultivo asociado de cobertura, cuya función es únicamente la conservación de las propiedades físicas y de la fertilidad del suelo. Los policultivos se pueden sembrar en forma espaciada, desde la combinación simple de dos cultivos en hileras intercaladas hasta asociaciones complejas de dos o más siembras entremezcladas. Los componentes de un policultivo pueden sembrarse en la misma fecha o en otra diferente (cultivos de relevo); la cosecha de los distintos cultivos puede ser simultánea o a intervalos (Papendick *et al.*, 1976; Kass, 1978; ICRISAT, 1984; Beets, 1982; Gómez y Gómez, 1985; Steiner, 1984; Francis, 1986; citados por Liebman, 1999).

La utilización de policultivos tiene raíces muy antiguas, comenzando con el mismo inicio de la agricultura en poblaciones indígenas, lo cual provee de respuestas a muchos de los problemas que actualmente enfrentan los productores de alimento (Brotans, 2011). Hasta hace 30 años, constituían alrededor del 80% de área cultivada en África Occidental (Steiner, 1984). En Latinoamérica más de un 40% de la yuca, 60% del maíz y 80% del frijol se cultivan en asociación entre sí o con otros cultivos (Leinher, 1983). Los policultivos son muy comunes en áreas de Asia donde los principales cultivos son el sorgo, el mijo, el maíz, el arroz de secano y el trigo de secano (Harwood, 1979; Jodha, 1981). El arroz de inundación generalmente se siembra en forma de monocultivo; sin embargo, en

algunos lugares de Asia sudoccidental, los agricultores construyen camas elevadas para producir cultivos de secano entre las franjas de arroz (Suryatna, 1979; Beets, 1982).

Hasta hace dos décadas, los investigadores agrícolas ignoraban las ventajas asociadas a los policultivos; sin embargo, con base en investigaciones más recientes, los beneficios potenciales de estos sistemas se están haciendo más evidentes (Liebman, 1999). Estos beneficios son de varios tipos: productividad, conservación del suelo, biodiversidad, reducción de la incidencia de plagas y enfermedades, retención de humedad, y en algunos casos, efecto sobre el microclima y fijación de carbono.

**Ventajas en la producción.** Una de las principales razones por la cual los agricultores a nivel mundial adoptan policultivos, es que frecuentemente se puede obtener un mayor rendimiento en la siembra de una determinada área sembrada como policultivo, que de un área equivalente pero sembrada en forma de monocultivo o aislada. Incrementar el aprovechamiento de la tierra es especialmente importante en aquellos lugares del mundo donde los predios son pequeños, debido a las condiciones socioeconómicas y donde la producción de los distintos cultivos está sujeta a la cantidad de tierra que se pueda limpiar, preparar y desmalezar (generalmente en forma manual) en un tiempo limitado.

El mayor aprovechamiento en el uso de la tierra de un policultivo común en India, sorgo con guandul (*Cajanuscajan*, leguminosa), se ilustra mediante los datos obtenidos a partir de los experimentos realizados por Natarajan y Willey (1980). Los investigadores encontraron que 0.94 hectáreas de

monocultivo de sorgo y 0.68 hectáreas de monocultivo de guandul fueron necesarias para producir las mismas cantidades de sorgo y guandul que se cosecharon en un policultivo de 1.0 hectárea (Mead y Willey, 1980). En este caso, el rendimiento de cada especie cultivada en la combinación, se redujo por competencia del cultivo asociado; pero el rendimiento total del policultivo, por unidad de superficie, fue un 62% mayor comparado con el de los monocultivos (Liebman, 1999).

#### **Beneficios sobre las propiedades físicas y la fertilidad del suelo.**

Las propiedades físicas y la fertilidad del suelo han sido estudiadas en particular en casos de cultivos de cobertura. Son cultivos de cobertura las leguminosas, los cereales o las mezclas que se plantan, no para cosechar sino para llenar los vacíos, sean de tiempo o espacio, de suelo desnudo que dejan las siembras comerciales. La mayoría de los cultivos de cobertura crecen durante las estaciones frías en los climas templados, y durante las estaciones secas en los climas tropicales. En las latitudes nórdicas se plantan durante el otoño cultivos como centeno (*Secalecereale* L.), trébol (*Trifolium* spp.), arveja (*Vicia* spp.) o alfalfa (*Medicago sativa*) para brindar una protección invernal. En los climas tropicales, las leguminosas como la *Pueraria*, *Stylosanthes*, *Centrosema* y los pastos como la *Brachiaria*, *Melinis* y *Panicum* se cultivan en la estación lluviosa corta y se dejan en el predio durante toda la estación seca (Lal *et al.*, 1991). Los cultivos de cobertura tienen varios beneficios sobre las condiciones físicas del suelo (Finch y Sharp, 1976; Haynes, 1980): 1. Mejoramiento de la estructura del suelo y de la infiltración del agua, mediante la adición de materia orgánica, y las raíces aumentan además la aireación del suelo y el

porcentaje de agregados estables del agua. La necesidad de labranza y el movimiento de maquinarias disminuyen la compactación del suelo y el pie de arado, además, la cubierta vegetal soporta mejor la maquinaria durante los períodos húmedos. 2. Prevé la erosión del suelo al distribuir y disminuir el movimiento del agua en la superficie, reduciendo el escurrimiento y manteniendo la tierra en su lugar mediante sistemas radiculares. Además, el cultivo de cobertura intercepta las gotas de lluvia, reduciendo su fuerza y evitando la formación de costras en el suelo. 3. Control del polvo al mantener la tierra en su lugar a través de los sistemas radiculares.

En cuanto a fertilidad, los cultivos de cobertura tienen los beneficios siguientes: 1. Aumentan la fertilidad del suelo al incorporar material orgánico de fácil descomposición, activan la biología del suelo, y hacen más aprovechables los nutrientes del suelo mediante la fijación de nitrógeno; y 2. Reducen la competencia entre el cultivo principal y las malezas dañinas.

**Efectos sobre el microclima.** En caso de cultivos de cobertura, éstos sombrean el suelo y reducen la reflexión de los rayos del sol, lo que reduce tanto la temperatura del suelo como del aire. Además, la transpiración del cultivo de cobertura contribuye a aumentar la humedad del aire (Finch y Sharp, 1976; Haynes, 1980).

**Efectos de los policultivos sobre los insectos plagas.** Los campos expuestos y las concentraciones de especies de un solo cultivo abren el camino a una infestación de plagas, ya que proporcionan recursos concentrados y condiciones físicas uniformes que fomentan la invasión de insectos (Root, 1973). La abundancia y eficacia de los depredadores se reduce, debido a que estos medioambientes simplificados no proporcionan fuentes alternativas adecuadas de alimentación, refugio, reproducción y otros factores ambientales (Van den Bosch y Telford, 1964). Las plagas de insectos herbívoros son más propensas a colonizar y a permanecer más tiempo en los cultivos huéspedes que están concentrados, ya que el conjunto de necesidades de



Figura 1. a) Vivero en cabecera de Tzitzio (Junio 2003), almácigos en invernadero (derecha) e individualización en bolsa a cielo abierto (izquierda).

vida de las plagas se satisfacen en estos medioambientes simplificados (Root, 1973). Como resultado, las poblaciones de plagas especializadas alcanzan niveles económicamente indeseados.

Frecuentemente las plagas de insectos son menos abundantes en policultivos que en monocultivos. Andow (1991) revisó 209 publicaciones de estudios agrícolas, hechas sobre 287 especies artrópodos herbívoros, y descubrió que el 52% de las especies de plagas estudiadas eran menos abundantes en los policultivos, el 13% no mostraba diferencias, el 15% era más abundante y el 20% mostraba una respuesta variable. Además, señaló que el 53% de las especies de depredadores y parasitoides, que actúan como enemigos naturales de las plagas de insectos, eran más numerosas en policultivos que en monocultivos; el 9% de los enemigos naturales eran menos habituales, el 13% no mostraba diferencia y el 26% señalaba una respuesta variable en policultivos. Dos hipótesis explican la reducción de plagas en los policultivos (Root, 1973; Altieri *et al.*, 1978; Bach, 1980; Risch, 1983; Altieri y Liebman, 1986 y 1988); la primera, la hipótesis de *los enemigos naturales*, predice una mayor mortalidad de plagas de insectos generalistas y especialistas en los policultivos, debido a que existen más parásitos y depredadores de insectos. El incremento de estos enemigos naturales se debe a las mejores condiciones de sobrevivencia en los policultivos. Comparados con los monocultivos, los policultivos pueden proporcionar más fuentes de néctar y polen (que pueden atraer a enemigos naturales y aumentar su potencial reproductivo), incrementar la cubierta del suelo (que favorece a ciertos depredadores como los escarabajos carábidos); y por último, aumentar la diversidad de los insectos herbívoros (que pueden servir como fuente de alimento alternativo para los enemigos naturales, disminuyendo la posibilidad de que los insectos benéficos dejen los campos cuando las especies principales de plagas sean escasas).

La segunda hipótesis, es la de la *concentración de recursos*, que predice que las plagas especializadas de insectos serán menos abundantes en los policultivos cuando las combinaciones se componen de cultivos huéspedes y no huéspedes. Las plagas especialistas tendrán mayor dificultad temporal para ubicarse, permanecer y reproducirse en sus huéspedes predilectos cuando estas siembras estén más dispersas en el espacio y además se encuentren enmascaradas, debido a estímulos visuales y químicos, emanados de los cultivos asociados no huéspedes que producen confusión (Liebman, 1999). Por lo tanto, el uso de los sistemas de producción en policultivos puede aumentar la importancia de parasitoides y depredadores, como controles naturales de las poblaciones de plagas de insectos (Root, 1973).

**Efectos de los policultivos sobre los agentes patógenos de las plantas.** Aún se ha investigado poco acerca de la ecología y el manejo de los agentes patógenos de las plantas en los policultivos (Sumner *et al.*, 1981). En algunos casos, la incidencia de las enfermedades demostró ser mayor en cultivos que se siembran en policultivos que en monocultivos; en otros casos ocurrió lo contrario. En muchas ocasiones es importante la especie con la que se asocie el policultivo (Liebman, 1999), por ejemplo, Moreno (1975) descubrió que al comparar un monocultivo de yuca, la gravedad de la necrosis de la yuca era mayor cuando ésta se cultivaba con maíz, pero menor al cultivarla con frijoles o camotes. Moreno (1979) también

encontró que la gravedad de la alternariosis angular en los frijoles era mayor cuando se asociaban con el maíz, pero menor con la yuca o el camote en comparación con un monocultivo de frijoles.

## El policultivo como parte de una transición hacia una agricultura sustentable

**Los problemas de la agricultura moderna.** La agricultura moderna se ha vuelto sumamente compleja y dependiente del manejo intensivo y de la disponibilidad ininterrumpida de insumos agrícolas; tales como fertilizantes, pesticidas y energía. Los dramáticos aumentos en la productividad de los cultivos en la agricultura moderna, han sido acompañados en muchos casos por degradación ambiental (erosión del suelo, contaminación por plaguicidas y salinización), problemas sociales (eliminación del predio familiar; concentración de la tierra, recursos y producción; crecimiento de la agroindustria y su dominio sobre la producción agrícola; cambio en los patrones de migración rural/urbana), y uso excesivo de los recursos naturales. Recientemente la agricultura se ha visto sometida, en forma creciente, a las restricciones de los precios inflacionarios del petróleo (Liebman, 1999). Todos estos problemas se amplifican cuando la tecnología implementada en países desarrollados, se transfiere a países en desarrollo que no presentan las condiciones socioeconómicas para aplicarla de manera óptima. Por ejemplo, los aspectos del control de plagas y del manejo de la fertilidad del suelo en los sistemas de policultivos requieren de mucha más atención en países en desarrollo, donde se ve limitado el acceso a fertilizantes y plaguicidas sintéticos, debido a las condiciones socioeconómicas (Liebman, 1999).

La *agricultura sustentable* de Liebman (1999) enfatiza la necesidad del progreso hacia una agricultura auto suficiente, económicamente viable, energéticamente eficiente, conservadora de los recursos y socialmente aceptable. Los modelos agrícolas sustentables tendrán que combinar elementos del conocimiento científico tradicional y moderno (Liebman, 1999). La comprensión de los sistemas agrícolas tradicionales puede revelar importantes claves ecológicas, para el desarrollo de la producción alternativa y los sistemas de manejo en los países industriales y en desarrollo. En Europa, Boller (1992) considera que el establecer en forma temporal o permanente el cultivo de cobertura, sería clave en el manejo de la transformación de viñedos de monocultivo en agroecosistemas de una creciente diversidad y estabilidad ecológica. El cultivo de cobertura actúa como un sistema ecológico, el cual activa los procesos y componentes claves del agroecosistema del viñedo, tales como el complejo de fauna benéfica, biología del suelo y ciclo del nitrógeno.

La prevalencia de los policultivos en países en desarrollo sugiere que muchos agricultores están conscientes de los beneficios de estos sistemas. El hecho de aumentar la diversidad de la vegetación mediante el uso de los policultivos, no es la panacea para resolver los problemas de producción y protección de cultivos, pero puede

ofrecer a los agricultores opciones potencialmente útiles para aminorar el riesgo económico, disminuir la dependencia de insumos externos, reducir al mínimo la exposición a los productos agroquímicos y proteger la base necesaria de los recursos naturales para la sustentación agrícola. El papel de los policultivos en la agricultura de los países desarrollados se expandirá probablemente en medida que aumente la percepción de los costos económicos y ambientales de la gran dependencia en los productos agroquímicos (Horwith, 1985). Para esto, se necesitan variedades de cultivos y prácticas de manejo que mejoren los beneficios de los sistemas existentes (Liebman, 1999).

**Orientaciones futuras.** La tarea para el futuro es poder entender mejor la dinámica y complejidad de los policultivos, para que este sistema pueda refinarse, transferirse y adaptarse, de manera que se obtengan beneficios predecibles (Liebman, 1999). Vandermeer (1989) ha indicado muchas áreas donde la aplicación de la teoría ecológica bien puede ayudar al diseño y manejo de los sistemas de policultivos.

En especies no domesticadas, el uso de especies asociadas al hábitat donde se desarrolla puede jugar un papel importante en el manejo integral, o el uso de especies con potencial de uso, particularmente con características o presencia de sustancias aromáticas, puede ser una alternativa de manejo de policultivo, que podría permitir la protección de los cultivos, entre las cuales se podría mencionar a los Tagetes sp como el Zempaxuchitl, o las labiadas (*Lavanda* sp). En uno de los capítulos integrados en este trabajo, "Madrigal y Zavala: Vegetación y flora de las plantaciones de magueyes mezcaleros en Etúcuaro y Tzitzio, Michoacán", se abocó a determinar las especies acompañantes en las plantaciones de agaves mezcaleros, que pueden tener potencial de uso para resolver los problemas que se presentan en el monocultivo del agave, entre los cuales se pueden mencionar: la erosión del suelo, la contaminación por pesticidas, la presencia de plagas y enfermedades, la elevación de la temperatura y pérdida de humedad del suelo.

Un caso especialmente interesante de policultivo es el de agroforestería, en el que los árboles se combinan espacial y/o temporalmente con animales y/o cultivos agrícolas. Este sistema combina elementos de agricultura con elementos de forestería, en sistemas de producción sustentables en la misma unidad de tierra (Farrell y Altieri, 1999). Es un sistema antiguo de uso de la tierra y ampliamente practicado, que se adapta particularmente a las zonas marginales y a los sistemas de bajos insumos. El objetivo de la mayoría de los sistemas agroforestales es el de optimizar los efectos benéficos de las interacciones de los componentes boscosos con el componente animal o cultivo para optimizar el patrón productivo (Nair, 1982).

## Potencial del policultivo en el agave mezcalero

El *Agave cupreata* se distribuye en la depresión del Balsas, en los estados de Guerrero y Michoacán, entre los 1220 y 1890 metros de altitud, predominantemente en bosque de pino-encino, aunque también se le ha observado ocasionalmente entre la selva baja caducifolia que colinda con el bosque (Gentry, 1982;

Martínez-Palacios *et al.*, 2011). Debido a la creciente demanda de plantas para la elaboración de mezcal, los productores, después de casi agotar el recurso silvestre, han comenzado a instalar plantaciones de tipo comercial en un modelo calcado sobre el sistema de monocultivo del *Agave tequilana* Weber. Estas plantaciones están desplazando la vegetación nativa, lo que a corto plazo tendrá consecuencias sobre el medio ambiente.

El ambiente de *A. cupreata* es más escabroso que el del *Agave tequilana*, por lo que la erosión pluvial empobrecerá los suelos y en el peor de los casos, causará derrumbes y desgajamiento de laderas. En estas condiciones, un policultivo de tipo agroforestal sería deseable para conservar el suelo y mantener su fertilidad a través de la incorporación de materia orgánica, como para conservar la diversidad biológica que proporciona cierta protección a plagas y enfermedades. Los árboles, además de todos los beneficios ambientales que se han mencionado anteriormente, pueden ser fuente de combustible sustentable para el proceso del destilado artesanal del mezcal (Scheinvar, 2008; Prat y Martínez-Palacios, 2012). En los casos donde ya está establecido el monocultivo, el implementar la agroforestería a través de la introducción de encinos con pinos nativos intercalados con las plantas de agave y herbáceas, es planteado en un trabajo previo (Prat y Martínez-Palacios, 2012). En plantaciones nuevas, el bosque se puede manejar estableciendo clareos para el establecimiento de plantaciones con densidades considerables (mayor a 1500 plantas por hectárea).

En este trabajo, se evaluó el desarrollo de una plantación de *Agave cupreata* en la comunidad El Durazno, municipio de Tzitzio, Michoacán (Fig. 1b). Esta plantación fue establecida en una zona de bosque de pino-encino parcialmente deforestado, y se le dio un manejo integral, conservación de la vegetación asociada, ausencia de fertilización y la no aplicación de pesticidas, bactericidas ni fungicidas. El propósito del presente trabajo fue evaluar el desarrollo de la plantación hasta el inicio de la fase de floración. En particular, se caracterizó el efecto de la exposición a la radiación solar sobre el crecimiento de las plantas.



Fig. 1. b) Cartel comunitario del programa Municipal.

## Materiales y métodos

La plantación estudiada fue establecida en julio de 2004 en El Durazno, (coordenadas: 19° 25' 52.92" N, 100°, 59', 19.66" O), en un predio que dos años atrás fue una selva baja caducifolia y tenía un uso de pastoreo (Fig. 2).

Las plantas fueron generadas de semillas colectadas de plantas silvestres de los alrededores. Se estableció un vivero rústico y se sembraron las semillas en camas (almácigos) en febrero del 2003. Después de tres meses, las plantas se individualizaron con un trasplante a bolsa, donde se desarrollaron por 13 meses hasta el inicio del periodo de lluvia (Julio 2004), cuando fueron trasplantadas a campo. Una vez establecidas en campo, el único manejo que se le aplicó a la plantación fue la eliminación de la maleza usando herramienta manual una vez al año (fines de agosto o principios de septiembre) durante la temporada de lluvia.

El predio donde se ubica la plantación está en una ladera con orientación general hacia el sur, entre 1785 y 1875 metros de altitud, con una pendiente promedio de 35%; sin embargo, la plantación se ubica en una loma entre dos arroyos temporales, por lo que sus diferentes partes tienen distintas exposiciones: una parte está expuesta hacia el Este, otra hacia el Sur. Dentro de esta zona expuesta al Sur, fue conservado parte de la selva baja caducifolia para plantar los agaves en condiciones de sotobosque, bajo dosel. Se siguió el desarrollo de las plantas en cada una de estas condiciones, a las que se refiere en el resto del texto como: Este (E), Sur (S) y bajo el dosel (D). Cabe mencionar que estas diferencias de orientación corresponden también a diferencias de calidad de suelo: la parcela Este, estando en la parte más baja de la loma, tiene un suelo menos profundo y más pobre en materia orgánica, más compactado por la mayor incidencia de ganado vacuno, mientras que la parcela bajo dosel, se beneficia de la materia orgánica de la hojarasca y la sombra que generan las ramas de los árboles.



Fig. 1. c) Plantación de dos años en El Durazno, municipio de Tzitzio.



El crecimiento y estadio de desarrollo de las plantas se siguió, utilizando cuatro mediciones; el tamaño de la planta se caracterizó por su altura (distancia entre la punta del cogollo y el suelo) y su diámetro (distancia entre las puntas de las hojas más expandidas en el suelo. También se midieron las dimensiones de la hoja más grande de la planta; que no es necesariamente la más vieja, es la hoja más joven pero bien separada del cogollo, es decir, el largo y ancho. Estas mediciones tienen un sentido ligeramente diferente; mientras que altura y dimensiones de las hojas traducen directamente el vigor de la planta, el diámetro depende de su porte. En condiciones de sombra, las hojas tienden a expandirse en el suelo, mientras que en condiciones de luz mantienen un porte más erecto. A partir de las mediciones de altura y diámetro, se calculó el volumen del cono en que se inscribe la planta:  $V = (\pi \cdot d^2 \cdot h) / 12$ ; donde  $\pi = 3.1416$ ;  $d$  = diámetro;  $h$  = altura.

Las evaluaciones de diámetro y altura se iniciaron cuando las plantas tenían tres años en campo y se terminaron de evaluar después de seis años de edad (Fig. 2). Los datos se evaluaron usando una muestra de, en promedio, 70 plantas para cada sitio; no se le dio seguimiento a cada planta, sin embargo, se les procuraba dar seguimiento a las mismas plantas y al mismo número de estas por sitio.

Para cada medida variable, el análisis estadístico de los datos de crecimiento se hizo mediante una Anova simple para cada fecha, tomando como factor la orientación. En caso de encontrar diferencias entre tratamientos en alguna fecha, las medias se diferenciaron a partir de un análisis de Tukey.



Fig. 1. d y e) Plantación de cinco años sol y bajo el dosel.

## Resultados

**Crecimiento y desarrollo.** La densidad de plantas por hectárea fue muy variable ya que no existe una regla de plantación, en El Durazno se estimó una plantación cada 1.5 metros, con hileras de nivel de 1.80 metros, lo que resulta en un estimado de 3 mil 630 plantas/ha, de las cuales se estimó una pérdida del 20% a lo largo de los siete años de la plantación (Fig. 1c). No se aplicaron agroquímicos en toda la vida de la plantación; el control de malezas se solucionó con "chaponeos" de la hierba al nivel de la altura de la planta del agave. En algunos casos en la edad de siete años, incluso llegó a cubrir las plantas más pequeñas en noviembre (Fig. 1f y 1g).



Fig. 1. f y g) Plantación en octubre-noviembre, seis años de desarrollo de plantación con presencia de *Tagetes sp. silvestre*; Plantación de ocho años, Julio 2012, 20% en estado reproductivo, observar los quiotes.

El crecimiento fue bastante variable, y en julio del octavo año la plantación se presentaba con las plantas de diversos tamaños (Fig. 1f y 1g). Al final del periodo estudiado, las plantas medían en promedio 98 cm. de altura y 167 cm. de

diámetro respectivamente, con una desviación estándar de 24 cm. y 38 cm. (o sea, 24% y 23%) respectivamente. A partir del sexto año inició la floración, registrando menos del 1%, el séptimo año el 6-10%, y el octavo año se estimó en 20-30% en estado de reproducción (Fig. 1g).

**Respuesta a la exposición al sol y cultivo bajo dosel.** Al estudiar las plantas sometidas a diferentes condiciones de insolación y cobertura vegetal, se observaron diferencias importantes tanto en la morfología de las plantas como en su dinámica de crecimiento.

El crecimiento fue similar en las plantas expuestas al Sur y bajo dosel, y ambos alcanzaron un volumen final de alrededor de 899 L (litros) y 853 L, respectivamente. Las plantas expuestas al Este, tuvieron un crecimiento menor, con un volumen final de 717 L (significativamente inferior a los dos otros tratamientos.  $P = 0.01$ ). El análisis de la curva de crecimiento (Fig. 2) muestra que la dinámica de crecimiento fue diferente entre los diferentes tratamientos. En las dos primeras fechas de observación, es decir, hasta los tres años de plantación, no hubo diferencias de crecimiento entre parcelas. Al final de la temporada de secas del 2008, las plantas crecidas bajo dosel tenían un tamaño significativamente mayor a las demás ( $p < 0.05$ ). En las mediciones siguientes, hasta el final de las

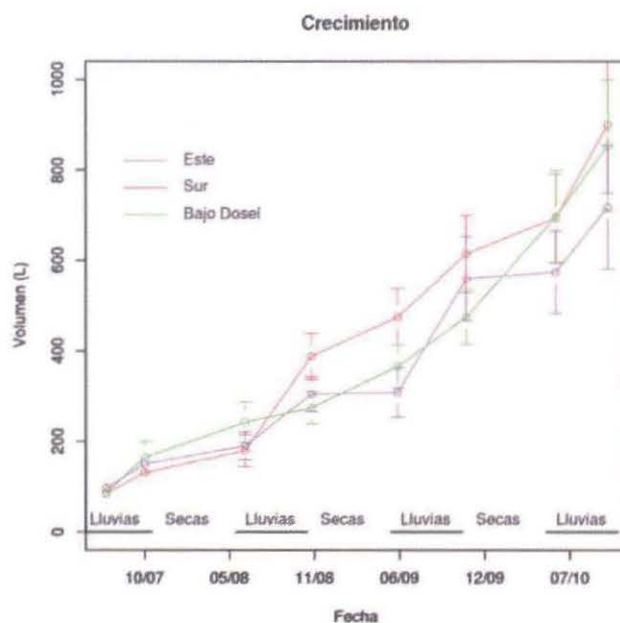


Figura 2. Crecimiento en volumen de plantaciones de tres a seis años de *A. cupreata* bajo manejo integral en función de su exposición: orientadas al Este, Sur y bajo el dosel. Las barras verticales indican intervalos de confianza a 5%. Las barras horizontales marcan los tiempos de temporada de lluvias (del 15 de mayo al 30 de octubre) y de secas.

lluvias del 2009, las plantas expuestas al Sur tuvieron mayor volumen que las de los otros tratamientos, que no se distinguieron entre sí. En las últimas dos mediciones (en 2010), ya no hubo diferencias entre Sur y bajo dosel, sin embargo, las plantas expuestas al Este fueron significativamente más pequeñas ( $p < 0.05$ ).

Mientras que las plantas bajo dosel presentan un crecimiento continuo, las expuestas al sol presentan un crecimiento más lento durante las temporadas de secas. Esta reducción del crecimiento es particularmente marcada en las plantas expuestas al Este, con incluso un crecimiento nulo en las temporadas 2008-2009 y 2009-2010. La figura 3, presenta la evolución de la tasa relativa de crecimiento por temporada. Hasta la temporada de lluvias 2006-2007, las plantas de todos los tratamientos presentan una tasa de crecimiento similar. En las temporadas siguientes, los tratamientos expuestos al sol presentan una alternancia entre temporadas de lluvias y secas, con una tasa relativa de crecimiento de 2 a 4 veces mayor durante las lluvias que en las secas. En las tres temporadas de secas estudiadas, es en el tratamiento expuesto al Este que la reducción de crecimiento es mayor, llegando a registrarse un crecimiento nulo en 2007 a 2009. En contraste, las plantas bajo dosel presentan un crecimiento más uniforme, con poca variación de la tasa relativa de crecimiento entre temporadas, incluso, con una reducción en la temporada de lluvias 2007.

Un indicador de la morfología de *Agave cupreata* es la relación diámetro/altura. Las plantas suelen cambiar de aspecto en condiciones de sombreo; con las hojas que se extienden sobre la superficie del suelo adquieren una

forma abombada y un color verde intenso. Al contrario, cuando las plantas son expuestas al sol y/o al estrés hídrico, las hojas se enderezan. Por lo tanto, la relación diámetro/altura puede ser considerada como un indicador de la respuesta al estrés; cuanto menor sea esta relación, más estresadas se encuentran las plantas. Como se esperaba, las plantas que crecieron bajo dosel, tuvieron una relación diámetro/altura aproximadamente 10% superior a las que crecieron expuestas a la radiación (Fig. 3). Hubo una diferencia entre las plantas expuestas al Sur y al Este, con una relación menor en estas últimas, lo que sugiere que sufrieron un estrés mayor que las expuestas al Sur.

**Discusión.** La plantación estudiada de *Agave cupreata* en cultivo bajo manejo integral, se desempeñó de manera muy satisfactoria comparada con otras parcelas. La floración empezó a los siete años, lo que es bastante temprano para esta especie, y el tamaño de las plantas a la floración se encontró en el rango superior de lo observado para la especie. La muerte por plagas y enfermedades, del orden del 20% a los siete años fue aceptable.

Mucho del buen desempeño de esta plantación se debe a condiciones ambientales muy favorables. Después de cinco años de haber desmontado el bosque preexistente, se mantenían las características favorables del suelo, con un contenido suficiente de materia orgánica, una buena estructura y una fertilidad suficiente, sin embargo, la reducción del crecimiento en la zona Este, la más expuesta a la erosión, sugiere que estas características se podrían estar perdiendo después de varios años de cultivo. El hecho que las plantas bajo dosel fueron menos afectadas durante las temporadas

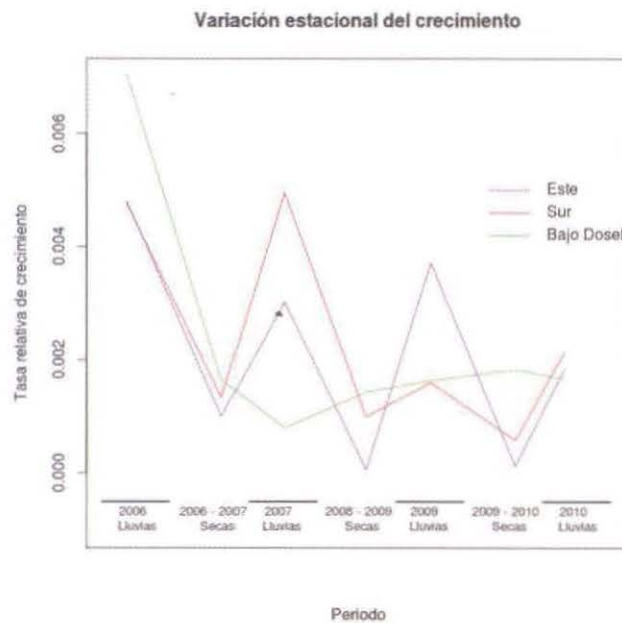


Figura 3. Tasa relativa de crecimiento de *A. cupreata* en plantaciones de tres a seis años bajo manejo integral en función de su exposición: orientadas al Este, Sur y bajo el dosel. Las barras horizontales marcan los tiempos de temporada de lluvias (del 15 de mayo al 30 de octubre) y de secas.

secas, sugiere que la presencia de un dosel contribuyó a conservar condiciones favorables como la calidad de suelo, al reducir la evapo-transpiración, o de protección frente al exceso de radiación solar. También, la conservación de la vegetación herbácea natural puede haber contribuido a la preservación de la fauna auxiliar, y al control de plagas y enfermedades transmitidas por ellas.

*Agave cupreata* se caracteriza por crecer de forma natural bajo el dosel de bosque de pino encino, ocasionalmente en selva baja caducifolia, entre los 1220 y 1890 metros de altitud (Gentry, 1982; Martínez-Palacios *et al.*, 2011), sin embargo, los productores de mezcal sostienen que observan un mejor crecimiento y una mejor calidad de las plantas cuando crecen en el sol. Para contestar esta pregunta, en este trabajo se evaluaron los crecimientos bajo tres condiciones agroecológicas, que difieren no sólo en términos de radiación solar (máxima en los tratamientos expuestos al Sur o Este, pero reducida bajo dosel), sino también en otras condiciones agronómicas.

La fertilidad del suelo, sus propiedades físicas y su capacidad de retención de agua son probablemente más favorables en las parcelas bajo dosel, que en las expuestas al sol, debido a la hojarasca proporcionada por los árboles. Entre las parcelas expuestas al sol, es probable que no sea la diferencia de insolación sino

la calidad del suelo la diferencia más importante entre ellas. La parcela expuesta al Este, más cerca a la parte baja de la loma, tiene probablemente un suelo más delgado y lixiviado, más expuesta a la compactación por el pastoreo de ganado vacuno que la expuesta al Sur, que recibe los escurrimientos y productos de erosión de la parte alta, registra un canal de escurrimiento de agua en época de lluvias. Finalmente, la evolución estacional del contenido de agua de suelo (por lo tanto de su resistencia a la penetración de las raíces) resulta de una combinación entre factores edáficos; en particular, contenido en materia orgánica), climáticos (siendo la radiación solar el principal factor determinante de la evapo-transpiración), y compactación del suelo por pastoreo, relacionada por mostrar una menor pendiente al Este en relación a la del Sur.

Durante las lluvias, el crecimiento de las plantas bajo dosel es, en casi todos los casos, menor que en las expuestas al sol. Esto se puede atribuir a una competencia por la radiación solar. Durante la temporada seca, la mayoría de los días son muy soleados, por lo que la radiación solar, aún bajo sombra, no será limitante para el crecimiento de las plantas. En contraste, durante las lluvias, con una mayoría de días nublados, la radiación solar es muy inferior y llega a ser limitante. Esta limitación se amplifica bajo dosel, y puede traducirse en una fotosíntesis y un crecimiento menor.

Durante las secas, los principales factores limitantes son probablemente el déficit de humedad del suelo y, en caso de déficit severo, que limite la apertura estomática y fijación nocturna de CO<sub>2</sub>, el estrés oxidativo por exceso de radiación solar durante el día. La mayor reducción de crecimiento en las plantas expuestas al Este sugiere un mayor efecto del estrés hídrico y/u oxidativo. Es poco probable que las diferencias de insolación hayan sido muy marcadas entre las orientaciones Sur y Este; además las plantas expuestas al Este reciben una mayor parte de la radiación en la mañana, situación fisiológicamente favorable a la asimilación del CO<sub>2</sub> y que reduce la transpiración al final de la tarde, cuando empieza la apertura estomática nocturna, reducción de transpiración. Es probable que la parcela expuesta al Este, al tener un suelo más pobre y/o recibir menos escurrimiento de la parte alta de la loma, entre en déficit hídrico en la temporada. Un argumento a favor de esta interpretación es que durante la temporada 2008, cuando el crecimiento de las plantas al Este se atrasa en relación a las expuestas al Sur, las plantas al Este tienen una relación Diámetro/Altura significativamente menor ( $p < 0.05$ ), es decir, hojas más erectas, síntomas de estrés.

## Conclusiones y recomendaciones

El sistema de policultivo requiere de experimentación y captura de resultados, para saber qué especies pueden interactuar, sin que se ocasione una competencia inhibitoria del desarrollo, o que el rendimiento sea inferior a un beneficio entre plantas y en la producción comercial, particularmente beneficie el desarrollo de la plantación de mayor importancia, ya que se puede dar el caso donde los cultivos pequeños pueden estar severamente afectados por la sombra del sistema, y no puedan competir con cultivos más grandes.

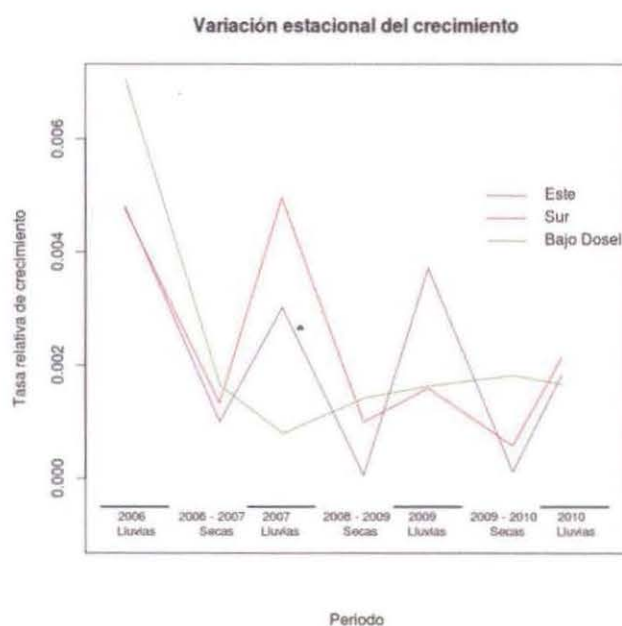


Figura 4. Forma de las plantas de *A. cupreata* en plantaciones de tres a seis años bajo manejo integral en función de su exposición: orientadas al Este, Sur y bajo el dosel. Se grafica la relación diámetro/altura de las plantas, que caracteriza el porte más o menos erecto de las hojas (a menor relación, porte más erecto). Las barras verticales indican intervalos de confianza a 5%. Las barras horizontales marcan los tiempos de temporada de lluvias (del 15 de mayo al 30 de octubre) y de secas.

Sin embargo, una vez que conocen las especies y la forma de cultivo de cómo interactúan en un ambiente, sin que uno de ellos inhiba drásticamente al cultivo de mayor importancia, reportan que los rendimientos en los policultivos superan por mucho a los rendimientos obtenidos en los monocultivos, no individualmente, pero sí en conjunto. De igual manera, los ingresos vienen a ser mucho mayores. En el presente caso de estudio, el manejo integral no requirió de gastos de pesticidas ni fertilización del suelo, el sistema aceleró la producción y los tamaños de las plantas, en comparación a las plantaciones visitadas con manejo de monocultivo en otras regiones del estado de Michoacán.

Uno de los beneficios claramente establecidos del policultivo es la conservación del suelo, al mantener su contenido en materia orgánica, su estructura y su fertilidad. Esto se debe al buen desempeño de *A. cupreata* en el presente trabajo, aunque es posible que en la zona Este, más expuesta a la erosión, el desmonte del bosque haya empezado a causar una degradación del suelo, se manifiesta en la reducción del crecimiento de las plantas después de ocho años de cultivo. Los beneficios de la vegetación asociada, en particular del *Tagetes* sp, pueden ser responsables de la baja incidencia de las plagas en esta plantación.

Un problema en los policultivos es la competencia para los recursos, en particular la radiación solar, el agua y los minerales del suelo; sin embargo, las herbáceas anuales son de raíces superficiales y la de los agaves, aunque superficiales, están por debajo de las plantas anuales. Los productores de agave están convencidos que las plantas que crecen bajo una cobertura de bosque crecen menos, y tienen un menor contenido de azúcar que las expuestas al sol, no obstante, no existen trabajos que testifiquen con bases sólidas estas aseveraciones.

Los resultados del presente trabajo confirman que en temporada de lluvias, las plantas bajo dosel crecen más lentamente que las expuestas al sol; por lo que este efecto está compensado por su mejor respuesta en temporada de secas. Ello sugiere que si existió competencia por la radiación solar, pero que los beneficios de la cobertura arbustiva como protección en la temporada de secas fueron mayores. Queda por determinar si estos beneficios se deben a una reducción de la transpiración o a una mejor calidad del suelo.

A partir de estos resultados, parece recomendable dejar árboles de la selva baja, aunque a una densidad reducida para limitar el sombreado. Un arreglo posible podría ser árboles cada seis metros uno de otros y los agaves abajo, en caso de que los árboles ocasionen demasiada sombra es más fácil desramar o hacer clareos. En algunos casos se ha propuesto reducir la densidad de árboles cada 14 metros, esta alta o baja densidad de árboles, será ajustada a la especie que se utilice para sombra, su altura, tamaño de copa, o si es deciduo, que tira las hojas en invierno, (Chirko *et al.*, 1996; Dufour *et al.*, 2008). Debe

entenderse que el beneficio obtenido al talar el bosque para exponer los agaves a una mayor radiación solar nunca podrá ser suficiente como para deteriorar el ambiente, y que a corto plazo ya no se pueden plantar agaves por afloramiento de la roca madre.

Es necesario hacer un manejo integral con algunas hierbas nativas o introducidas (Prat y Martínez Palacios 2012; Prat *et al.*, 2012). Existen muchos beneficios en cuanto a reducir la erosión del suelo, hacer más fresco el ambiente de la plantación, conservar el agua del suelo, incrementar los insectos depredadores y parásitos de plagas del agave, mantener la microflora y fauna benéfica del suelo, tendencia a una plantación orgánica sin el uso de pesticidas y fertilizantes en la plantación, etc. En control de plagas, en agricultura orgánica, se ha intensificado a través del uso de diversos extractos orgánicos (Sasanelli y D'Addabbo, 1992).

También es necesario realizar estudios del equilibrio biológico del sistema, comparado con los rendimientos del mismo sin la aplicación de pesticidas, para evaluar el efecto de la estabilidad del sistema en comparación con los monocultivos sin aplicación de pesticidas, así como, un estudio de análisis de suelos, ya que si bien es cierto que los policultivos extraen muchos nutrientes, también aportan más materia orgánica, pero no se conoce el balance final.

Se deben tomar en consideración todos los gastos por ambos tipos de sistemas. Eso incluiría ahorros en fertilizantes, pesticidas y herbicidas, uso de maquinaria, edad de la explotación, rendimiento o tamaño de las piñas. Son menores los costos en el caso de manejo integral del uso de la



vegetación acompañante, que se desarrolla de manera natural en la plantación y que fue seleccionada para aportar beneficios al cultivo.

Es importante tener presente que este agave (*A. cupreata*) crece de manera natural en el bosque de pino encino; por cientos de años se extrajo de ahí y en menos de 10 años se intenta considerar como una especie que requiere ser cultivada en monocultivo, a cielo abierto y radiación solar directa durante las horas de luz. Recordar que esto hizo el hombre desde hace miles de años, al no sentirse seguro en la naturaleza y durante su evolución, se ha dedicado a modificar el ambiente a su placer, lo cual ha ocasionado que los recursos naturales y ecosistemas estén en grave riesgo de extinción hoy en día.

## Agradecimientos

A la SEDESOL por apoyar a los productores de Tzitzío a través de la gestión del Presidente Municipal José Rafael Pérez Toledo, 2002-2004. A los productores de mezcal de Michoacán por su apoyo en proporcionar material, información, visita a predios, etc. A la COFUPRO (Coordinadora Nacional de Las Fundaciones Produce A.C., Unidad Operativa Michoacán) proyectos clave 1852 y 1474. A la CIC-UMSNH, Proy. 5.6.

## Literatura citada

Altieri, M.A., Francis, C.A., Van Schoonhoven, A. and Doll, J.D. 1978. A review of insect prevalence in maize (*Zea mays*) and bean (*Phaseolus vulgaris*) polycultural systems. *Field Crops Research* 1: 33-49.

Altieri, M.A. and Liebman, M.Z. 1986. Insect, weed and plant disease management in multiplecropping systems. In: *Multiple Cropping Systems*. C. A. Francis, New York: MacMillan. pp. 183-218.

Altieri, M.A. and Liebman, M.Z. 1988. *Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches*. Florida: CRC Press.

Andow, D. 1991. *Vegetational diversity and arthropod population response*. *Ann. Rev. Entom.* 36: 561- 586.

Bach, C.E. 1980. *Effects of plant density and diversity on the population dynamics of a specialist herbivore, the striped cucumber beetle, Acalymnavittatum (Fab.)*. *Ecology* 61: 1515- 1530.

Beets, W.C. 1982. *Multiple Cropping and Tropical Farming Systems*. Boulder: Westview Press.

Boller, E.F. 1992. *The role of integrated pest management in integrated production of viticulture in Europe*. Brighton Crop Protection Conference: 499-506.

Brotons, S.F.A. 2011. *Maximización del uso equivalente del terreno con 14 hortalizas en policultivo*. Tesis de Licenciatura. Honduras.

Chirko, C.P., Gold, M.A., Nguyen, P.V. and Jiang, J.P. 1996. Influence of direction and distance from trees on wheat yield and photosynthetic photon flux density (Qp) in a *Paulownia* and wheat intercropping system. *Forest Ecology and Management*, 83(3): 171-180.

Dufour, L., Dupraz, C. and Mayus, M. 2008. Influence of tree competition on durum wheat growth and yield in two mediterranean agroforestry system. *Agronomy for sustainable development*. Rev. For. Fr n°1 *Spéciale agroforesterie*, p. 82.

Farrell, J.G. y Altieri, M.A. 1999. Sistemas agroforestales. Pp. 229-243, En: Miguel A. Altieri (ed.), *Agroecología, bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo, Uruguay: Editorial Nordan-Comunidad.

Finch, C.V., and Sharp, C.W. 1976. *Cover Crops in California Orchards and Vineyards*. Washington, D.C.: USDA Soil Conservation Service.

Francis, C.A. 1986. *Multiple Cropping Systems*. New York: MacMillan Publishing Company.

Gentry, H.S. 1982. *Agaves of continental North America*. New York: University of Arizona Press.

Harwood, R.R. 1979. *Small Farm Development Understanding and Improving Farming Systems in the Humid Tropics*. Boulder: Westview Press.

Haynes, R.J. 1980. *Influence of soil management practice on the orchard agroecosystem*. *Agroecosystems* 6: 3-32.

Horwith, B. 1985. *A role for intercropping in modern agriculture*. *BioScience* 35 (5): 286-291.

ICRISAT. 1984. *Annual Report for 1983*. Patancheru, India.

Jodha, N.S. 1981. Intercropping in traditional farming systems. In: *Proc. Int. Workshop on Intercropping*, 10-13 Jan. 1979. India: ICRISAT.

Kass, D.C.L. 1978. *Polyculture Cropping Systems: Review and Analysis*. Cornell Inter. Agric. Bull. 32. Ithaca, New York.: Coll. Agric. Life Sci., Cornell Univ.

Lal, Regnier, R., E., D.J., Exkert, Edwards, W.M. and Hammond, R.. 1991. Expectations of covercrops for sustainable agriculture. In: *Cover Crops for Clean Water*. Hargrove, W. L. Iowa: Soil and Water Conservation Soc. pp. 1, 14

Liebman M. 1999. Sistemas de policultivos. Pp 191-202. En: Miguel A. Altieri, Susanna Hecht, Matt Liebman, Fred Magdoff, Richard Norgaard, y Thomas O. Sikor (eds.), *Agroecología, Bases científicas para una agricultura sustentable* Editorial Nordan-Comunidad, Cap. 9. ISBN: 9974-42-052-0

Leihner D. 1983. *Yuca en cultivos asociados. Manejo y evaluación*. Cali, Colombia: CIAT, 80p.

Martínez-Palacios A., Gómez-Sierra, J.M., Sáenz-Romero, C., Pérez-Nasser, N. y Sánchez-Vargas, N. 2011. *Genetic diversity of Agave cupreata Trel. & Berger. Considerations for its conservation*. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 34 (3): 159 – 165.

Mead, R. and Willey, R.W. 1980. *The concept of a Land Equivalent Ratio and advantages in yields from intercropping*. Exper. Agri. 16: 217-228.

Moreno, R.A. 1975. *Diseminación de Ascochyta phaseolorum variedades de frijol de costa bajo diferentes sistemas de cultivo*. Turrialba 25(4): 361-364.

Moreno, R.A. 1979. Crop protection implications of cassava intercropping en E. Weber, B. Nestal, and M. Campbell (eds.), *Intercropping with Cassava: Proc. of the Int. Workshop*. 1978. Trivandrum, India: Int. Dev. Res. Centre

Nair, P.K.R. 1982. *Soil Productivity Aspects of Agroforestry*. Nairobi: ICRAF.

Natarajan, M. and Willey, R.W. 1980. *Sorghum-pigeon pea intercropping and the effects of plant population density*. J. Agri. Sci. 95: 59-65.

Papendick, R.I., Sanchez, P.A. and Triplett, G.B. 1976. *Multiple Cropping*. Wisconsin: ASA Spec.Pub. No. 27.

Prat C. y Martínez-Palacios, A. 2012. Land reclamation by Agave forestry with native species. In Schwilch, G., Hessel, R. and Verzaandvoort, S. 2012. *Desire for Greener Land. Options for Sustainable Land Management in Drylands*. Bern, Switzerland and Wageningen, The Netherlands: University of Bern - CDE, Alterra - Wageningen UR, ISRIC - World Soil Information and CTA - Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation. ISBN: 9789461733290. Francia. 161-164.

Prat C., A. Martínez-Palacios y E. Ríos Patrón. 2012. Participative actions for economic benefits of agave forestry. In: G. Schwilch, R. Hessel, and S. Verzaandvoort. 2012. *Desire for Greener Land. Options for Sustainable Land Management in Drylands*. Bern, Switzerland and Wageningen, The Netherlands: University of Bern - CDE, Alterra - Wageningen UR, ISRIC - World Soil Information and CTA - Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation. ISBN: 9789461733290. France. 205-208.

Risch, S.J. 1983. *Intercropping as cultural pest control: prospects and limitations*. Envir. Manage. 7 (1): 9-14.

Root, R.B. 1973. *Organization of a plant arthropod association in simple and diverse habitats: the fauna of collards (Brassica oleracea)*. Ecol. Monogr. 43: 95- 124.

Sasanelli, N. and D'Addabbo, T. 1992. *The effect of Cineraria maritima, Rutagraveolens and Tagetes erecta extracts on the hatching of Heterodera schachtii*. Nematología mediterránea 20: 49-51.

Scheinvar, E.G. 2008. *Genética de Poblaciones Silvestres y Cultivadas de dos Especies Mezcaleras: Agave cupreata y Agave potatorum*. Tesis de Maestría, Instituto de Ecología, UNAM.

Steiner, R. 1984. La prevalencia de los policultivos en el mundo, Pp. 190-202. En: Miguel Altieri y Clara I. Nicholls. *Curso intensivo de agroecología y desarrollo sustentable: conceptos y prácticas*. Chile.

Sumner, D.R., Doupnik, B. and Boosalis, M.G. 1981. *Effects of reduced tillage and multiplecropping on plant diseases*. Annu. Rev. Phytopathol. 19: 167-187.

Suryatna, E. 1979. *Cassava intercropping patterns and management practices in Indonesia*. In: E. Weber, B. Nestel and M. Campbell, 1978. *Intercropping with Cassava: Proc. Int. Workshop*. Trivandrum, India: Int. Dev. Res. Centre, pp. 35- 36.

Van den Bosch, R., and Telford, A.D. 1964. *Environmental modification and biological control*. In: P. De Bach. *Biological Control of Insect Pests and Weeds*. New York: Reinhold, pp. 459-488.

Vandermeer, J. 1989. *The Ecology of Intercropping*. Cambridge, U.K. Cambridge Univ. Press.

Alejandro Martínez- Palacios, José Luciano Morales - García, Susana Guillen Rodríguez



Aspectos sobre el Manejo y la Conservación de  
**Agaves Mezcaleros**  
en Michoacán



Aspectos sobre el Manejo y la Conservación de Agaves  
Mezcaleros en Michoacán

Primera edición, Julio 2015  
ISBN: 978-607-811-643-0

Coordinación General:  
Alejandro Martínez - Palacios

Editores:  
Alejandro Martínez- Palacios  
José Luciano Morales - García  
Susana Guillén Rodríguez

Edición:  
Francisco Valenzuela

Diseño editorial, diseño gráfico y formación:  
María Bernardette Arroyo Gaona  
Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación

Para la reproducción total o parcial de esta obra se requiere permiso escrito de los editores.

Impreso y hecho en México

## FE DE ERRATAS

Página 77 se repitió la Figura 3 en la 4, utilizar ésta como Figura 4.

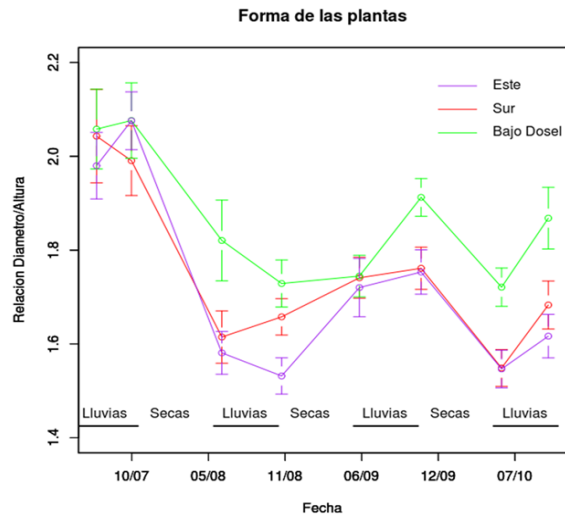


Figura 4