



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## **CAMPUS PUEBLA**

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

### **PERSPECTIVAS DE LA ASOCIACIÓN DE CULTIVOS ANUALES EN EL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES**

**MARÍA FÉLIX MOLINA ANZÚRES**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**PUEBLA, PUEBLA**

**2015**



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS  
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

SUBDIRECCIÓN DE EDUCACIÓN  
CAMPUS PUEBLA

CAMPUE- 43-2-03

## CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe **María Félix Molina Anzúres**, alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Abel Gil Muñoz**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Perspectivas de la asociación de cultivos anuales en el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y la que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla, marzo de 2015

\_\_\_\_\_  
**María Félix Molina Anzúres**

\_\_\_\_\_  
**Dr. Abel Gil Muñoz**

La presente tesis, titulada: **Perspectivas de la asociación de cultivos anuales en el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales**, realizada por la alumna **María Félix Molina Anzúres**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:

DR. ABEL GIL MUÑOZ

ASESOR:

DR. ENRIQUE ORTIZ TORRES

ASESOR:

DR. JOSÉ LUIS CHÁVEZ SERVIA

ASESOR:

Ernesto Hernández R.  
M. C. ERNESTO HERNÁNDEZ ROMERO

Puebla, Puebla, México, marzo de 2015

# PERSPECTIVAS DE LA ASOCIACIÓN DE CULTIVOS ANUALES EN EL SISTEMA MILPA INTERCALADA CON ÁRBOLES FRUTALES

María Félix Molina Anzúres, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

La milpa es un sistema de producción agrícola tradicional mesoamericano consistente en la siembra bajo asociación de maíz, frijol y calabaza en el mismo espacio y tiempo. Una variante de este sistema es la Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF), en la que los cultivos anuales se siembran en franjas alternas. A pesar de sus beneficios, el arreglo empleado para los cultivos anuales en el MIAF no ha sido ampliamente adoptado. Por ello, con la presente investigación se buscó determinar si el empleo de la asociación de cultivos ofrece alguna ventaja en términos de comportamiento agronómico y eficiencia productiva con respecto al de franjas alternas, cuando ambos forman parte del sistema MIAF que se maneja en el altiplano de Puebla. El experimento en campo involucró la evaluación de dos variedades de las especies maíz, frijol y calabaza en cinco agrosistemas: asociación triple intercalada con frutales, franjas alternas intercaladas con frutales, franjas alternas no intercaladas, monocultivo intercalado y monocultivo sin intercalar. El diseño experimental fue uno de bloques completos al azar, con tres repeticiones, establecido en dos localidades. Se registraron variables de interés agronómico en las etapas vegetativa, reproductiva y de madurez comercial de cada especie. También se registraron datos de producción en los frutales. Los datos se sometieron a análisis de varianza individuales y combinados y se calcularon los índices de razón equivalente de terreno (RET) y comparativo rendimiento área (ICRA). Se concluye que la asociación triple intercalada (maíz-frijol de guía-calabaza) es un agrosistema alternativo al de franjas alternas, apropiado para ser implementado bajo el sistema de milpa intercalada con árboles MIAF, con la ventaja de que aquél es más conocido y manejado por los agricultores. Las hileras de frutales, por su parte, complementan la productividad de los agrosistemas de asociaciones triples, generando un rendimiento extra de fruta para venta y obtención de ingresos. Todo ello evidencia que los pequeños agricultores pueden hacer mejor uso de su parcela con tres especies juntas intercaladas con hileras de frutales.

Palabras clave: Agrosistemas, Índices de Eficiencia, Comportamiento agronómico, Milpa.

# PERSPECTIVES OF ANNUAL CROPS INTERCROPPING WITHIN THE MILPA SYSTEM INTERCALATED WITH FRUIT TREES

María Félix Molina Anzúres, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

Milpa is a traditional agricultural production system of Mesoamerican origin, where maize, beans and squash are intercropped in the same space and time. A modification to this system is the Milpa Intercalated with Fruit Trees (MIAF), where annual crops are planted in alternate strips. Despite its benefits, the arrangement used for the annual crops inside the MIAF has not yet been widely adopted. Therefore, this study aimed to determine whether the use of the intercropping offers an advantage over the alternate strips arrangement in terms of agronomic performance and productive efficiency, when both are part of the MIAF system as it is managed in the highlands of Puebla. The experiment in the field involved the evaluation of two varieties of maize, bean and squash in five agrosystems: intercropping of three species intercalated with fruit trees, alternate strips intercalated with fruit trees, alternate strips (not intercalated), intercalated monoculture and monoculture without intercalation. A randomized complete block design with three replications was used. The experiment was sown at two sites. Agronomic variables of interest were recorded at the vegetative, reproductive and commercial maturity stages of every species. Production data were also recorded in fruit trees. Data were subjected to individual and combined analysis of variance; land equivalent ratio (RET) and comparative performance area (ICRA) indexes were also calculated. It is concluded that the intercropping of three species (maize-pole bean-squash) is an alternative agrosystem to alternate strips, suitable to be included as part of the MIAF, with the additional advantage of being more widely known and used by the farmers. The fruit tree rows complement the productivity of the triple intercropping agrosystem, providing a surplus in yield (fruit in this case) for sale and income procurement. All this points out to the fact that the small farmers can make a better use of their plots with three species jointly intercropped with fruit trees.

Key words: Agrosystems, Efficiency Indexes, Agronomic performance, Milpa.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a DIOS por regalarme una gran familia, por brindarme salud y por darme fortaleza y ayudarme a culminar una meta más en mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico otorgado para mis estudios de Maestría en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados Campus Puebla, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de Maestría en Ciencias y al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca (CIIDIR) por permitirme complementar mi formación académica en estadística.

Al Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI), del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) de la SAGARPA, por el apoyo económico para el desarrollo de la presente investigación a través del Proyecto "Manejo Integral del Agroecosistema en el estado de Puebla".

Al Dr. Abel Gil Muñoz por aceptar la responsabilidad de orientarme, compartir sus conocimientos y dedicar tiempo y esfuerzo al presente estudio.

Al M. C. Ernesto Hernández Romero por sus valiosas contribuciones e invaluable e incondicional apoyo en el desarrollo experimental de campo de la presente investigación.

Al Dr. Enrique Ortiz Torres por su enseñanza, orientación, por sus consejos, apoyo y compromiso en la realización de la presente investigación.

Al Dr. José Luis Chávez Servía por su paciencia, su gran colaboración, por compartir sus amplios conocimientos, y por todas las contribuciones recibidas por su parte, y sobre todo por brindarme su valioso tiempo.

A mis profesores, amigos y compañeros durante mi estancia en el Colegio y al personal que labora en la Unidad Académica Huejotzingo, quienes apoyaron durante la fase de investigación.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por darme la vida

Otilio Molina Cardoso y María Guadalupe Anzures Castellanos

A mi hermano Luciano Molina Anzures y su familia, Genoveva y Arnol, por su cariño y confianza, por enseñarme a luchar para seguir siempre adelante, y por apoyarme en los momentos más importantes de mi vida, gracias por confiar en mí.

A mis hermanos, Enrique, Antonio y Teódulo, por su cariño, comprensión y su apoyo incondicional.

A mis hermanas, Teodora y Gloria, por su confianza, y el cariño que nos une y, sobre todo, por sus consejos.

A mis sobrinos, Gilman, Arnol Hakson, Jazziel, Zuriel, Alexis, Kevin, Anayeli, Judith, Grisel, Mishelle y Leylany, por formar parte de mi vida.

A mis amigos, Ana Laura, Ana Rosa, Ana Victoria, Soledad, Violeta, Rogelio, Mauricio, José Gabriel y Jorge Eduardo que siempre me apoyaron y animaron para seguir adelante.

## CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Planteamiento del problema	7
2. Preguntas de investigación, objetivos e hipótesis	10
3. Estructura de la tesis	11
4. Literatura Citada	11
CAPÍTULO I. COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE MAÍZ, FRIJOL Y CALABAZA EN CINCO AGROSISTEMAS INTERCALADOS CON ÁRBOLES FRUTALES	21
1.1 Resumen	21
1.2 Abstract	22
1.3 Introducción	23
1.4 Materiales y Métodos	25
1.4.1 Ubicación geográfica del área de estudio	25
1.4.2 Material genético	25
1.4.3 Agrosistemas	26
1.4.4 Manejo Agronómico	26
1.4.5 Diseño y unidad experimental	28
1.4.6 Variables registradas	28
1.4.7 Análisis de los datos	29
1.5 Resultados	30
1.6 Discusión	37
1.7 Conclusiones	40



	Página
1.8 Literatura citada	40
<b>CAPITULO II. EFICIENCIAS PRODUCTIVAS DE ASOCIACIONES DE MAÍZ, FRIJOL Y CALABAZA (<i>Curcubita pepo l.</i>), INTERCALADAS CON ÁRBOLES FRUTALES</b>	47
2.1 Resumen	47
2.2 Abstract	48
2.3 Introducción	49
2.4 Materiales y Métodos	53
2.4.1 Material genético	53
2.4.2 Localidades de evaluación y diseño experimental	53
2.4.3 Manejo agronómico y variables evaluadas	55
2.4.4 Análisis estadístico	57
2.5 Resultados y Discusión	57
2.6 Conclusiones	71
2.7 Literatura citada	72
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	80

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
CAPÍTULO I	
Cuadro 1.1 Estructura y composición de agrosistemas evaluados en dos localidades del Valle de Puebla, Primavera-Verano 2013.	27
Cuadro 1.2 Fertilización química de las diferentes especies componentes.	28
Cuadro 1.3 Análisis de varianza de tres especies anuales establecidas en dos localidades, bajo diferentes agrosistemas, 2013.	31
Cuadro 1.4 Comparación de medias en tres especies anuales establecidas en dos localidades, bajo diferentes agrosistemas, 2013.	34
Cuadro 1.5 Cambios porcentuales en el rendimiento promedio por especie de tres especies anuales establecidas bajo diferentes agrosistemas. Puebla, México, 2013.	37
CAPITULO II	
Cuadro 2.1 Combinaciones de poblaciones o variedades de cada especie para la integración de los agrosistemas evaluados en San Andrés Calpan y San Lorenzo Chiautzingo, Puebla. Primavera-Verano 2013.	55

Cuadro 2.2. Análisis de varianza de rendimiento e índices de eficiencias relativas, en sistemas de asociaciones de cultivos intercalados con frutales.	58
Cuadro 2.3. Promedios de rendimientos e índices de eficiencias productivas por localidades de estudio, agrosistemas e interacción localidades-agrosistemas. Primavera-Verano 2013.	59
Cuadro 2.4. Promedios de rendimientos experimentales e índices de eficiencias en cada tratamiento evaluado de asociación o monocultivo, en San Andrés Calpan y San Lorenzo Chiautzingo, Puebla. Primavera-verano 2013.	62
Cuadro 2.5. Promedios de rendimientos experimentales e índices de eficiencias en cada tratamiento evaluado de asociación o monocultivo por localidades. Primavera-verano 2013	64
Cuadro 2.6. Correlaciones (r) entre rendimientos de frutales intercalados y rendimientos experimentales e índices de eficiencia por localidad de evaluación de triples asociaciones. Primavera-Verano 2013.	66

## ÍNDICE DE FIGURAS

Página

### CAPÍTULO II

Figura 2.1. Relación entre rendimiento de asociaciones maíz-frijol-calabaza (a), índices de eficiencia productivas (b) y rendimiento de manzana en San Andrés Calpan, Puebla. { } = asociaciones en el mismo surco y [ ] = en surcos intercalados. 68

Figura 2.2. Relación entre rendimiento de asociaciones maíz-frijol-calabaza (a), índices de eficiencias productivas (b) y rendimiento de durazno en San Lorenzo Chiautzingo, Puebla. { } = asociaciones en el mismo surco y [ ] = en surcos intercalados. 70

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Autores como Zizumbo-Villarreal *et al.* (2012) han subrayado que la alimentación de las civilizaciones que se desarrollaron en Mesoamérica estuvo basada en el agroecosistema conocido como milpa, el cual se compone de maíz (*Zea mays* L.), frijoles (*Phaseolus* spp.) y calabazas (*Cucurbita* spp.). En la actualidad, estas especies continúan siendo centrales para la alimentación de gran parte de la población, particularmente la rural. Gil y Álvarez (2007) apuntan que la gama de usos tradicionales del maíz abarca su empleo como forraje, abono, envoltorios, combustible, como material artesanal y con aplicaciones medicinales y ceremoniales, y que entre ellos destaca su utilización como alimento, existiendo cuando menos 600 modalidades reportadas. Al respecto, el Museo Nacional de Culturas Populares (1983) agrupa tales usos en ocho grandes categorías: a) elotes y huitlacoques; b) tortillas; c) tamales; d) antojitos a base de masa; e) pozoles y menudos; f) atoles; g) otras bebidas; h) postres. Mención aparte tiene la gama de aplicaciones a nivel industrial. Cifras provistas por Galarza (2006) y SFA-SAGARPA (2011) señalan que la ingesta diaria de este cereal por parte de la población mexicana asciende a 80 kg por persona por año. En el caso del frijol, Muñoz (2010) apunta que en México se cultivan principalmente cuatro especies: frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), frijol comba (*Phaseolus lunatus*), frijol ayocote (*Phaseolus coccineus*) y frijol tépari (*Phaseolus acutifolius*). Su uso alimenticio es como grano seco, grano verde y vaina verde, y se estima que en promedio se consumen 11 kg por persona al año (SE, 2012). La calabaza es otra especie que se cultiva en prácticamente todas las regiones agrícolas, acompañando al maíz y al frijol (CONABIO, 2014). La misma fuente indica que en el continente americano, son 15 las especies presentes del género *Cucurbita* y que de ellas son cinco las comunes en el país: *Cucurbita argyrosperma*, *C. ficifolia*, *C. moschata*, *C. pepo* y *C. máxima* (según Peña-Basurto *et al.* (2014), las cuatro primeras fueron domesticadas en

Mesoamérica). Villanueva-Verduzco *et al.* (2013) mencionan que las especies cultivadas del género *Cucurbita* proporcionan flores masculinas y femeninas, frutos tiernos, puntas de guía, fruto maduro y semillas.

Las especies anteriores se siembran en diversas modalidades que incluyen tanto al unicultivo como al policultivo (Flores-Delgadillo *et al.*, 2011). Para homogeneizar la comprensión de los conceptos de policultivo, Andrews y Kassam (1977) propusieron diversos términos que se han hecho de uso generalizado: *Cultivos secuenciales*: aquéllos en los que dos o más cultivos crecen en forma secuencial en el mismo terreno en el transcurso de un año; el cultivo subsiguiente es sembrado después de que el anterior ha sido cosechado, de modo que la intensificación en el uso del terreno es solo en tiempo. *Cultivos asociados*: corresponden a aquéllos en los que el crecimiento de dos o más cultivos se da en forma simultánea sobre el mismo terreno durante un ciclo o en el transcurso de un año; en este caso, la intensificación del cultivo es en espacio y tiempo. Dentro de esta clasificación se tienen los siguientes patrones: *cultivos en mezcla*: dos o más cultivos creciendo simultáneamente sin ningún arreglo establecido en surcos; *cultivos asociados en surco*: dos o más cultivos creciendo simultáneamente, en donde uno o más cultivos son establecidos en surcos; *cultivos asociados en franjas*: dos o más cultivos crecen en diferentes franjas lo suficiente amplias como para permitir que cada cultivo se desarrolle independientemente, pero lo suficiente angostas como para que interactúen agronómicamente; *cultivos en relevo*: caso en el que dos o más cultivos crecen simultáneamente durante una parte del ciclo de vida de cada uno; en este caso, un segundo cultivo es sembrado antes de la cosecha del primero. Otros términos son el de *rotación*, aplicado para el establecimiento repetitivo de una sucesión ordenada de cultivos sobre el mismo terreno, en donde un ciclo puede tomar varios

años, y el de *unicultivo*, que es el crecimiento de una sola variedad de un cultivo en un solo sitio y bajo una densidad normal.

En la actualidad el sistema de producción predominante en especies anuales es el monocultivo (siembra continua, en el mismo espacio y a través del tiempo, de una sola especie), el cual se ha incrementado dramáticamente a través del mundo, debido a la existencia de fuerzas políticas y económicas que lo promueven a través de innovaciones tecnológicas tales como los sistemas de riego tecnificado, el uso de semillas mejoradas, maquinaria agrícola y agroquímicos etc. (Pretty, 2007). No obstante, de acuerdo con Tilman *et al.*, (2002), los sistemas de monocultivo, además de ser la base para la agroindustria, han permitido aumentar la oferta de alimentos, hacer un uso más eficiente de la maquinaria para preparar el suelo, sembrar, controlar arvenses y cosechar, lo cual permite reducir los costos de producción por mano de obra y son la base para la agroindustria. En contraposición a estas ventajas, Gliessman (2002) y Turrent-Fernández y Cortés-Flores (2005) mencionan que, desde una perspectiva ambiental, los problemas más severos que causan son la erosión de la diversidad genética de cultivos básicos, la eutrofización de los cuerpos de agua, la contaminación de acuíferos subterráneos, la emisión de gases termoactivos y la pérdida de fertilidad y erosión de los suelos.

A pesar del avance por la modernización y de los cambios económicos, algunos sistemas de conocimiento y de manejo agrícola tradicional aún permanecen (Altieri, 1991), tal es el caso de los policultivos. Entre las ventajas de la combinación de especies en un solo espacio y una misma estación de crecimiento se han mencionado el que ayuda a amortiguar los factores climáticos y edáficos, a disminuir el ataque de plagas y enfermedades y el uso de insumos

(Hauggaard-Nielsen *et al* 2008; Trenbath 1993; Fujita *et al.*, 1992). En el caso específico de la asociación de cultivos se ha dicho que presenta estabilidad productiva, económica y mayor productividad por unidad de área (Gruhn *et al.*, 2000: Loomis, 1984). En cuanto a las desventajas, se ha señalado que en ocasiones se pueden presentar efectos alelopáticos entre las especies cultivadas, mayor competencia por los factores del crecimiento (luz, agua y nutrientes del suelo), el incremento de la humedad relativa lo cual puede favorecer el ataque de enfermedades, especialmente fungosas, y la dificultad en el uso de maquinaria para actividades de siembra, manejo y cosecha de los cultivos (Gliessman y Amador 1982; Gliessman, 2002).

Los datos estadísticos para los monocultivos de maíz y frijol indican que son dos especies importantes en cuanto a superficie sembrada y producción entre los cultivos anuales, ya que para el período 2009-2013 se sembraron alrededor de 8'191,770.36 ha de maíz y 1'720,343.04 ha de frijol al año, con volúmenes de producción que alcanzaron las 21'828,816.33 t en maíz y 1'028,175.41 t en frijol (SIAP 2013). Para el caso de calabaza, en el lapso mencionado, en promedio se sembraron alrededor de 17,053.39 ha, y la producción alcanzó las 148,992.29 t (SIAP 2013). En el caso específico de la calabaza, CONABIO (2014) menciona que en las estadísticas nacionales figura principalmente la producción de calabacita para verdura, con 27,037 ha sembradas en 2012 y una producción de 436,947 t, y que para los otros tipos de calabaza se reportan menores superficies y volúmenes, pero que no hay datos claros que permitan asociar a la producción de especies y cultivares nativos para la obtención de fruto maduro y semilla.



No existen datos precisos de qué tan extendida está la siembra del sistema milpa en México, no obstante, Dixon *et al.* (2001) apuntan que en la región de América Latina y el Caribe, en 1999, existían alrededor de 160 millones de hectáreas de tierra cultivada, de las cuales el 3 % correspondía al sistema de producción agropecuaria maíz-frijol, exclusivo de la región de Mesoamérica, que abarca desde el centro de México hasta el Canal de Panamá. Algunas referencias aisladas para el caso de México mencionan que en los Valles Centrales de Oaxaca se siembran alrededor de 20,000 ha de la asociación maíz-frijol de mata (Ruiz y Loeza, 2004), que en el estado de Yucatán anualmente se rozan, tumban y queman alrededor de 180,000 ha para la producción de milpa (Cuanalo-de la Cerda y Uicab-Covoh, 2006) y que en Tlaxcala, de un total de 1225 productores entrevistados para un estudio sobre el manejo del maíz, el 32 % recurrió al uso de los policultivos (Damián-Huato *et al.*, 2010).

Linares y Bye (2011) exponen que la milpa es una invención mesoamericana, integrada tradicionalmente por el maíz, el frijol y la calabaza, que en su conjunto se conocen como la “triada mesoamericana”; agregan que según los registros arqueo-botánicos, tal tríada surge aproximadamente 2,400 años, en el centro-sur de México (Guilá Naquitz, Oaxaca) y más tarde, hacia el sur y norte del país (Tehuacán, Puebla y Ocampo, Tamaulipas). Francis (1986) señala que este agrosistema es un espacio de producción tradicional que se desarrolla en pequeñas extensiones, por familias campesinas, y que tiene como base el uso de diversas especies. En él, el maíz sirve de soporte a la planta de frijol, éste fija nitrógeno en el suelo que es asimilado por el maíz y la calabaza, y esta última disminuye la incidencia de malezas y conserva la humedad del suelo (Liebman y Dyck, 1993; Fujiyoshi *et al.*, 2007). Las ventajas que ofrece este sistema han permitido su persistencia a través del tiempo y ha sido una base para generar diferentes modelos

de producción, adaptados a las diferentes ambientes y la combinación de especies anuales con especies perennes (Denevan *et al.*, 1984; Denevan, 1995; Wilken, 1976; Francis 1986; Altieri 1995).

Una de las variantes desarrolladas a partir del sistema milpa es el Sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF). Este sistema está compuesto por la siembra de tres especies, el árbol frutal, el maíz y frijol u otra especie comestible, las cuales van intercaladas con frutales de forma alterna y están en intensa interacción agronómica. Desde una perspectiva económico-social, en el sistema MIAF la producción de maíz y frijol son elementos estratégicos que garantizan la seguridad alimentaria, mientras que el árbol frutal juega el papel de motor económico y de muro vivo para conservar el suelo, agua y capturar carbono (Cortés *et al.*, 2005).

Un módulo MIAF típico para condiciones de pendiente moderada consta de hileras de árboles a 14.4 m de ancho, donde el frutal ocupa una franja de 4.8 m (equivalente a seis surcos); seis surcos se dedican al maíz y seis al frijol de mata, todos a 80 cm. Los cultivos anuales se disponen de tal manera que queden tres tiras de dos surcos de maíz alternadas una a una con tres tiras de dos surcos de frijol de mata (Mendoza *et al.*, 2006). Los árboles, para el caso del durazno, son plantados a una distancia de 1.5 m entre plantas y son acotados mediante el sistema de conducción y poda tipo ‘tatuara modificado’, permitiéndole al árbol una altura de tres metros. Los frutales más adaptados y utilizados en estos sistemas son el duraznero, el manzano y el peral, debido a que se les pueden dar formas estructurales muy diversas, para que llegue la luz solar a todas sus partes (Cortés *et al.*, 2010).

La implementación del MIAF con los pequeños agricultores aún está en proceso de adopción. En su investigación conducida en la región mazateca de Oaxaca, López (2005) destacó que la adopción de los componentes tecnológicos del sistema MIAF se da lentamente, debido a que los agricultores están en el proceso de sustituir sus tradiciones y costumbres asociadas a la milpa tradicional por los del sistema MIAF. Por su parte, Ruiz *et al.* (2012) concluyen que en la región mixte de Oaxaca, los principales factores que han incidido son el sociocultural y el socioeconómico, en los que queda incluida la falta de capital, la no disponibilidad de insumos, el que los agricultores sólo realizan algunas de las prácticas agrícolas recomendadas para el sistema y el que se requiere de un asesoramiento constante para un mejor dominio del sistema MIAF.

## **1. Planteamiento del Problema**

De los sistemas de policultivo, quizá el más estudiado ha sido el de asociación, particularmente el de maíz-frijol. Los aspectos evaluados han sido diversos, desde su comportamiento bajo diferentes fechas de siembra, el efecto de las dosis de fertilización, de las densidades de siembra, hasta la valoración de diferentes variedades, la comparación de rendimientos, los estudios de habilidad competitiva y de eficiencias, entre otros (McGilchrist y Trenbath 1971; Mead y Willey 1980; Mead y Rilley, 1981; Vendermer, 1981; Rezende y Ramalho 1994; Godoy *et al.*, 2011). En México, los estudios se han enfocado a temas tales como la respuesta a dosis de fertilización y densidades de población (Ruiz *et al.*, 1973), el análisis agronómico y económico de la asociación (Platero, 1975), la aptitud asociativa (Salinas, 1982), la eficiencia fisiológica (Lépiz, 1978; Acosta, 1985) y la dinámica de crecimiento de las especies involucradas (Gil-Muñoz *et al.*, 2000), entre otros. En lo que se refiere a calabaza existe un estudio de análisis económico, que

incluye las tres especies (Gutiérrez-Martínez *et al.*, 2007). Llama la atención el hecho de que a pesar de que al sistema milpa Mesoamericano lo constituyen tres especies, existen pocos trabajos que estudian el comportamiento y eficiencia productiva al incluir la calabaza. Un tema aún menos explorado es el relacionado con la estimación de la eficiencia productiva y la determinación de la naturaleza resiliente del sistema milpa al incluir frutales.

Para evaluar la eficiencia productiva en cultivos asociados, el índice más utilizado en la literatura es la razón equivalente de terreno (RET), que se define como el área requerida en unicultivo para obtener los mismos rendimientos en la asociación de cultivos. Si el valor obtenido es mayor a la unidad esto indica que la asociación es más ventajosa que el monocultivo. Autores como Mead y Willey (1980) y Chargoy y Solís (1986) han señalado que el índice RET muestra inconsistencias en su evaluación; apuntan que la principal debilidad del índice radica precisamente en el hecho de sumar los valores relativos y suponer que ello refleja objetivamente alguna situación biológica de ganancia, pérdida o equilibrio entre las poblaciones componentes. Por lo anterior, Chargoy y Solís (1986) proponen que la evaluación de eficiencia productiva se realice a través del índice comparativo rendimiento área (ICRA), que es la proporción que define relativamente el rendimiento en áreas comparables por especies o variedades que se cultivan asociadas respecto a las mismas cuando se cultivan solas. Chargoy (2004) considera que la evaluación de las asociaciones de cultivos -en cuanto a sus rendimientos- debe considerar la respuesta del rendimiento conjunto y el efecto individual producido por cada uno de los componentes.

Como se detalló en la introducción general, a pesar de las bondades asociadas al sistema MIAF, en los Valles Altos de México, el componente de cultivos anuales en franjas alternas no ha sido tan ampliamente adoptado como se esperaría. Es probable que ello se deba en parte a que el agricultor no está acostumbrado a la siembra simultánea de maíz y frijol de mata, pues en la región mencionada, usualmente el maíz y el frijol usualmente se siembran en diferentes períodos (el maíz, mayormente en marzo-abril, aprovechando la humedad residual, y el frijol, ya establecido el temporal), Otro factor puede estar relacionado con el manejo de ambos cultivos en franjas alternas, particularmente en lo referente a la fecha y forma de realizar las labores culturales así como al control de malezas. Finalmente, otro aspecto que puede estar involucrado es la poca divulgación de las ventajas que tiene el arreglo de franjas alternas comparado con el monocultivo. Por lo anterior, y considerando que el sistema milpa es un sistema milenario, aún practicado por una proporción considerable de agricultores tradicionales, se consideró conveniente explorar la factibilidad de que el sistema MIAF se instrumente aplicando a plenitud el término “milpa”, esto es, que en vez de recurrir al empleo de franjas alternas, se utilice el complejo de cultivos maíz, frijol, calabaza en asociación. Para tener argumentos cuantitativos que permitan emitir una conclusión al respecto, se recurrirá al empleo de dos índices de eficiencia: el RET y el ICRA.

En dicho contexto, el problema de investigación puede resumirse en los siguientes términos: determinar si el empleo de la asociación de cultivos ofrece alguna ventaja en términos de comportamiento agronómico y eficiencia productiva con respecto al de franjas alternas cuando ambos forman parte del sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales que se maneja en el altiplano de Puebla.

## 2. Preguntas de investigación, objetivos e hipótesis

1. ¿La asociación de cultivos podrá representar una alternativa viable al sistema de franjas alternas en el esquema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF)?

Objetivo: Realizar una comparación en términos de comportamiento agronómico y eficiencias entre los arreglos de franjas alternas y asociación bajo el esquema del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF).

*Ho: Desde una perspectiva agronómica y de eficiencia productiva, la asociación de cultivos constituye una opción al arreglo de franjas alternas en el sistema MIAF*

2. ¿Serán equiparables los rendimientos de maíz, frijol y calabaza cuando se manejan en asociación que cuando se cultivan en franjas alternas bajo el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF)?

Objetivo: Evaluar los rendimientos y comportamiento agronómico de maíz, frijol y calabaza en asociación respecto a franjas alternas bajo el sistema MIAF.

*Ho: Tanto el rendimiento como el comportamiento agronómico del maíz, frijol y calabaza se mantendrán sin cambios importantes*

3. En términos de eficiencia productiva, ¿serán comparables la asociación de cultivos y el arreglo de franjas alternas bajo el sistema MIAF?

Objetivo: Comparar los diferentes arreglos de cultivo con base en los índices de eficiencia productiva razón equivalente de terreno (RET) e índice comparativo rendimiento área (ICRA).

*Ho: Los sistemas de asociación de cultivos y de franjas alternas bajo el sistema MIAF presentarán eficiencias productivas similares*

4. ¿Se afectará de manera importante el comportamiento agronómico de cada especie (maíz, frijol, calabaza) al pasar del monocultivo sin intercalar a un sistema de policultivo intercalado?

Objetivo: Comparar los rendimientos y comportamiento agronómico de maíz, frijol y calabaza en monocultivo sin intercalar respecto al policultivo bajo el sistema MIAF.

*Ho: Los agrosistemas de asociación y franjas alternas intercalados presentarán un mejor comportamiento agronómico que los monocultivos sin intercalar*

### **3. Estructura de la tesis**

La presente tesis está organizada en cuatro secciones. En la primera se presenta una introducción general al tema de estudio y se exponen tanto el problema de investigación como los objetivos e hipótesis planteados. En el capítulo 1 se analiza el comportamiento agronómico de las especies anuales maíz, frijol y calabaza al ser cultivadas bajo asociación, en el sistema de franjas alternas o como monocultivos intercalados con árboles frutales. En el Capítulo 2 se exponen los resultados del análisis de eficiencias productivas de tres agrosistemas: asociaciones triples, asociaciones dobles y monocultivos intercalados con árboles frutales, utilizando los índices RET e ICRA. Finalmente, en la última sección se presentan las conclusiones generales a las que se llegó en este trabajo.

### **4. Literatura Citada**

Acosta D. E. 1985. Crecimiento, rendimiento y aprovechamiento de la energía solar en maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) en unicultivo y asociación. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. 178 p.

- Altieri M. A. 1991. ¿Por qué estudiar la agricultura tradicional? Agroecología y desarrollo. Centro Latinoamericano de desarrollo sustentable. CLADES (1) 1-14
- Altieri M. A. 1995. Agroecology: The science of sustainable agriculture, Westview, Press, Boulder. Colorado, USA
- Andrews D. J. y Kassam A. H. 1977. Importance of multiple cropping in increasing world food supplies. *In*: R.I. Papendick, A. Sanchez and G. B. Triplett (Eds). Multiple Cropping. American Society of Agronomy Special Publication 27. pp 1-10.
- Chargoy Z. C. I. y Solís M. F. 1986. El índice comparativo de rendimiento-área y la razón de superficie equivalente para la medición de la eficiencia de cultivos asociados. *In*: Memorias del XI Congreso de la Sociedad Mexicana de Fitogenética. Sociedad Mexicana de Fitogenética. Guadalajara, Jal., México.
- Chargoy Z. C. I. 2004. La medición agronómica de la eficiencia en el rendimiento de los cultivos múltiples. *In*: J. L. Chávez-Servia, J. Tuxill y D. I. Jarvis. Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. IPGRI. pp. 110-117
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 2014. Calabazas y chilacayotes. Disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/usos/alimentacion/calabaza.html> (Consultado el 19 de enero de 2015).



- Cortés F. J. I., Turrent F. A., Díaz V. P., Hernández R. E., Mendoza R., R. y Aceves R. E. 2005. Manual para el establecimiento y manejo del sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) en laderas. Colegio de Postgraduados. México. 27 p.
- Cortés F. J. I., Torres Z. J. P., Turrent F. A., Hernández R. E., Ramos S. A., Jiménez S. L. 2010. Manual actualizado para el establecimiento y manejo del sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) en laderas. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Montecillo, México. 30 p.
- Cuanalo-de la Cerda, H. y Uicab-Covoh R. A. 2006. Resultados de la investigación participativa en la milpa sin quema. *Terra Latinoamericana* 24(3):401-408
- Damián-Huato M. A., Ramírez-Valverde B., Aragón-García A., Huerta-Lara M., Sangerman-Jarquín D. M. de J. y Romero-Arenas O. 2010. Manejo del maíz en el estado de Tlaxcala, México: entre lo convencional y lo agroecológico. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 6(2):67-76
- Denevan W. M. 1995. Prehistoric agricultural methods as models for sustainability. *Advances in Plant Pathology* 11:21-43
- Denevan W. M., Treacy J. M., Alcorn J. B., Padoch C., Denslow J. and Flores Paitan S. 1984. Indigenous agroforestry in the Peruvian Amazon: Bora indian management of swidden fallows. *Interciencia* 9(6): 346-357.

Dixon J., Gulliver A. y Gibbon, D. 2001. Sistemas de producción agropecuaria y pobreza. Cómo mejorar los medios de subsistencia de los pequeños agricultores en un mundo cambiante. FAO y Banco Mundial. Roma y Washington, D. C. 480 p.

Flores-Delgadillo L., Fedick S. L., Solleiro R. E., Palacios M. S., Ortega L. P., Sedov S. and Osuna C. E., 2011. A sustainable system of a traditional precision agriculture in a Maya homegarden: Soil quality aspects. *Soil and Tillage Research* (2):112-120.

Francis Ch. A. 1986. Introduction: Distribution and importance of multiple cropping. *In*: Ch. A Francis (Ed.). Multiple cropping systems. Macmillan Publishing Company. New York, USA. pp 1-19.

Fujita K., Ofosu-Budu K. G. and Ogata S. 1992. Biological nitrogen fixation in mixed legume-cereal cropping system *Plant and Soil* 144: 155-175.

Fujiyoshi T. P., Gliessman R. S. and Langrnhelm H. J. 2007. Factors in the suppression of weeds by squash interplanted in corn. *Weed Biology and Management* 7:105-114.

Galarza M. J. M 2006. Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012. Servicio de información de agroalimentaria y pesquera (SIAP). Disponible en: <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Documentos%20de%20SIAP/PerspectivasMa%C3%ADz1996a2012.pdf> (Consultado el 29 de enero de 2015).

- Gil M. A. y Álvarez C. N. M. 2007. El maíz criollo en la alimentación de las familias campesinas de Santiago Xalitzintla, Puebla. Colegio de Postgraduados Campus Puebla y Fundación Produce, A. C. Puebla, Pue. 23 p.
- Gil-Muñoz, A., Muñoz-Orozco, A. y Kohashi-Shibata, J. 2000. Estudio preliminar *in situ* de la asociación maíz (*Zea mays* L.) - frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el valle de Puebla. Revista Chapingo Serie Ingeniería Agropecuaria. 3(1):11-16.
- Gliessman S. R. y Amador M. A. 1982. Sistemas de cultivos múltiples: una base para el desarrollo de alternativas agrícolas. Colegio Superior de Agricultura tropical. Cárdenas Tabasco, México. pp 1-24.
- Gliessman S. R. 2002. Agroecología; Procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 352 p.
- Godoy L. M., Díaz G. C., Vásquez M. E., Defaz D. y González O. B. 2011. Evaluación de dos variedades de fréjol durante tres épocas de siembra bajo sistema de cultivo asociado con maíz. Ciencia y Tecnología 4(1): 5-11
- Gruhn P., Goletti F. and Yudelman M. 2000. Integrated nutrient management, soil fertility, and sustainable agriculture: Current issues and challenges. International Food Policy Research Institute Washington, D.C., U.S.A. 31 p.

- Gutiérrez-Martínez, A., Aguilar J. C. E., Galdámez G. J., Mendoza-Pérez S. y Martínez A. F. B. 2007. Impacto socioeconómico de los sistemas de policultivos maíz-frijol-calabaza en la Frailesca, Chiapas, México. I Seminario de Cooperación y Desarrollo en Espacios Rurales Iberoamericanos Sostenibles e indicadores. Almería, España. Disponible en: <http://www.indirural.ual.es/descargas/docDescargas/2-3.pdf> (Consultado el 28 de enero de 2015).
- Hauggaard-Nielsen H., Jornsgaard B., Kinane J. and Jensen E. S. 2008. Grain legume–cereal intercropping: the practical application of diversity, competition and facilitation in arable and organic cropping systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23(1):3-12.
- Lépiz I. R. 1978. La asociación maíz-frijol y el aprovechamiento de la luz solar. Tesis de Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. 335 p.
- Liebman M. and Dyck E. 1993. Crop rotation and intercropping strategies for weed management. *Ecological Applications* 3: 92–122.
- Linares E. y Bye, R. 2011. ¡La milpa no es solo maíz! *In:* E. Álvarez-Buylla R.; A. Carreón G. y A. San Vicente T. *Haciendo Milpa. La protección de las semillas y la agricultura campesina.* UNAM y Semillas de Vida, México, D. F. pp. 9-12.
- Loomis R.S. 1984. Traditional agriculture in America. *Ecology systems* (15): 449-478

- López G., J. 2005. Las escuelas de campo en la capacitación de tecnología en el proyecto Manejo Sustentable de Laderas en Comunidades de la Región Mazateca del Estado de Oaxaca. Tesis de Maestría en Ciencias en Desarrollo Rural. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- McGilchrist C. A. and Trenbath B. R. 1971. A revised analysis of plant competition experiments. *Biometrics* 27(3):659-671.
- Mead R. and Riley. J. 1981. A review of statistical ideas relevant to intercropping research. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* 144(4):462-509
- Mead R. and Willey R.W. 1980. The concept of a land equivalent ratio and advantages in yields from intercropping. *Experimental. Agriculture* 16 (3) 217–228.
- Mendoza R. R, Cortés F. J. I., Turrent F. A., Parra I. F., y Estrella Ch. N., 2006. Proyectos de investigación-transferencia del sistema frutales-cultivos anuales en Puebla y Oaxaca, México. Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Valencia, España. pp. 160-171.
- Muñoz S. R. 2010. Frijol, rica fuente de proteínas. *CONABIO. Biodiversitas* 89:7-11.
- Museo Nacional de Culturas Populares. 1983. *Recetario Mexicano del Maíz*. Talleres Gráficos de la Nación. México. 247 p.

- Peña-Basurto F., Castro-Lara D., Martínez-Moreno D., Rodríguez-Ramírez T. y Peralta-Rodríguez, L. 2014. Uso y manejo de las calabazas cultivadas (*Cucurbita* spp.) en el estado de Puebla. *Agroproductividad* 7(1):44-49.
- Platero H. O. 1975. Análisis de rendimientos de grano y económicos de las asociaciones maíz-frijol en la región este del Valle de México. Tesis de Maestría en Ciencias especialista en Suelos. Colegio de Postgraduados-Rama de Suelos. Chapingo, Méx., 97 p.
- Pretty J. 2007. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363:447-445
- Rezende, G. D. S. P. y Ramalho M. A. P. 1994. Competitive ability of maize and common bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars intercropped in different environments. *The Journal of Agricultural Science* 123(2):185-190
- Ruiz B. A., Barraza M. R. y Turrent F.A 1973. Respuesta de la asociación maíz-frijol a las dosis de N P2 O5 y densidades de población de maíz. Informe de investigación del Plan Puebla. 6ª Reunión Anual. Puebla México.
- Ruiz M. A D., Jiménez S.L., Figueroa R. O. L. y Morales G. M. 2012. Adopción del sistema milpa intercalada en árboles frutales por cinco municipios mixes del estado de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3(8):1605- 1621

- Ruiz V. J. y Loeza R. G. 2004. Validación del método de siembra en surcos alternos para la asociación maíz-frijol en Valles Centrales de Oaxaca. *Naturaleza y Desarrollo* 2(1):13-17
- Salinas G. G. E. 1982. Comportamiento de variedades de frijol en unicultivo y asociación con maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. 148 p.
- Secretaría de Economía (SE). 2012. Análisis de la cadena de valor del frijol. Dirección General de industrias Básicas. Disponible en: [http://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/analisis\\_cadena\\_valor\\_frijol.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/analisis_cadena_valor_frijol.pdf) (Consultado el 28 de enero de 2015).
- Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios (SFA) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2011. Perspectivas de largo plazo para el sector agropecuario de México 2011-2020. Disponible en: [http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/estudios\\_economicos/escenariobase/perspectivalp\\_11-20.pdf](http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/estudios_economicos/escenariobase/perspectivalp_11-20.pdf) (Consultado el 28 de enero de 2015).
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2013. Siembra y cosecha de cultivos en México. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/> (Consulta 26 de enero de 2015).
- Tilman D., Cassman G. K., Matson A. P., Naylor R. and Polsky S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418:671-677.

- Trenbath B. R. 1993. Intercropping for the management of pests and diseases. *Field Crops Research* 34, 381-405.
- Turrent-Fernández A., y Cortés-Flores J.I. 2005. Ciencia y tecnología en la agricultura mexicana: I. Producción y sostenibilidad. *Terra Latinoamericana* 23(2):265-272
- Vendermer J. 1981. The interference production principle: an ecological theory for agriculture. *Bioscience* 31(5):361-364.
- Villanueva-Verduzco, C.; Sánchez-Hernández, M. Á.; Sánchez-Cabrera, I.; Sahagún-Castellanos, J.; Parra-Benavides, G. y Villanueva-Sánchez, E. 2013. Respuesta a la selección masal participativa en calabaza de dulce (*Cucurbita moschata* DUCH.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19(2):239-253.
- Wilken G.C. 1976. Integrating forest and small-scale farm systems in Middle America. *Agro-Ecosystems* 3:291-302.
- Zizumbo-Villarreal, D.; Flores-Silva, A. and Colunga-García Marín, P. 2012. The archaic diet in Mesoamerica: Incentive for milpa development and species domestication. *Economic Botany* 66(4):328-343.



## CAPITULO I

### COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO DE MAÍZ, FRIJOL Y CALABAZA EN CINCO AGROSISTEMAS INTERCALADOS CON ÁRBOLES FRUTALES

#### 1.1 Resumen

Entre los sistemas tradicionales presentes en México se encuentra la asociación de cultivos, que incluye al maíz, frijol y calabaza, así como el intercalamiento de cultivos con árboles frutales. Una mejora desarrollada a partir de tales patrones de cultivo es el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF). En este contexto, el presente trabajo tuvo por objetivo evaluar el comportamiento de los cultivos anuales al ser sembradas en diferentes agrosistemas intercalados con árboles frutales, a fin de identificar opciones que puedan retomarse en el sistema MIAF. Las especies anuales se combinaron en cinco agrosistemas: asociación triple intercalada con frutales, franjas alternas intercaladas con frutales, franjas alternas no intercaladas, monocultivo intercalado y monocultivo sin intercalar. Los agrosistemas se evaluaron bajo un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones en dos localidades del Valle de Puebla. En cada especie se midieron variables agromorfológicas y rendimiento de grano con las que se condujo un análisis de varianza combinado y una comparación de medias (Tukey, 0.05). Los resultados indicaron diferencias estadísticas entre localidades y agrosistemas para algunas variables de maíz y frijol, y para muy pocas en calabaza. La interacción localidad  $\times$  agrosistema fue significativa para algunas variables en maíz y frijol, más no para calabaza. Tanto en maíz como en calabaza los rendimientos fueron superiores en el agrosistema de franjas alternas intercaladas, pero aquellos no fueron estadísticamente diferentes de los obtenidos por las mismas especies en la asociación triple intercalada. Los rendimientos obtenidos por maíz y calabaza en los dos agrosistemas señalados fueron superiores a los registrados en el monocultivo sin intercalar. En frijol de guía el mejor comportamiento en rendimiento se observó en el monocultivo sin intercalar. Se concluye que la asociación triple intercalada es un agrosistema apropiado para ser implementado bajo el sistema MIAF, con la ventaja de que es más conocido y manejado por los

agricultores tradicionales del valle de Puebla, situación que puede favorecer su adopción respecto al agrosistema de franjas alternas.

**Palabras clave:** Agrosistemas, cultivos asociados, monocultivo, comportamiento agronómico.

## 1.2 Abstract

Crop intercropping is one of the traditional systems present in Mexican agriculture. It includes maize, beans and squash, as well as the intercalating of fruit trees. An improvement developed from such crop patterns is the Milpa Intercalated with Fruit Trees (MIAF) system. With this background, the present study was conducted to evaluate the performance of annual crops when sown in different agrosystems intercalated with fruit trees, in order to search for options that can be incorporated into the MIAF system. Annual species were combined in five agrosystems: intercropping of three species intercalated with fruit trees, alternate strips intercalated with fruit trees, alternate strips (not intercalated), intercalated monoculture and monoculture without intercalation. Agrosystems were evaluated under a randomized complete block design with three replications at two sites in the Puebla Valley. In each species, agro-morphological traits as well as grain yield were measured; all were subjected to combined analyses of variance and a mean comparison test (Tukey, 0.05). The results showed statistical differences among sites and agrosystems for some variables in maize and beans, and few in squash. The site  $\times$  agrosystem interaction was significant only for some variables in maize and beans, but not for squash. Maize and squash yields were higher in the alternate strips intercalated with fruit trees agrosystem, but they were not significantly different from those reached by the same species in the triple intercropping agrosystem. Maize and squash yields in the two previous agrosystems were higher than those recorded in the monoculture without intercalation. In pole bean, the best yield performance was observed in the monoculture without intercalation. It is concluded that the triple intercropping intercalated with fruit trees is an appropriate agrosystem for the MIAF system, with the advantage that such agrosystem is better known and managed by traditional farmers in the Puebla Valley, situation that may favor its adoption in relation with the alternate strips agrosystem.

**Key words:** Agrosystems, multiple crops, monoculture, agronomic performance.

### 1.3 INTRODUCCIÓN

México ocupa el cuarto lugar en megadiversidad en el mundo (Sarukhan *et al.*, 2009); su ubicación y conformación orográfica-altitudinal permiten que en su territorio se desarrollen diferentes formas de producción agrícola, las cuales constituyen los agrosistemas, que son determinados por el medio físico y condiciones sociales de las poblaciones humanas que interactúan con la diversidad ecológica (Aguilar *et al.*, 2003). Entre los agrosistemas diversificados se distinguen aquéllos que sólo incluyen especies anuales (cultivos múltiples) como son los cultivos asociados o intercalados, los que incluyen especies perennes y/o leñosas (plantaciones mixtas) y aquéllos con mezclas de especies anuales y leñosas, también conocidos como sistemas agroforestales (Francis, 1986; Fassbender, 1987; Harwood, 1987; Bellow, 2004). Al respecto, De Foresta y Michon (1997) señalan que un reto en estos sistemas es el de que los productos obtenidos a partir de ellos estén disponibles a través del tiempo y de que algunos de esos productos cubran las necesidades de consumo de la unidad de producción. Estos sistemas diversificados se caracterizan por un uso eficiente de la tierra en tiempo y espacio, y su principal propósito es el autoabasto alimenticio y subsistencia de las familias campesinas, con menor o nulo uso de insumos externos en comparación con la producción en monocultivo semicomercial y comercial (Gutiérrez *et al.*, 2007).

Entre los sistemas de producción tradicional de mayor importancia, en México destaca la “milpa”, en el que se asocian variantes de especies de frijol y calabaza con una alta variedad de poblaciones nativas de maíz, el cual es el eje del sistema. En la “milpa” se presentan efectos de

complementariedad: el maíz provee soporte al frijol, este a su vez, favorece al maíz mediante la fijación de nitrógeno, y la calabaza cubre el suelo para evitar el crecimiento de malezas y aporta excedentes para el comercio en los mercados locales (Aguilar *et al.*, 2003). Este sistema se caracteriza por su sinergismo y complementariedad (Altieri, 1999), es practicado desde la época prehispánica y presenta diversas ventajas sobre los unicultivos (Van Dusen, 1992; Jiménez-Osornio *et al.*, 2004), incluyendo la eficiencia relativa de la tierra (ERT) (Mead y Willey, 1980; Francis *et al.*, 1982) que, al igual que otros índices, ha demostrado que los rendimientos del sistema en policultivo superan al monocultivo (Willey y Osiru 1972; Trenbath, 1976; Willey, 1979; Marchiol *et al.*, 1992; Vandermeer, 1989; Davis y Gracia, 1983; Francis, 1989). En otros trabajos se han evaluado diversas combinaciones de cultivos anuales en las que se incluyen frutales intercalados. Los rendimientos de los cultivos anuales no se ven afectados por el frutal, existiendo una complementariedad en la producción y un ingreso más para la familia (Bellow, 2004).

En la agricultura tradicional del valle de Puebla, México, es conocida la combinación de cultivos básicos y árboles frutales que crecen juntos en el mismo terreno bajo una intensa interacción, con el maíz como eje central del sistema, el cual, junto con leguminosas como el frijol y algunas otras especies, son el sustento de la alimentación de la unidad de producción. Los frutales, a su vez, desempeñan el papel de motor económico y de muro vivo para conservar el suelo, agua y capturar carbono. Este sistema ha sido motivo de estudios y adaptaciones derivando en un sistema denominado milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) (Cortés *et al.*, 2005). Este sistema consta de hileras de árboles entre los cuales puede sembrarse un solo cultivo (maíz o frijol) en el caso de la rotación anual, o bien, tres franjas de dos surcos de maíz y tres franjas de

dos surcos de frijol para el caso de franjas alternas, las cuales deben microrotarse anualmente (Cortés *et al.*, 2005). Los sistemas antes descritos constituyen una alternativa viable para la producción de alimentos para los pequeños productores y para un uso eficiente de las pequeñas unidades de producción que son cultivadas en condiciones de temporal y con pendientes tanto moderadas como abruptas. Sin embargo, el sistema MIAF no contempla el intercalado de tres especies como son el maíz, frijol y calabaza bajo el sistema de asociación, a pesar de que este agrosistema es practicado en la agricultura tradicional en la región citada. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue describir el comportamiento agronómico de maíz, frijol y calabaza, en diferentes agrosistemas al ser intercaladas con árboles frutales, como una opción de manejo para el sistema MIAF en el valle de Puebla.

## **1.4 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1.4.1 Ubicación geográfica del área de estudio**

La investigación se realizó en el ciclo agrícola Primavera-Verano 2013, en condiciones de temporal, en las comunidades de San Lorenzo Chiautzingo, con coordenadas 19° 12' 27" LN y 98° 26' 38" LO y en San Andrés Calpan, ubicada a 19° 06' 15" LN y 98° 27' 34" LO (INEGI, 2003).

### **1.4.2 Material genético**

Se trabajó con tres especies anuales: maíz, frijol y calabaza y dos variedades por especie. En maíz se utilizaron la variedad experimental de polinización libre 'Tropical' y el híbrido

comercial Niebla<sup>®</sup>, de la empresa ASPROS. En frijol se emplearon dos poblaciones de guía (Huejotzingo y Abolado) y dos de semiguía (Negro Precoz y Amarillo-2603). En calabaza se utilizaron las poblaciones nativas Huejo y Moxolahuac. En frutales, en Chiautzingo se trabajó en una plantación con distintas variedades de durazno de tres años de edad, mientras que en Calpan la plantación de referencia fue manzana, con la variedad ‘Agua Nueva’, con árboles de siete años de edad.

### **1.4.3 Agrosistemas**

Con las especies y variedades arriba señaladas se generaron las diferentes combinaciones que conformaron los agrosistemas estudiados (Cuadro 1.1).

### **1.4.4 Manejo Agronómico**

La siembra de los cultivos anuales se hizo a pala, los días 4 y 17 de mayo de 2013, en Chiautzingo y Calpan, respectivamente. La distancia entre surcos fue de 0.80 m y entre matas de 0.55 m para todas las variedades de maíz y frijol de guía, aclareando para obtener densidades de población de 42,500 y 21,250 plantas·ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En frijol de semiguía la distancia entre matas fue de 20 cm, obteniendo una densidad de población de 115,000 plantas·ha<sup>-1</sup>. En calabaza se manejó una densidad de 2,500 plantas·ha<sup>-1</sup>. Los árboles frutales de durazno tuvieron una densidad de 1,333 árboles·ha<sup>-1</sup> mientras que en manzano la densidad fue de 694 árboles·ha<sup>-1</sup>. En ambas especies se dejó una franja libre sin sembrar de 2.3 m a cada lado del árbol.

La fertilización se realizó con las dosis y fuentes que se muestran en el Cuadro 1.2, aplicando una tercera parte del nitrógeno, todo el fósforo y el potasio al momento de la siembra y el resto

del nitrógeno en la segunda labor. Los experimentos se condujeron en condiciones de temporal durante todo el ciclo de cultivo.

Cuadro 1.1 Estructura y composición de agrosistemas evaluados en dos localidades del Valle de Puebla, Primavera-Verano 2013.

Clave <sup>†</sup>	Descripción del Agrosistema	Composición del agrosistema en función de variedades/poblaciones de maíz - frijol - calabaza
AT	Asociación Intercalada con frutales	Maíz Tropical - Huejotzingo - Huejo
AT	Asociación Intercalada con frutales	Maíz Tropical - Huejotzingo- Moxolahuac
AT	Asociación Intercalada con frutales	Maíz Tropical - Abolado - Huejo
AT	Asociación Intercalada con frutales	Maíz Tropical - Abolado - Moxolahuac
AT	Asociación Intercalada con frutales	Maíz Niebla - Huejotzingo - Huejo
AT	Asociación Intercalada con frutales	Maíz Niebla - Huejotzingo - Moxolahuac
AT	Asociación Intercalada con frutales	Maíz Niebla - Abolado - Huejo
AT	Asociación Intercalada con frutales	Maíz Niebla - Abolado - Moxolahuac
FT	Franjas alternas Intercaladas con frutales	Maíz Tropical - Negro Precoz - Huejo
FT	Franjas alternas Intercaladas con frutales	Maíz Tropical - Negro Precoz- Moxolahuac
FT	Franjas alternas Intercaladas con frutales	Maíz Tropical - Amarillo-2603 - Huejo
FT	Franjas alternas Intercaladas con frutales	Maíz Tropical - Amarillo-2603 - Moxolahuac
FT	Franjas alternas Intercaladas con frutales	Maíz Niebla - Negro Precoz - Huejo
FT	Franjas alternas Intercaladas con frutales	Maíz Niebla - Negro Precoz- Moxolahuac
FT	Franjas alternas Intercaladas con frutales	Maíz Niebla - Amarillo-2603 - Huejo
FT	Franjas alternas Intercaladas con frutales	Maíz Niebla - Amarillo-2603- Moxolahuac
MI	Monocultivo intercalado con frutales	Maíz - Tropical
MI	Monocultivo intercalado con frutales	Maíz - Niebla
MI	Monocultivo intercalado con frutales	Huejotzingo
MI	Monocultivo intercalado con frutales	Abolado
MI	Monocultivo intercalado con frutales	Huejo
MI	Monocultivo intercalado con frutales	Moxolahuac
AD	Franjas alternas no Intercaladas	Maíz Tropical - Negro Precoz
AD	Franjas alternas no Intercaladas	Maíz Tropical - Amarillo-2603
AD	Franjas alternas no Intercaladas	Maíz Niebla - Negro Precoz
AD	Franjas alternas no Intercaladas	Maíz Niebla - Amarillo-2603
MS	Monocultivo sin frutales Intercalados	Maíz Tropical
MS	Monocultivo sin frutales Intercalados	Maíz Niebla
MS	Monocultivo sin frutales Intercalados	Huejotzingo
MS	Monocultivo sin frutales Intercalados	Abolado
MS	Monocultivo sin frutales Intercalados	Huejo
MS	Monocultivo sin frutales Intercalados	Moxolahuac

<sup>†</sup> AT= asociación triple intercalada con frutales; FT= franjas alternas triples intercaladas con frutales; AD= asociaciones dobles no intercaladas con frutales; MI= monocultivo intercalado con frutales; MS=monocultivo sin intercalar.

Cuadro 1.2. Fertilización química de las diferentes especies componentes.

Especies	Elementos mayores		
	Nitrógeno	Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Potasio (K <sub>2</sub> O)
Maíz	160 kg·ha <sup>-1</sup>	60 kg·ha <sup>-1</sup>	30 kg·ha <sup>-1</sup>
Frijol	60 kg·ha <sup>-1</sup>	60 kg·ha <sup>-1</sup>	00 kg·ha <sup>-1</sup>
Calabaza	160 kg·ha <sup>-1</sup>	60 kg·ha <sup>-1</sup>	30 kg·ha <sup>-1</sup>
Durazno <sup>†</sup>	90 g	45 g	90 g
Manzana <sup>†</sup>	83 g	60 g	75 g
Fuentes	Urea	Fosfato Diamónico	Sulfato de Potasio

<sup>†</sup> Las dosis son por año de edad del árbol; son incrementadas hasta el cuarto año.

#### 1.4.5 Diseño y unidad experimental

El diseño experimental utilizado fue bloques completos al azar, con tres repeticiones por localidad. La unidad experimental consistió de 20 m<sup>2</sup> y estuvo constituida por cuatro surcos de 5 m de largo, con las densidades de población ya mencionadas para los cultivos anuales, aunque la parcela útil fue de 8 m<sup>2</sup>. Las distancias de plantación para duraznos fueron de 0.75 m entre árboles por 10 m entre hileras, y para manzanas, de 1 m entre árboles y 14.4 m entre hileras. La franja ocupada por los árboles frutales fue de 4.8 m.

#### 1.4.6 Variables registradas

Durante las etapas de desarrollo vegetativo, floración, fructificación y madurez comercial de las especies anuales se registraron las variables que se mencionan a continuación.

**Maíz:** Teniendo como referente toda la unidad experimental, se registraron los días al 50 % de floración femenina (DDFM) y el rendimiento de grano en 8 m<sup>2</sup> (RENM, kg), ajustado al 14 % de



humedad. En cinco plantas con competencia completa por unidad experimental se midieron las siguientes variables: altura de planta (APM) y de mazorca (AMM) en cm, área foliar de la hoja de la mazorca principal (AFM, en  $\text{cm}^2$ ), longitud (LM) y diámetro de la mazorca (DM) en cm, número de granos por hilera (NGH), peso hectolítrico del grano (PH,  $\text{kg}\cdot\text{hl}$ ) y rendimiento de materia seca de rastrojo por planta (RMSR, kg).

**Frijol:** En cada unidad experimental se registraron los días a floración media (DFMF) y rendimiento de grano (RGF, kg) por  $8 \text{ m}^2$ . En siete plantas por unidad experimental se midieron la altura de planta (APF, cm), el porcentaje de vainas vanas (PVV), porcentaje de grano comercial total (PGC), peso de 25 granos (PSF, g) y área foliar (AFF,  $\text{cm}^2$ ).

**Calabaza:** Con base en la unidad experimental total se calculó el rendimiento de fruto (RFC, kg) en  $8 \text{ m}^2$ . En una muestra de dos plantas por parcela se registraron el número de flores femeninas (NFF), diámetro medio del fruto (DMC, cm), diámetro polar del fruto (DPC, cm) y peso de fruto (PFC, kg). Los grados Brix de la pulpa del fruto (GBC) se determinaron con el empleo de un refractómetro digital marca ATAGO PAL-79S.

#### **1.4.7 Análisis de los datos**

Cada variable se sometió a un análisis de varianza combinado a través de localidades, lo que permitió conocer el efecto de los factores principales, pero también determinar los efectos de la interacción localidad  $\times$  agrosistema. También se aplicó la prueba de comparación de medias de

Tukey, a un nivel de probabilidad de 0.05, mediante el procedimiento GLM del programa SAS 8.0 (SAS Institute, 2002).

Finalmente, se compararon los rendimientos obtenidos en los diferentes agrosistemas evaluados, tomando como referencia los rendimientos obtenidos con el sistema de monocultivo sin intercalar.

## **1.5 Resultados**

De las variables reportadas en el Cuadro 1.3 se observaron diferencias estadísticas entre localidades en el 70 % de las variables analizadas en maíz, en 43 % de las variables de frijol y en 33 % de las variables de calabaza. Estos resultados sugieren que el maíz es más afectado en su comportamiento ante el cambio en el ambiente de producción, el cual está representado por las localidades, respondiendo de manera diferente a las condiciones de clima, suelo y manejo. Lo anterior puede estar relacionado con la plasticidad fenotípica, la cual se refiere a la capacidad del organismo para modificar la expresión de sus características ante cambios en el ambiente (De Witt y Scheiner, 2004). En otros estudios se ha encontrado que la estación de crecimiento afecta el comportamiento de las especies bajo un sistema agroforestal (Bellow, 2004). Por otro lado, tanto el frijol como la calabaza mantuvieron un comportamiento más estable ante el cambio del ambiente de producción.

Cuadro 1.3. Análisis de varianza de tres especies anuales establecidas en dos localidades, bajo diferentes agrosistemas, 2013.

Especie/Variable <sup>†</sup>	Fuente de variación (cuadrados medios)				C.V. <sup>††</sup> (%)
	Localidades (L)	Agrosistemas (A)	Interacción L × A	Error	
<b>Maíz</b>					
Grados de libertad	1	4	4	130	
DFFM	59.72**	22.21 *	19.30ns	8.43	3.1
APM (cm)	237842.52**	2635.13**	820.83 *	317.61	7.3
AMM (cm)	73312.16**	1252.02**	588.04ns	359.29	13.7
AFM (cm <sup>2</sup> )	0.31ns	91267.69**	43408.56**	7911.93	10.4
LM (cm)	110.54**	14.08**	3.57ns	2.74	9.8
DMA (cm)	0.73**	0.42**	0.04ns	0.10	6.3
NGH	536.04**	58.64**	12.28ns	9.69	9.6
PH (kg)	11.92ns	2.59ns	3.93ns	18.03	5.8
RMSR (g)	518.04ns	6632.23**	6176.09**	1068.33	21.6
RENM (kg)	180.93**	10.04**	6.39**	1.22	25.5
<b>Frijol</b>					
Grados de libertad	1	4	4	124	
DFMF	777.10**	6133.60**	596.30**	19.80	4.9
APF (cm)	15755.90**	29356.20**	3397.90**	625.70	20.3
PVV	0.02ns	0.47**	0.05ns	0.02	63.9
PGC	0.33**	0.66**	0.02ns	0.04	29.7
PSF (g)	0.68ns	34.50**	9.60ns	12.55	40.6
AFF (cm <sup>2</sup> )	675.50ns	3110.20**	3672.50 *	343.90	44.4
RGF	0.01ns	0.02ns	0.02ns	0.009	8.7
<b>Calabaza</b>					
Grados de libertad	1	3	3	86	
NFF	32.10ns	77.60ns	82.00ns	64.80	66.9
DMC (cm)	3.55ns	4.56ns	3.45ns	6.99	14.2
DPC (cm)	55.59**	1.09ns	3.14ns	5.92	13.1
PFC (kg)	2.85ns	0.31ns	0.81ns	1.19	36.8
GBC	4.49 *	0.78ns	0.66ns	1.16	25.1
RFC (kg)	4.79ns	26.06**	1.42ns	3.88	41.9

<sup>†</sup> DFFM: días a floración femenina en maíz; APM: altura de planta en maíz; AMM: altura de mazorca en maíz; AFM: área foliar en maíz; LM: longitud de mazorca; DMA: diámetro de mazorca; NGH: número de granos por hilera; PH: peso hectolítrico; RMSR: rendimiento de materia seca por planta en maíz; RENM: rendimiento de grano de maíz; DFMF: días a floración media en frijol; APF: altura de planta en frijol; PVV: porcentaje de vainas vanas; PGC: porcentaje de granos comerciales en frijol; PSF: peso de 100 semillas en frijol; AFF: área foliar en frijol; RGF: rendimiento de frijol; NFF: número de flores femeninas en calabaza; DMC: diámetro ecuatorial en fruto de calabaza; DPC: diámetro polar en fruto de

calabaza; PFC: peso de fruto de calabaza; GBC: grados Brix en fruto de calabaza; RFC: rendimiento de fruto de calabaza. †† C.V: Coeficiente de variación. \*=  $P \leq 0.05$ ; \*\*=  $P \leq 0.01$ ; ns= no significativa.

En el mismo Cuadro 1.3 se observa que existieron diferencias estadísticas entre los agrosistemas bajo los cuales se establecieron las tres especies anuales. Tales diferencias se encontraron en el 90 % de las variables de maíz, en el 85 % de las variables de frijol y en 17 % de las variables de calabaza, indicando con ello que maíz y frijol fueron más afectados por el cambio de ambiente (representado en este caso por los diferentes agrosistemas) que calabaza.

La información anterior es importante en dos sentidos: el primero de ellos es que se manifiesta un comportamiento diferencial de las especies anuales dentro de los agrosistemas bajo los cuales fueron establecidas; el segundo es que el efecto de las condiciones del agrosistema bajo las que se desarrollan el maíz, frijol y calabaza, es diferente para cada una de ellas. Así, el maíz es más afectado por las variaciones del agrosistema, por lo que responde con incrementos o decrementos en sus variables agromorfológicas en función del sistemas de producción en el que se ubique. Frijol y calabaza mostraron una mayor estabilidad, sugiriendo con ello que la expresión de algunas de sus características se vio menos afectada por el agrosistema del cual formaron parte, posiblemente a causa de una mayor capacidad de amortiguamiento ante cambios en competencia por nutrientes, microclima y espacio.

Finalmente, se observó que la interacción localidad  $\times$  agrosistema se presentó en algunas variables medidas en maíz y frijol, pero no en las variables registradas en calabaza. Conviene mencionar que el efecto de la interacción localidad  $\times$  agrosistema fue similar tanto para maíz como para frijol, manifestándose en el 40 % de las variables registradas en cada especie (Cuadro 1.3).

En el Cuadro 1.4 se muestran los resultados de la comparación de medias para las tres especies anuales. Se observa que a nivel de localidad la expresión de las variables evaluadas en las tres especies fue mayor en Chiautzingo que en Calpan y que, consecuente con el análisis de varianza, esas diferencias fueron más marcadas en maíz que en frijol y calabaza. Así, en maíz se observó una mayor precocidad en la localidad de Chiautzingo, con un mayor porte de la planta, aunque el área foliar fue similar en ambas localidades; sin embargo, las características de mazorca y los rendimientos de rastrojo y de grano fueron superiores en la localidad de Chiautzingo. En frijol, en aquellas variables en las cuales hubo diferencias entre localidades (entre las que quedó incluido el rendimiento de grano), la expresión fue superior en Chiautzingo, excepto para el área foliar (Cuadro 1.4). En calabaza, numéricamente la expresión de las variables fue superior en Chiautzingo; sólo en el caso de diámetro polar del fruto la diferencia fue estadísticamente significativa a favor de Chiautzingo (Cuadro 1.4).

En relación con la comparación entre agrosistemas, haciendo un análisis similar al anterior y retomando individualmente a cada especie anual, en el Cuadro 1.4 se puede observar que para maíz, el agrosistema de franjas alternas no fue superior estadísticamente al de asociación de las tres especies en la expresión de las características analizadas. También se puede notar que en el agrosistema del monocultivo sin intercalar, el 60 % de las variables mostró un comportamiento estadísticamente inferior con respecto a los agrosistemas de asociación triple y al de franjas alternas.

Cuadro 1.4. Comparación de medias en tres especies anuales establecidas en dos localidades, bajo diferentes agrosistemas, 2013.

Especie/ Variable†	Localidad		DHS††	Agrosistema					DHS
	Calpan	Chiautzingo		Asociación triple intercalada	Franjas alternas intercaladas	Franjas alternas dobles no intercaladas	Monocultivo intercalado	Monocultivo sin intercalar	
<b>Maíz</b>									
DFFM	95.2a	93.7b	2.8	94.1ab	94.0b	95.2ab	93.9b	96.6a	2.5
APM (cm)	195.9b	290.0a	5.9	248.7a	242.9a	225.5b	254.6a	243.1a	15.6
AMM (cm)	110.2b	166.5a	6.3	142.5a	138.4ab	125.9b	143.1a	142.2ab	16.6
AFM (cm <sup>2</sup> )	846a	862a	29	841ab	914a	793b	872a	773b	78
LM (cm)	16.0b	17.9a	0.5	16.8ab	17.6a	16.5ab	17.1a	15.4b	1.4
DMA (cm)	4.80b	4.93a	0.1	4.89ab	4.94ab	4.73bc	5.01a	4.62c	0.27
NGH	30.3b	34.4a	1.03	32.8a	33.3a	30.9ab	32.7a	29.1b	2.7
PH (kg)	73.9a	73.2 a	1.4	73.9a	73.5a	73.4a	73.1a	73.6a	3.7
RMSR (g)	145b	157a	10	156a	163a	125b	149ab	137ab	29
RENM(kg)	2.89b	5.81a	2.79	4.03ab	4.74a	4.93a	4.08ab	3.13b	0.97
<b>Frijol</b>									
DFMF	88.9b	94.0a	1.5	104.9a	77.4b	79.9b	104.2a	106.7a	3.9
APF (cm)	114.7b	132.0a	8.9	161.7a	94.6cd	91.5d	138.5ab	117.0bc	24.5
PVV	0.27a	0.22a	0.06	0.12b	0.38a	0.36a	0.16b	0.12b	0.15
PGC	0.62b	0.76a	0.07	0.83a	0.52b	0.57b	0.86a	0.79a	0.2
PSF (g)	8.93a	8.525a	2.8	8.48a	9.46a	9.71a	6.64a	6.71a	3.58
AFF (cm <sup>2</sup> )	50.31a	33.26b	7.02	48.55ab	29.06c	31.62bc	51.09a	58.67a	18.79
RGF	0.18a	0.17a	0.09	0.24a	0.11a	0.14a	0.17a	0.26a	0.26
<b>Calabaza</b>									
NFF	13.04a	10.94a	3.1	10.6a	12.7a		15.5a	12.3a	7.0
DMC (cm)	18.8a	18.5a	1.1	18.3a	18.5a		20.4a	18.8a	2.5
DPC (cm)	17.7b	19.3a	1.0	18.4a	18.4a		19.1a	18.4a	2.3
PFC (kg)	2.8a	3.1a	0.5	2.9a	2.9a		3.6a	3.0a	1.0
GBC	4.1a	4.5a	0.5	4.2a	4.2a		4.7a	4.7a	1.0
RFC (kg)	4.7a	4.7a	0.8	4.1ab	5.9a		4.4ab	3.4b	1.9

† DFFM: días a floración femenina en maíz; APM: altura de planta en maíz; AMM: altura de mazorca en maíz; AFM: área foliar en maíz; LM: longitud de mazorca; DMA: diámetro de mazorca; NGH: número de granos por hilera; PH: peso hectolítrico; RMSR: rendimiento de materia seca por planta en maíz; RENM: rendimiento de grano de maíz; DFMF: días a floración media en frijol; APF: altura de planta en frijol; PVV: porcentaje de vainas vanas; PGC: porcentaje de granos comerciales en frijol; PSF: peso de 100 semillas en frijol; AFF: área foliar en frijol; RGF: rendimiento de frijol; NFF: número de flores femeninas en calabaza; DMC: diámetro ecuatorial en fruto de calabaza; DPC: diámetro polar en fruto de calabaza; PFC: peso de fruto de calabaza; GBC: grados Brix en fruto de calabaza; RFC: rendimiento de fruto de calabaza.

†† DHS: diferencia honesta significativa (Tukey  $\alpha = 0.05$ ). Medias con la misma letra en hileras y por localidad y agrosistema son iguales estadísticamente.

En frijol, de manera general, el comportamiento de las variables fue superior en el agrosistema de asociación triple respecto al de franjas alternas intercaladas, lo cual puede atribuirse al mayor desarrollo exhibido por los frijoles de guía (dado su hábito de crecimiento) en la asociación respecto a los de semiguía empleados en franjas alternas. Conviene mencionar que, de acuerdo con los valores presentados en el Cuadro 1.4, el frijol de guía se desempeñó bien en la asociación pues, estadísticamente, su comportamiento prácticamente no difirió del de los monocultivos respectivos.

Por último, para calabaza (Cuadro 1.4), el rendimiento de fruto en el agrosistema de franjas alternas intercaladas resultó ser numéricamente superior a la asociación triple, pero ambos fueron estadísticamente superiores al obtenido en monocultivo sin intercalar. En el resto de las variables no hubo diferencias que favorecieran a alguno de los agrosistemas. Estos resultados indican que los caracteres agromorfológicos en calabaza no se alteraron significativamente al modificar los agrosistemas de producción pero que tienen un efecto preponderante en los sistemas de policultivo, ya que en campo se observó que el crecimiento e incremento en el número de guías de calabaza inhibió o suprimió el crecimiento de malezas cuando se cultivó con las otras especies y fue profuso en monocultivo. Estas observaciones coinciden con los trabajos de Fujiyoshi *et al.* (2007) quienes determinaron supresión de maleza en cultivos de calabaza intercalada en maíz; y la descripción del sistema milpa documenta por Aguilar *et al.* (2003).

Un punto importante en este análisis era la comparación del rendimiento alcanzado por las especies anuales maíz, frijol y calabaza en los diferentes agrosistemas. En este sentido, en el Cuadro 1.4 se observa que tanto en maíz como en calabaza, los rendimientos más altos se

obtuvieron en los agrosistemas de franjas alternas (no intercaladas o intercaladas), aunque estadísticamente ambos fueron iguales al alcanzado por tales especies en la asociación triple intercalada. Los rendimientos más bajos se presentaron en el monocultivo sin intercalar. En el caso de frijol, las tendencias fueron similares en los dos tipos empleados, pues en el de semiguía, el rendimiento se mantuvo prácticamente igual en las dos variantes de franjas alternas en las que se utilizó (intercaladas y no intercaladas), mientras que en el de guía, estadísticamente la producción se mantuvo constante en los diversos agrosistemas en que participó (monocultivo intercalado o sin intercalar y asociación triple).

Como parte de la investigación, también interesaba conocer el comportamiento relativo del rendimiento de cada especie estudiada a través de agrosistemas con respecto al monocultivo sin intercalar. De acuerdo con la información del Cuadro 1.5, el aspecto a resaltar es que tanto en maíz como en calabaza, el comportamiento en rendimiento fue superior en cualquiera de los agrosistemas diferentes al monocultivo sin intercalar. En cambio, en frijol de guía, el rendimiento de cualquiera de los agrosistemas estudiados fue inferior al ser comparado con el monocultivo sin intercalar (aunque estadísticamente, la variación no fue significativa). El rendimiento obtenido en el agrosistema de asociación triple fue el que más se acercó al monocultivo sin intercalar. En frijol de semiguía, la intercalación con frutales resultó en una disminución de la producción de grano por planta (aunque no alcanzó a ser estadísticamente significativa). En maíz, porcentualmente el rendimiento fue superior en el agrosistema de franjas alternas no intercaladas, fue seguido por el de franjas alternas intercaladas, el monocultivo intercalado y finalmente por el de la asociación triple. Finalmente, en calabaza, nuevamente el



rendimiento fue superior en los agrosistemas distintos al de monocultivo sin intercalar, con el máximo rendimiento en franjas alternas intercaladas.

Cuadro 1.5. Cambios porcentuales en el rendimiento promedio por planta de tres especies anuales establecidas bajo diferentes agrosistemas. Puebla, México, 2013.

Especie	Rendimiento en el Agrosistema (%)				
	Asociación triple intercalada	Franjas alternas intercaladas	Franjas alternas no intercaladas	Monocultivo intercalado	Monocultivo sin intercalar <sup>†</sup>
Maíz	129	151	158	130	100
Frijol de guía	88	.	.	69	100
Frijol de semiguía	.	79	100	.	.
Calabaza	121	174		129	100

<sup>†</sup> Para maíz, frijol de guía y calabaza, el rendimiento del monocultivo sin intercalar es el punto de comparación y representa el 100 %.

## 1.6 Discusión

De manera general, puede señalarse que tanto el maíz como el frijol y la calabaza tuvieron un buen comportamiento agronómico (el cual, en varios casos, fue estadísticamente superior al observado en los monocultivos respectivos) cuando formaron parte de algún agrosistema de policultivo (franjas alternas o asociación). También resalta el hecho de que, numéricamente, el agrosistema de franjas alternas (particularmente el intercalado con árboles frutales) superó en varias características (Cuadro 1.4) al de asociación triple, aunque estadísticamente tales diferencias no fueron significativas. Lo anterior confirma el hecho de que el sistema de franjas alternas –aplicado a cultivos anuales– agronómicamente representa diversas ventajas (Cortes *et al.*, 2005), pero también sugiere que la asociación triple puede ser un arreglo susceptible de incorporarse en el sistema de Milpa Intercalada con Árboles Frutales.

Analizando más en detalle los resultados observados en el presente estudio para el agrosistema de asociación triple intercalada con frutales se encuentra que éstos difieren de los reportados por Davis y Gracias (1983) quienes encontraron una reducción en los rendimientos de maíz y frijol al ser cultivados en asociación, o los de Bellow (2004) y Francis *et al.* (1976), quienes señalaron que los rendimientos tanto del maíz como del haba se redujeron al ser intercalados con árboles de pera y que el maíz disminuyó su rendimiento al asociarse con el frijol. En esta investigación, los rendimientos por planta de maíz y frijol de guía no disminuyeron en la asociación con respecto al monocultivo (intercalado o sin intercalar), lo cual puede deberse a que se complementaron mejor o a que no hubo efectos de competencia importantes entre ambas especies (y de éstas con la calabaza), situación atribuible a lo que Aguilar *et al.* (2003) definen como efectos complementarios entre cultivos. Al respecto, conviene señalar que el porte del maíz asociado (248 cm) fue mayor que el del frijol (161 cm) y que éste apenas creció por arriba de la inserción de la mazorca (142.5 cm), lo cual evitó una obstrucción importante del estrato foliar que más aporta al llenado de grano en maíz, que es el ubicado por arriba de la mazorca (Tanaka y Yamaguchi, 1972). El frijol por su parte, pudo verse beneficiado del soporte (y sombreado) proporcionado por el maíz. En este sentido, los resultados concuerdan con lo reportado por Godoy *et al.* (2011), quienes encontraron un mejor comportamiento en rendimiento de variedades de frijol cuando éstas se cultivaron asociadas con maíz. Cabe mencionar que un aspecto a tener presente en el análisis del comportamiento del frijol bajo asociación es el hecho de que éste depende, en parte, del hábito de crecimiento de aquél (Lépiz, 1974).

En frijol de semiguía, porcentualmente el rendimiento sí se vio afectado al pasar del agrosistema de franjas alternas no intercaladas al de franjas alternas intercaladas con frutales, situación que

podría atribuirse a la mayor competencia registrada entre especies en el segundo agrosistema (pues estaban presentes tanto la calabaza como los frutales); resultados similares fueron descritos por Bellow (2004) quien encontró que ante la presencia de frutales, la leguminosa (haba en su estudio) sufrió una mayor reducción en rendimiento bajo el cultivo intercalado.

El mejor comportamiento de la calabaza en cuanto a rendimiento en los agrosistemas de franjas alternas y de asociación triple con respecto al monocultivo sin intercalar coincide con lo encontrado en otros trabajos sobre el sistema de milpa intercalada con árboles frutales en los que se demuestra que la siembra de cultivos anuales en franjas alternas intercalados con frutales presenta diversas ventajas en comparación con los monocultivos (Cortés *et al.*, 2005). En el caso específico de la calabaza, lo observado puede atribuirse al hecho de que, debido a su hábito de crecimiento, es una especie que está adaptada a crecer bajo condiciones de sombreado, situación que se reproduce cuando es asociada con otras especies como el maíz y el frijol. Por otra parte, la calabaza es una especie con fotosíntesis tipo C<sub>3</sub>; de acuerdo con Moss (1984), las plantas con este mecanismo alcanzan la saturación por luz a aproximadamente ¼ de la intensidad de luz solar presente a mediodía, por lo que es de esperarse que la calabaza, de manera natural, esté adaptada a crecer en bajos niveles de luminosidad.

Los resultados aquí expuestos demuestran que tanto el maíz como la calabaza rinden más cuando son sembrados de manera simultánea en pequeñas unidades de producción, lo que genera un excedente de alimentos para el auto abasto alimenticio de las familias de pequeños agricultores. Si bien los rendimientos de frijol fueron menores en los sistemas de policultivo, aquéllos se vieron compensados por los de las otras dos especies. Al respecto, Gil-Muñoz *et al.* (2000)

comentan que en asociación, la reducción de los rendimientos de una de las especies (maíz o frijol), se ve compensada por el incremento en rendimiento de la otra especie. También se puede concluir que las siembras asociadas agronómicamente son más ventajosas que las siembras solas, por lo que representan una buena alternativa para el uso de los recursos del agricultor por presentar una mayor estabilidad en el aprovechamiento de las condiciones variables del medio ambiente.

## **1.7 Conclusiones**

Estadísticamente, el comportamiento del maíz y la calabaza en la triple asociación no difirió del observado en franjas alternas cuando ambos agrosistemas formaron parte del sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales. En el caso del frijol, aun cuando hubo diferencias en diversos caracteres entre los dos agrosistemas mencionados, atribuibles en gran medida al hábito de crecimiento de los materiales empleados en cada caso, en términos de rendimiento agronómico no hubo variación importante. Por lo anterior, y considerando que la asociación de cultivos ha sido practicada desde hace mucho tiempo por los agricultores tradicionales, se concluye aquélla representa una modalidad que puede favorecer una mayor adopción del sistema MIAF.

## **1.8 Literatura citada**

Aguilar J., Illsey C. y Marielle C. (2003). Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos.

*In:* G. Esteva y C. Marielle (Coord.). Sin Maíz No Hay País. Dirección General de

Culturas Populares e Indígenas, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México, D. F. pp. 83-122.

Altieri M. A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74:19-31

Bellow J. (2004). Fruit-Tree-Based agroforestry in the western highlands of Guatemala: An evaluation of tree-crop interactions and socioeconomic characteristics. Thesis Dissertation. University of Florida. 235 p. Disponible en: [http://etd.fcla.edu/UF/UFE0003920/bellow\\_j.pdf](http://etd.fcla.edu/UF/UFE0003920/bellow_j.pdf)

Cortés F. J. I., Turrent F.A., Díaz P.V., Hernández R. E., Mendoza R. R., y Aceves R. E. (2005). Manual para técnicos: Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF) Caducifolios en Laderas Abruptas. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. pp. 9-12.

Davis J. H., Gracia C.S. (1983). Competitive ability and growth habit of indeterminate beans and maize for intercropping. *Field Crops Research* 6:59-75.

De Foresta H. and Michon G. (1997). The agroforest alternative to *Imperata* grasslands: when smallholder agriculture and forestry reach sustainability. *Agroforestry Systems* 36:105-120

De Witt T.J. and Scheiner S.M. (2004). Phenotypic variation from single genotypes. *In: DeWitt T.J. and Scheiner S.M. (eds.) phenotypic plasticity: Functional and conceptual approaches.* Oxford University Press, New York. pp. 1-9.

Fassbender H.W. (1987). Modelos edafológicos de los sistemas de producción agroforestales. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (CATIE). Turrialba. Costa Rica. Serie Materiales de Enseñanza, Núm. 29. 491 p.

Francis C. A. (1986). Distribution and importance of multiple cropping. *In: C. A. Francis (ed.). Multiple cropping systems.* MacMillan. New York. pp. 1-19

Francis C. A. (1989). Biological efficiencies in multiple cropping system. *Critical Reviews in Plant Sciences.* 3:9-41.

Francis C.A, Flor C.A. y Proger M. (1976). Contrastes agroeconómicos entre el monocultivo de maíz y la asociación maíz frijol. En VII Reunión de maiceros de la Zona Andina, Guayaquil, Ecuador. Centro Internacional de Agricultura Tropical Cali Colombia. p. 27.

Francis C.A., Prager M. y Tejada G. (1982). Density interactions in tropical intercropping. I. Maize and climbing bean. *Field Crop Research* 5:163-176.

Fujiyoshi P. T., Gliessman S. R. and Langenheim J. H. (2007). Factors in the suppression of weeds by squash interplanted in corn. *Weed Biology and Management* 7:105-114

Gil-Muñoz A., J. Kohashi-Shibata, Muñoz O. A. (2000). Estudio preliminar *in situ* de la asociación maíz (*Zea mays* L.) - frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en el valle de Puebla. Revista Chapingo. Serie Ingeniería Agrícola. 3(1):11-16.

Godoy L. M., Díaz G. C., Vásquez M.E., Defaz D., González O. B. (2011). Evaluación de dos variedades de fréjol durante tres épocas de siembra bajo sistema de cultivo asociado con maíz. Unidad de Investigación Científica y Tecnológica Quevedo. Ciencia y Tecnología. 4(1): 5-11

Gutiérrez M. A., C. E. Aguilar J., J. Galdamez, S. Mendoza-Pérez y F. B. Martínez A. (2007). Impacto Socioeconómico de los Sistemas de Policultivos Maíz-Frijol-Calabaza en la Frailesca, Chiapas, México. I Seminario de Cooperación y Desarrollo en Espacios Rurales Iberoamericanos Sostenibles e Indicadores. Almería, España. 16-17 Octubre, 2007.

Harwood, R. R. (1987). Agroforestry and mixed farming systems. *In*: Lugo, A.E., J.R., Clark, y R. D., Child. (eds). Ecological development in the humid tropics, guidelines for planners. Winrock International, Institute for Agricultural Development, Morrilton, Arkansas, USA

INEGI (2003). Instituto Nacional de Estadística y Geografía e informática (INEGI). Catálogo de nombres geográficos. Disponible en:  
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/nomgeo/default.aspx> (Consultado el 14 de marzo de 2015).

Jiménez-Osornio J. J.; Ruenes M. M. del R. and Aké G. A. (2004). Mayan home gardens: sites for *in situ* conservation of agricultural diversity. *In*: D. I. Jarvis, R. Sevilla-Panizo, J. L. Chávez-Servia and T. Hodgkin (eds). Seed systems and crop genetic diversity on-farm. Proceedings of a Workshop, 16-20 September 2003, Pucallpa, Peru. International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). Rome, Italy. pp. 9-15.

Lépiz I.R. 1974. Asociación de cultivos maíz frijol. Folleto técnico No. 58. SAG Secretaría de Agricultura y Ganadería. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. INIA México.

Mead R. and Willey R. W. (1980). The concept of a “Land Equivalent Ratio” and advantages in yield from intercropping. *Experimental Agriculture* 16:217-228.

Marchiol L., Miceli F., Pinoso M. and Zerbi G. (1992). Intercropping of soybean and maize for silage in Northern Italy: effects of nitrogen levels and plant density on growth, yield and protein content. *European Journal of Agronomy* 3: 207-211.

Moss D. L. (1984). Photosynthesis, Respiration, and Photorespiration in Higher Plants. *In*: M. B. Tesar (Ed.) *Physiological basis of crop growth and development*. The American Society of Agronomy and the Crop Science Society of America. Wisconsin, USA. pp. 131-152

Sarukhán J., Koleff P., Carabias J., Soberón J., Dirzo R., Llorente-Bousquets J., Halffter G., González R., March I., Mohar A., Anta S. y de la Maza, J. (2009). Capital natural de



México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 104 pp.

SAS Institute (2002). SAS Procedures Guide Ver. 8. SAS Institute Inc., Cary, N. C., USA. 1643 p.

Tanaka, A. y Yamaguchi, J. (1972). Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano en maíz. J. Kohashi-Shibata (Trad.). Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. 124 p.

Trenbath B.R (1976). Plant interactions in mixed crop communities In: R. I Papendick, A sanchez and G.B Triplett (eds.). Multiple cropping. Amer. Soc. Agron. Especial Publication 27. Pp. 129-170.

Van Dusen M. E. (2000). *In Situ* Conservation of Crop Genetic Resources in the Mexican Milpa System. Thesis Dissertation. University of California, Davis, USA. 135 p. Available from: <http://purl.umn.edu/11941> (Accessed 14 March 2015).

Vandermeer J H (1989). The ecology of intercropping [Online]. Cambridge University Press. Cambridge. Available from: Cambridge Books Online. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9780511623523> (Accessed 14 March 2015).

Willey R.W. y Osiru D. S. (1972). Studies on mixture of maize and beans with particular reference to plant populations. *J. Agric. Sci.* 79:519-529.

Willey R.W. (1979). Intercropping its importance and its research needs. Part I. Competition and yield advantages. *Field Crops Abstracts* 32:1-10.

## CAPÍTULO II

### EFICIENCIAS PRODUCTIVAS DE ASOCIACIONES DE MAÍZ, FRIJOL Y CALABAZA (*Cucurbita pepo* L.), INTERCALADAS CON ÁRBOLES FRUTALES

#### 2.1 Resumen

El agrosistema Mesoamericano ‘milpa’ es la asociación de maíz, frijol (*Phaseolus* sp.) y calabaza (*Cucurbita* sp.) en el mismo espacio y tiempo, se caracteriza por la producción de una gran diversidad de especies en pequeñas extensiones y tiende a decrecer su uso por efecto de introducciones tecnológicas de monocultivos. En este trabajo, se evaluó el rendimiento y eficiencia productiva de la asociación de maíz, frijol y calabaza intercalada con frutales en dos localidades de Puebla, México; a través de 32 tratamientos agrupados en tres agrosistemas: asociaciones maíz-frijol-calabaza intercaladas con frutales, asociaciones dobles maíz-frijol sin frutales, y monocultivos con y sin frutales intercalados, distribuidos en bloque al azar con tres repeticiones. En el análisis de varianza se detectaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre localidades de evaluación, agrosistemas y tratamientos basados en asociaciones y monocultivos, en rendimiento de grano y razón equivalente de terreno (RET), y en índice comparativo de rendimiento área (ICRA) solo hubo diferencias significativas entre agrosistemas. En estos casos, los agrosistemas de asociaciones triples y dobles difieren significativamente de los sistemas de monocultivos, hasta el punto de duplicar o triplicar los rendimientos por unidad de área y con mayores eficiencias productivas a favor de las asociaciones. En el comportamiento de genotipos-agrosistemas, la interacciones triples en surcos alternos de maíz Tropical o Niebla, frijol Negro o Amarillo y calabaza Huejotzingo o Moxolahuac, presentaron los mayores rendimientos (7.13 a 10.1 kg/8 m<sup>2</sup>) y eficiencias productivas ( $> 2.0$ ). La hilera de frutales intercalados generó un microambiente particular y complementa la productividad del agrosistema, debido a que se asoció de manera significativa y positiva ( $r > 0.3$ ) con las asociaciones triples más eficientes y de mayor eficiencia productiva, tanto en la localidad de San Andrés Calpan con manzana y en San Lorenzo Chiautzingo con durazno.

**Palabras clave:** Eficiencia relativa de la tierra (RET), sistema milpa, policultivos, monocultivo

## 2.2 Abstract

Mesoamerican agrosystem 'milpa' is the association of maize, beans (*Phaseolus* sp.) and squash (*Cucurbita* sp.) at same space and time, which is characterized by production of great species diversity under small areas but currently they are decreasing in planted surface due to technological introductions of monocultures. In this work, the yield and productive efficiencies of the maize, beans and squash, intercropped with fruit trees rows were evaluated in the locations from Puebla, Mexico, throughout 32 experimental treatments clustered in three agrosystems: associations of maize-beans-squash intercropped with fruit trees, double associations maize-beans without fruit trees, and monocultures with and without fruit trees, all distributed under a complete blocks design with threes repetitions. Significant differences were determined ( $p < 0.05$ ) in the analysis of variance among evaluation locations, agrosystems and experimental treatments of associations and monocultures for grain and fruit yields, land equivalent ration (LER), but to comparative yield area index (CYAI) just there was significant differences among agrosystems. In this work, the agrosystems with associations triple and double differ significantly from the monocultures, overpassing double or three time the yields per area unit and major productive efficiencies on favor of associations. In relation with genotype-agrosystems behavior, the triple interactions in alternate rows of Tropical and Niebla maize, Negro or Amarillo beans and Huejotzingo or Moxolahuac squash, presented the highest yields (7.13 a 10.1 kg/8 m<sup>2</sup>) and productive efficiencies ( $> 2.0$ ). The row of fruit tree intercropped integrated a particular microenvironment and complemented the agrosystem productivity due to the fruit trees production was associated significantly and positively ( $r > 0.3$ ) with the production of the most efficient and productive triple associations, as in the San Andres Calpan location with apple trees well as San Lorenzo Chiantzingo with peach threes.

**Palabras clave:** Land equivalent ration (LER), milpa system, policrops, monoculture.

---

<sup>1</sup> Enviado para su posible publicación como artículo científico a la Revista Internacional de Botánica Experimental de Argentina. PHYTON

## 2.3 Introducción

México ocupa una superficie continental aproximada de 198 millones de ha, 14% de ella es apta para la agricultura, se siembran alrededor de 22.1 millones de hectáreas, 72% de la superficie corresponde a cultivos anuales y 28% a cultivos perennes, y maíz es el cultivo más importante con un promedio de 7.48 millones de hectáreas sembradas anualmente. Regularmente, 75% de la superficie sembrada total es de temporal y 25% de riego, donde se cultivan alrededor de 150 especies; en magnitud de superficie sembrada destacan maíz, sorgo y frijol, incluyendo pastos y praderas, con más de 1.8 millones de hectáreas anualmente cada uno (SIAP, 2014). Consecuentemente, el origen principal de los productos consumidos en las zonas urbanas proviene de la agricultura de temporal y de pequeñas parcelas ejidales de cultivo.

Tanto en México como en otros países de América, la agricultura moderna e intensiva se desarrolla en grandes extensiones, tiene como base alto uso de insumos, mayor infraestructura para la producción (p. ej. riego y vías de comunicación), acceso a crédito bancario o el productor cuenta con capacidad de inversión, y también gran parte de los recursos económicos y humanos de las instituciones nacionales de investigación agrícola, se utilizan para la generación de innovaciones tecnológicas encaminadas a mejorar la eficiencia productiva de monocultivos de esos sistemas de explotación comercial o semi-comercial (CEPAL, FAO e IICA, 2013). Obviamente, las metas en los programas y políticas nacionales son incrementar la productividad por unidad de superficie sin ampliar la frontera agrícola (Ekboir *et al.*, 2003; Norton, 2004). En contraposición, diversas evaluaciones de eficiencias productivas en tiempo y espacio, han demostrado que los policultivos y agroforestería superan a los monocultivos, principalmente en los sistemas de producción tradicionales o familiares (Andersen *et al.*, 2007; Malézieux *et al.*,

2009; Bedoussac y Justes, 2011; Mousavi y Eskandari, 2011; Neamatollahi *et al.*, 2013). Aun cuando los monocultivos de exportación crecen en superficie cultivada, la pequeña agricultura campesina o familiar de sistemas mixtos de producción aporta más de la mitad de los alimentos que se consumen en Latinoamérica (Altieri *et al.*, 2014; CEPAL, FAO e IICA, 2013).

El sistema milpa mesoamericano de asociación de cultivos proviene desde la época prehispánica, donde en el mismo espacio y tiempo se producen maíz, frijol, calabaza, vegetales (p. ej. ‘quelites’ como *Amaranthus* sp., *Brassica* sp., *Portulaca oleraceae*, *Chenopodium berlandieri*, etc.) y frutillas (p. ej. tomatillos tipo *Physalis* sp. y *S. lycopersicum*) endémicas de recolección en las parcelas de cultivo; esto último es posible siempre que no se usen herbicidas. En algunos casos se han documentado hasta 50 especies diferentes ya sean cultivadas y silvestres promovidas o auspiciadas. Entre los principales cultivos el maíz sirve de soporte a la planta de frijol la que fija nitrógeno en el suelo y la calabaza disminuye la incidencia de malezas y conserva la humedad del suelo (Aguilar *et al.*, 2007).

Los sistema de policultivo, como el sistema milpa, o diversas variantes actuales, persisten a través del tiempo y se propone como un modelo para diseñar sistemas sustentables de cultivo y resilientes (Gliessman, 2001; Altieri, 2002; Webber *et al.*, 2014) y representan una opción amortiguadora para efectos de cambios climáticos asociados a temperaturas, uso eficiente de agua y desordenes agroecológicos asociados a nuevos paradigmas de plagas y enfermedades de los cultivos (Wang *et al.*, 2010; Arnés *et al.*, 2013; Altieri y Nicholls, 2013). Todo esto refleja el valor de la diversidad de los sistemas agrícolas adaptados a las diferentes ambientes y también que estos sistemas de cultivo contribuyen hasta en un 20 o 25 % del suministro mundial de

alimentos (Altieri, 1999; Altieri *et al.*, 2012). Para algunos países constituyen la principal forma de producción agrícola, como en Colombia, donde 90% del frijol se obtiene en condiciones de asociación, en Brasil 80% y en Guatemala 73% (Francis, 1986). Entre las desventajas que se mencionan para estos sistemas es que existe mayor competencia por los factores de crecimiento, de luz agua y nutrientes del suelo, dificultan la mecanización del sistema y en algunos casos los rendimientos por especie individual resultan más bajos, y solo la practican agricultores de subsistencia (Malézieux *et al.*, 2009; Francis, 1986; Gliessman, 2001). No obstante, las críticas al sistema provienen de los productores y técnicos de visión empresarial comercial y debe entenderse su funcionamiento basado en evidencias, debido a que los sistemas multiespecies o policultivos son complejos, y abren la posibilidad de hacer todas las combinaciones posibles de especies anuales y perenes domesticadas, semidomesticadas y silvestres.

Los métodos y modelos de estudio de sistemas de cultivo multi-especies son diversos y responden a contextos locales en función de la agrobiodiversidad local e introducida, su interacción e interrelación con el medio biofísico y prácticas de manejo realizadas por el agricultor (Mead y Riley, 1981; Malézieux *et al.*, 2009; Neamatollahi *et al.*, 2013). Entre las dificultades encontradas, de sitio a sitio de producción son: identificar las combinaciones más deseables de especies, obtener estimadores confiables de eficiencias y repetibilidad/estabilidad del policultivo comparado contra monocultivo, identificar los genotipos o variedades que generen una combinación más eficiente agronómicamente, determinar las interferencias o aportaciones deseables de especies perennes en combinación con anuales, determinar la estabilidad del agrosistema diseñado con modificaciones de las prácticas agrícolas o ambientes de producción, y en cada situación la pregunta más frecuente, de acuerdo a la situación

particular, qué índice de eficiencia es más robusto para cada caso (Mead y Riley, 1981; Trenbath, 1999; Williams y McCarthy, 2001; Malézieux *et al.*, 2009; Bedoussac y Justes, 2011).

En diversos trabajos se han evaluados dos especies en asociación con diferentes objetivos; por ejemplo, para cuantificar la habilidad competitiva del frijol y maíz asociados (Rezende y Ramalho, 1994), medir la calidad nutricional y culinaria del frijol asociado con maíz (Santalla *et al.*, 1995), como estrategia o enfoque de mejoramiento genético de maíz y frijol asociados (Zimmermann, 1996), comparar la estabilidad del rendimiento de cultivos asociados a través de ambientes (Piepho, 1998), estimar el cambio estacional de humedad en el suelo bajo temporal en asociación maíz-frijol (Ogindo y Walker, 2005), cuantificar la intercepción de radiación solar en maíz-frijol (Awal *et al.*, 2006), cómo el agrosistema afecta los rendimientos de maíz-frijol (Gebeyehu *et al.*, 2006), inhibición del crecimiento de malezas al asociar calabaza con maíz (Fujiyoshi *et al.*, 2007), cuantificar la ventaja de rendimiento y ahorro de agua de maíz-chícharo (Mao *et al.*, 2012) y comportamiento de frijol caupí asociados con maíz (Ewansiha *et al.*, 2014), entre otros aspectos. En todos los caso usan de referencia el índice de relación equivalente de terreno (RET). No obstante, la evaluación de tres especies en asociación aún es poco estudiada, a pesar de que en el sistema milpa Mesoamericano de pequeñas parcelas es común la asociación de maíz, frijol y calabaza (Aguilar *et al.*, 2007). También se comienza a usar el enfoque de agroforestería para siembra, como es el caso del policultivo milpa intercalado con árboles frutales (Bellow *et al.*, 2008; Malézieux *et al.*, 2009). En este contexto, se planteó el objetivo de evaluar el rendimiento y eficiencias productivas de asociaciones triples, dobles y monocultivos (agrosistemas) intercalados con árboles frutales, en dos ambientes de cultivo.



## **2.4 Materiales y métodos**

### **2.4.1 Material genético**

Se utilizaron tres especies anuales maíz, frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y calabaza (*Cucurbita pepo* L.), y de dos a cuatro variedades o poblaciones por especie: en maíz la variedad ‘Niebla’ y la población adaptada ‘Tropical’; en frijol se utilizaron dos poblaciones nativas de Huejotzingo, Puebla denominadas ‘Huejotzingo’ y ‘Abolado’ ambas de crecimiento IV, y dos variedades ‘Negro precoz’ y ‘Amarillo Col-2603’ de crecimiento I; y dos poblaciones nativas de calabaza de Huejotzingo y “Moxolahuac”, Puebla, nombradas como ‘Huejotzingo’ y “Moxolahuac”. Como frutales intercalados en hileras, se utilizaron como referentes constantes las variedades de manzana ‘Agua Nueva’ de 7 años de edad y durazno ‘CP Tardío’ de 4.5 años de edad.

### **2.4.2 Localidades de evaluación y diseño experimental**

La evaluación de sistemas de asociaciones se realizó durante el ciclo agrícola primavera-verano de 2013, en condiciones de temporal en dos localidades del Valle de Puebla, México: San Lorenzo Chiautzingo, Chiautzingo, localizado a 19° 12’ 6’’ LN, 98° 28’ 2’’ LO, 2400 m de altitud, presenta un clima templado subhúmedo (Cwb) con lluvias en verano de mayo a octubre, 845 mm de precipitación media anual, temperatura promedio anual de 14.7 °C con oscilaciones de 2.5 a 25.7 °C, y suelos regosoles y cambisoles, y San Andrés Calpan, Calpan, ubicado a 19° 6’ 13’’ LN, 98° 27’ 48’’ LO, 2382 m de altitud, con clima templado subhúmedo (Cwb) con lluvias en verano de mayo a octubre, precipitación media anual de 968 mm, temperatura media

anual de 14.6 °C con oscilaciones de 2.6 a 25.6 °C, y suelos de tipo regosol y litosol (INEGI, 2000; García, 2004).

En concordancia con la propuesta de valoración de sistemas agrícolas de van Ittersum *et al.* (2008), a través de sus componentes; en este trabajo se utiliza el termino agrosistema para designar al unicultivo y asociaciones de especies anuales de maíz, frijol y calabaza, intercaladas o no con árboles de durazno o manzana, evaluados en dos localidades.

En total se integraron 32 tratamientos experimentales en tres agrosistemas: asociaciones triples, asociaciones dobles y monocultivo. Los tratamientos fueron: ocho asociaciones triples de dos poblaciones o variedades por especie (frijol, maíz y calabaza) sembradas en el mismo surco; ocho asociaciones triples sembradas en surcos alternos, ambas con hileras de frutales intercalados; cuatro asociaciones dobles maíz-frijol, asociaciones de dos variedades por especie sin hileras frutales intercalados, en este caso se usaron variedades de frijol de crecimiento tipo I (mata); seis monocultivos de cada población o variedad, intercalados con frutales; y seis monocultivos sin frutales intercalados (Cuadro 2.1).

Los tratamientos experimentales se distribuyeron en campo como bloques de agrosistemas en franjas, con o sin árboles frutales intercalados en hileras, según el tratamiento, bajo un diseño de bloques al azar con tres repeticiones en cada localidad de evaluación. En San Andrés Calpan, se sembró el 17 de mayo de 2013 y se intercalaron árboles de manzana de la variedad Agua Nueva, 14.5 m de separación entre hileras de árboles con distancia de 1.0 m entre plantas de 7 años de edad. En San Lorenzo Chiautzingo se sembró el 4 de mayo de 2013 con un arreglo semejante al

anterior pero teniendo como referente constante a plantas de durazno de la variedad CP Tardío, 10 m de separación entre hileras de árboles y 1.0 m entre plantas de 3 años de edad. La parcela efectiva considerada para determinar el efecto o eficiencia de las asociaciones y monocultivos constó de 8 m<sup>2</sup> y 4 m<sup>2</sup> en frutales.

Cuadro 2.1. Combinaciones de poblaciones o variedades de cada especie para la integración de los agrosistemas evaluados en San Andrés Calpan y San Lorenzo Chiautzingo, Puebla. Primavera-Verano 2013.

Agrosistemas evaluados	Variedades o poblaciones nativas de cada especie			
	Maíz	Frijol	Calabaza	Frutal <sup>1</sup>
<i>1. Asociaciones triples con árboles frutales intercalados en hilera:</i>				
A. Asociación.	Tropical Niebla	Abolado Huejotzingo	Moxolahuac Huejotzingo	Agua Nueva (manzana) o C.P. Tardío (durazno)
B. Franjas alternas.	Tropical Niebla	Negro Amarillo	Moxolahuac Huejotzingo	
<i>2. Asociaciones dobles sin árboles frutales intercalados:</i>				
Asociaciones maíz-frijol	Tropical Niebla	Negro Amarillo		
<i>3. Monocultivos con o sin árboles frutales intercalados en hilera:</i>				
A. Monocultivos con frutales intercalados	Tropical Niebla	Abolado Huejotzingo	Moxolahuac Huejotzingo	Agua Nueva (manzana) o CP Tardío (durazno)
B. Monocultivos sin frutales intercalados	Tropical Niebla	Abolado Huejotzingo	Moxolahuac Huejotzingo	

<sup>1</sup>En San Andrés Calpan se intercalaron hileras de manzana y San Lorenzo Chiautzingo hileras de durazno.

### 2.4.3 Manejo agronómico y variables evaluadas

La fertilización de los cultivos anuales se hizo utilizando las fórmulas 160-60-30, 60-60-00 y 160-60-30 de N-P-K para maíz, frijol y calabaza, respectivamente. La fertilización en frutales se hizo con las fórmulas 90-45-90 g por árbol de durazno y en manzana 83-60-75 g más 7.5 g de estiércol de bovino por árbol de N-P-K, respectivamente, en ambos caso dos veces por año.

En maíz se cosecharon las mazorcas, se pesó y se estimó el rendimiento de grano por parcela (kg/8 m<sup>2</sup>) mediante correcciones por humedad a 14%, número de plantas efectivas y relación grano/olote (factor de desgrane). En frijol, el rendimiento de grano por parcela (kg/8 m<sup>2</sup>) se corrigió por número de plantas a la cosecha. En calabaza, se cosecharon y pesaron todos los frutos de la parcela (kg/8 m<sup>2</sup>). Finalmente, para estimar el rendimiento en durazno o manzana, se cosecharon a la madurez comercial los frutos y se pesaron para expresar el rendimiento de dos plantas por parcela experimental (kg/4 m<sup>2</sup>).

Con los rendimientos por especie en cada asociación y unicultivo, se estimó la razón equivalente de terreno (RET) con base en la siguientes expresiones adaptadas de Mead y Willey (1980) y Mead y Riley (1981):  $RET = \frac{Y_a}{Y_{aa}} + \frac{Y_b}{Y_{bb}} + \frac{Y_c}{Y_{cc}}$ ,  $RET = \frac{Y_a}{Y_{aa}} + \frac{Y_b}{Y_{bb}}$  y  $RET = \frac{Y_a}{Y_{aa}} \text{ ó } \frac{Y_b}{Y_{bb}} \text{ ó } \frac{Y_c}{Y_{cc}}$  para sistemas de cultivo triple, doble y monocultivo, respectivamente. Dónde:  $Y_a$  es el rendimiento del i-ésimo genotipo maíz en asociación;  $Y_b$  representa el rendimiento del j-ésimo genotipo de frijol en asociación, y  $Y_c$  es el rendimiento del k-ésimo genotipo de calabaza en asociación. En este mismo sentido;  $Y_{aa}$ ,  $Y_{bb}$  y  $Y_{cc}$ , representan el rendimiento promedio por localidad de maíz, frijol y calabaza en monocultivo. Esto es una ponderación del rendimiento promedio de los monocultivos en cada localidad.

El índice comparativo de rendimiento área (ICRA), se estimó con los rendimientos en asociación y monocultivo de los cultivos, mediante la expresión propuesta por de Wit y van den Bergh (1965)  $ICRA = \frac{r(Y_a+Y_b+Y_c)}{(Y_{aa}+Y_{bb}+Y_{cc})}$ ,  $ICRA = \frac{r(Y_a+Y_b)}{(Y_{aa}+Y_{bb})}$  y  $ICRA = \frac{r(Y_a)}{(Y_{aa})} \text{ ó } \frac{r(Y_b)}{(Y_{bb})} \text{ ó } \frac{r(Y_c)}{(Y_{cc})}$ , para calcular el ICRA de las asociaciones triples, dobles y monocultivos. Dónde:  $r$  = número de especies que intervienen en la asociación o coeficiente de compensación. Como en el índice RET, se hizo la

ponderación del estimador mediante el rendimiento promedio de monocultivos ( $Y_{aa}$ ,  $Y_{bb}$  y  $Y_{cc}$ ) en cada localidad.

#### **2.4.4 Análisis estadístico**

Con la información del rendimiento por parcela experimental y las estimaciones de eficiencias productivas, se realizaron análisis de varianzas combinados para probar las diferencias entre localidades de siembra, agrosistemas evaluados e interacción localidades×agrosistemas. También se asumió a los tratamientos (asociaciones y monocultivos) como efectos anidados en agrosistemas. Esto permitió probar las diferencias en la interacción localidades y tratamientos anidados en agrosistemas. Se realizaron comparaciones de medias por el método de Tukey ( $p \leq 0.05$ ) dentro de cada factor e interacción. Complementariamente, para evaluar la relación o influencia del frutal en las triples asociaciones, se estimó la correlación simple de Pearson entre rendimiento de la hilera de árboles adjunta o cercana a la parcela de asociación y rendimiento de cada especie en la asociación e índice de eficiencias productivas, en cada localidad. Todos los análisis estadísticos se realizaron en el paquete estadístico SAS (1999).

#### **2.5 Resultados y discusión**

Se determinaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre localidades de evaluación, agrosistemas y tratamientos basados en asociaciones y monocultivos, en rendimiento de grano y razón equivalente de terreno. En el caso del índice comparativo de rendimiento área sólo hubo diferencias significativas entre agrosistemas. La oscilación entre coeficientes de variación fue de 14.0 a 19.2% (Cuadro 2.2). Estos resultados indican que, el grupo de asociaciones específicas o monocultivos presenta respuestas diferentes en rendimiento y eficiencias productivas en función

del ambiente aunque el comportamiento de los agrosistemas y tratamientos son constantes a través de ambientes.

Cuadro 2.2. Análisis de varianza de rendimiento e índices de eficiencias relativas, en sistemas de asociaciones de cultivos intercalados con frutales.

Fuentes de variación	gl	Rendimiento		RET <sup>1</sup>		ICRA <sup>2</sup>	
		Cuadrados medios	Valores de F	Cuadrados medios	Valores de F	Cuadrados medios	Valores de F
Localidades (L)	1	6.811	31.6**	1.321	21.4**	<0.001	<0.01 <sup>NS</sup>
Rep./localidades	4	0.849	3.9**	0.235	3.8**	0.346	4.1**
Agrosistemas (A)	3	21.194	98.4**	7.576	122.7**	7.527	89.5**
L×A	3	0.080	0.4 <sup>NS</sup>	0.065	1.0 <sup>NS</sup>	0.077	0.9 <sup>NS</sup>
Tratamientos (T)/A	28	0.729	3.4**	0.136	2.2**	0.118	1.4 <sup>NS</sup>
L×T/A	28	0.217	1.0 <sup>NS</sup>	0.064	1.0 <sup>NS</sup>	0.094	1.1 <sup>NS</sup>
Error	124	0.215		0.062		0.084	
Coef. Variación (%)		19.2		14.0		16.6	

<sup>1</sup>RET = razón equivalente de terreno; <sup>2</sup>ICRA = índice comparativo de rendimiento área; <sup>NS</sup>no significativo (p > 0.05); \*significativo a p < 0.05; \*\*significativo a p < 0.01.

El rendimiento experimental promedio de todas las asociaciones y monocultivos fue mayor en San Lorenzo Chiautzingo; también expresó un valor más alto de razón equivalente de terreno (RET), pero ambas localidades presentaron semejante comportamiento en índice comparativo de rendimiento área (ICRA). Los resultados en este sentido muestran que el rendimiento es un carácter complejo y está influenciado por el ambiente de evaluación e influye en las estimaciones del índice RET (Cuadro 2.3). Esta variabilidad está influenciada por tipo de suelo, manejo y clima en el que fueron establecidos los experimentos.

Cuadro 2.3. Promedios de rendimientos e índices de eficiencias productivas por localidades de estudio, agrosistemas e interacción localidades-agrosistemas. Primavera-Verano 2013.

Factores de estudio	Rendimiento (kg/ 8 m <sup>2</sup> )	Razón equivalente de terreno (RET)	Índice comparativo de rendimiento área (ICRA)
<i>Localidades</i>			
San Andrés Calpan	4.45 b <sup>1</sup>	1.97 b	2.32 a
San Lorenzo Chiautzingo	6.60 a	2.69 a	2.23 a
<i>Agrosistemas</i>			
Asociaciones triples + frutales <sup>2</sup>	8.06 a	3.40 a	3.20 a
Asociaciones dobles sin frutales	5.01 b	2.48 b	3.11 a
Monocultivo + frutales	2.51 c	1.03 c	0.82 b
Monocultivo sin frutales	2.07 c	0.69 c	0.71 b
<i>Localidades × agrosistemas</i>			
<i>San Andrés Calpan:</i>			
Asociaciones triples + frutales <sup>2</sup>	6.69 a	2.92 a	3.29 a
Asociaciones dobles sin frutales	4.23 a	2.08 a	3.39 a
Monocultivo + frutales	1.58 a	0.73 a	0.73 a
Monocultivo sin frutales	1.47 a	0.61 a	0.61 a
<i>San Lorenzo Chiautzingo</i>			
Asociaciones triples + frutales <sup>2</sup>	9.42 a	3.87 a	3.11 a
Asociaciones dobles sin frutales	5.80 a	2.88 a	2.83 a
Monocultivo + frutales	3.45 a	1.32 a	0.90 a
Monocultivo sin frutales	2.73 a	0.77 a	0.79 a

<sup>1</sup>En columna, dentro de cada factor, las medias con la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0.05$ ). <sup>2</sup>respuesta promedio de 8 asociaciones en el mismo surco y 8 asociaciones con especies intercalados en surco.

En la comparación del comportamiento promedio de agrosistemas, se determinó una ordenación por complejidad; el mayor rendimiento y RET se obtuvo en las asociaciones triples, después asociaciones dobles y por último los monocultivos. No obstante, en ICRA se observaron dos bloques; primero las asociaciones dobles y triples, las que difirieron significativamente de los agrosistemas de monocultivos integrados con frutales intercalados o sin frutales intercalados (Cuadro 2.3). Esto indica que los monocultivos no superan en rendimiento y eficiencias productivas, medidas a través de RET e ICRA, a las asociaciones dobles o triples, y que la combinación de especies favoreció la producción por unidad de área existiendo una complementariedad entre cultivos. Así, esta razón justifica su uso frecuente entre pequeños

agricultores de Mesoamérica donde prevalece el sistema multicultivo milpa (Aguilar *et al.*, 2007). Aunque se contraponen a la corriente mundial de cultivos intensivos y mecanizados en monocultivo. En este trabajo, no se mostraron interacciones significativas entre localidades y agrosistemas, y muestran indicios de que por regiones de producción es necesario determinar las asociaciones más estables a través de las combinaciones más eficientes en función de las variedades o poblaciones locales, entre otras consideraciones.

La mayor eficiencia mostrada por los sistemas de asociaciones triples intercalados con árboles frutales indica que estos sistemas permiten hacer un uso más eficiente de los recursos de luz, agua y nutrimentos, además con una menor incidencia de plagas y malezas respecto a la siembra de cultivos de manera independiente. El monocultivo presentó un bajo aprovechamiento por unidad de área en comparación con las asociaciones dobles y triples, las cuales tienen más diversidad de productos consumibles. Los resultados anteriores son semejantes a los encontrados por Li *et al.* (2001), Hayder *et al.* (2003) y Dolijanovic *et al.* (2009), en las comparaciones de asociaciones versus monocultivos. Esto es, los policultivos presentaron mayor eficiencia y rendimientos por unidad de área que los monocultivos (Cuadro 2.3), y también sugieren la necesidad de hacer innovaciones tecnológicas a estos sistemas, que redunden en disminución del uso de mano de obra, entre otros aspectos, como lo sugieren CEPAL, FAO e IICA (2013).

En los agrosistemas complejos o múltiples de dos, tres, cuatro o más especies, a medida que se incrementa el número de especies es más difícil separar los efectos individuales de las especies a través de localidades o años de evaluación (Piepho, 1998). En los resultados presentados (Cuadro 2.3), se observa que las asociaciones triples más frutales intercalados en hileras, aunque más



eficientes y de mayor rendimiento por área, tuvieron un bajo rendimiento para una de las especies, frijol en este ensayo como se denota más adelante (Cuadro 2.4), el cual puede ser compensado con incrementos en rendimientos de las otras especies. Las interacciones de localidades y agrosistemas no fueron significativas debido a la alta variabilidad de rendimientos en los agrosistemas en cada ambiente de evaluación. Estos resultados coinciden con los reportados por Gebeyehu *et al.* (2006), en asociaciones de frijol caupí y maíz evaluadas, ya que no obtienen diferencias significativas entre asociaciones a través de años de evaluación. Es decir, no puede describirse con precisión la estabilidad de rendimientos y eficiencias productivas a través de ambientes en asociaciones aun cuando las asociaciones tienen mayor capacidad amortiguadora y competitiva en diferentes ambientes (Rezende y Ramalho, 1994).

Al analizar los resultados en la comparación de tratamientos, esto es genotipos en asociaciones y monocultivos dentro de cada agrosistema, fue evidente la producción de más rendimiento de grano y/o frutos en las asociaciones dobles o triples que en monocultivos. También se observaron diferencias significativas en la aportación de los genotipos evaluados. En las asociaciones triples con siembras de surcos alternos de maíz de las variedades ‘Tropical’ y ‘Niebla’ con las variedades de frijol ‘Amarillo’ y ‘Negro’ más calabaza de ‘Huejotzingo’ o de ‘Moxolahuac’, presentaron los mayores rendimientos, valores de razón equivalente de terreno (RET) e índice comparativo de rendimiento área (ICRA); y difirieron significativamente de las otras asociaciones triples, todas las asociaciones dobles y monocultivos (Cuadro 2.4). Todo esto sugiere que las especies en asociación interactúan de manera positiva para incrementar el rendimiento y uso de recursos como suelo, agua, luz y nutrientes suministrados por la fertilización. En este sentido, Postma y Lynch (2012) indican que en asociaciones dobles maíz-

Cuadro 2.4. Promedios de rendimientos experimentales e índices de eficiencias en cada tratamiento evaluado de asociación o monocultivo, en San Andrés Calpan y San Lorenzo Chiautzingo, Puebla. Primavera-verano 2013. Moxolahuac

Tratamientos dentro de cada agrosistemas evaluado	Rend. experimental (kg/ 8 m <sup>2</sup> )	RET <sup>1</sup>	ICRA <sup>2</sup>
<i>Asociaciones triples maíz-frijol-calabaza con línea de frutales intercalados</i>			
<i>a) Asociaciones en la misma hilera del surco</i>			
Tropical-Abolado-Huejotzingo	7.59 bcd <sup>3</sup>	2.99 abcd	3.15 abc
Tropicall-Abolado Moxolahuac	6.23 de	2.51 abcdef	2.46 cdef
Tropical-Huejotzingo-Huejotzingo	7.75 bcd	3.19 abc	3.47 abc
Tropical-Huejotzingo-Moxolaua	6.73 d	3.69 abc	2.62 bcde
Niebla-Abolado-Huejotzingo	6.75 d	2.84 abcde	2.49 cdef
Niebla-Abolado Moxolahuac	7.65 bcd	3.27 abc	3.00 abc
Niebla-Huejotzingo-Huejotzingo	7.24 cd	3.13 abc	2.94 abcd
Niebla-Huejotzingo- Moxolahuac	7.77 bcd	3.36 abc	3.18 abc
<i>b) Asociaciones en surcos alternos por especie</i>			
Tropical-Negro precoz-Huejotzingo	10.08 a	3.93 ab	4.22 ab
Tropical-Negro precoz- Moxolahuac	9.74 a	4.00 a	4.02 abc
Tropical-Amarillo-Huejotzingo	9.68 a	4.06 a	4.28 a
Tropical-Amarillo-Moxolahuac	7.13 cd	3.16 abc	3.22 abc
Niebla-Negro precoz-Huejotzingo	7.46 bcd	3.25 abc	2.40 cdef
Niebla-Negro precoz Moxolahuac	8.44 abc	3.52 abc	3.20 abc
Niebla-Amarillo-Huejotzingo	9.78 a	3.92 ab	3.36 abc
Niebla-Amarillo-Moxolahuac	8.92 ab	3.59 abc	3.22 abc
<i>Asociaciones dobles maíz-frijol sin hileras de frutales</i>			
Tropical-Negro	5.01 ef	2.48 abcdef	3.22 abc
Tropical-Amarillo	4.22 fgh	2.08 cdefgh	2.65 abcde
Niebla-Negro	6.23 de	3.09 abcd	3.60 abc
Niebla-Amarillo	4.59 efg	2.27 bcdefg	3.00 abcd
<i>Monocultivos con línea de frutales intercalados</i>			
Maíz var. Tropical	3.55 fghi	1.46 defghi	1.02 efg
Maíz var. Niebla	4.60 efg	2.17 cdefgh	1.34 defg
Frijol pob. Abolado	0.13 j	0.24 i	0.24 g
Frijol pob. Huejotzingo	0.19 j	0.36 i	0.36 g
Calabaza pob. Huejotzingo	3.60 fghi	1.06 fghi	1.06 efg
Calabaza pob. Moxolahuac	3.03 ghi	0.88 fghi	0.88 fg
<i>Monocultivos sin frutales</i>			
Maíz var. Tropical	2.58 hi	0.70 ghi	0.70 g
Maíz var. Niebla	3.39 fghi	1.04 fghi	1.04 efg
Frijol pob. Abolado	0.14 j	0.23 i	0.23 g
Frijol pob. Huejotzingo	0.21 j	0.30 i	0.36 g
Calabaza pob. Huejotzingo	4.02 fghi	1.21 efghi	1.21 efg
Calabaza pob. Moxolahuac	2.25 i	0.66 hi	0.66 g

<sup>1</sup>RET = razón equivalente de terreno; <sup>2</sup>ICRA = índice comparativo de rendimiento área; <sup>3</sup>En columna, los promedios con la misma letra no presentan diferencias estadísticas significativas (Tukey,  $p < 0.05$ ).

frijol o triples maíz-frijol-calabaza, se generan diferentes estructuras radiculares ramificadas tanto en extensión como en profundidad lo que les permite, a cada especie, explorar diferentes áreas del suelo. Ghanbary and Lee (2002) reportan que la producción de materia seca en trigo y frijoles asociados fueron mayores que en monocultivo y otros estudios también corroboran la afirmación de que existe mayor producción y productividad en asociaciones que en monocultivos (Martin y Snaydon, 1982).

Las diferencias significativas en rendimiento e índices de eficiencia, entre asociaciones dobles y asociaciones triples, denotan de manera evidente la aportación significativa que tiene el rendimiento de la calabaza a mejorar las eficiencias productivas por unidad de área en las asociaciones triples. La relación de rendimiento de los cultivos asociados respecto al rendimiento promedio de monocultivos, medido a través del RET, indica que tanto las asociaciones dobles como triples superan sustancialmente a los monocultivos sea que se siembren con hileras intercaladas de frutales o no (Cuadro 2.5). La comparación de rendimiento y eficiencias productivas entre monocultivos denota que la mayor aportación proviene del maíz. En ese sentido los resultados muestran que solo en los monocultivos de maíz y calabaza las eficiencias productivas son cercanas a la unidad respecto al rendimiento promedio general de la especie. Esto no sucede con el frijol, y sugiere que esta especie necesita de la asociación con maíz, principalmente en los de crecimiento indeterminado, para que la planta de maíz funcione como tutor, y así obtener mayores rendimientos por planta y unidad de área. Este efecto también lo sugieren diversos trabajos donde evaluaron la eficiencia productiva de la asociación maíz-frijol (Rezende y Ramalho, 1994; Ogindo y Walker, 2005; Gebeyehu *et al.*, 2006).

Cuadro 2.5. Promedios de rendimientos experimentales e índices de eficiencias en cada tratamiento evaluado de asociación o monocultivo por localidades. Primavera-verano 2013.

Tratamientos dentro de cada agrosistema evaluado	San Andrés Calpan			San Lorenzo Chiautzingo		
	Rend. <sup>1</sup>	RET <sup>2</sup>	ICRA <sup>3</sup>	Rend.	RET	ICRA
<i>Asociaciones triples maíz-frijol-calabaza con línea de frutales intercalados:</i>						
<i>a) Asociaciones en el mismo surco</i>						
Tropical-Abolado-Huejotzingo	5.98	2.41	3.26	9.21	3.56	3.04
Tropical-Abolado- Moxolahuac	3.72	1.32	2.03	8.73	3.71	2.88
Tropical-Huejotzingo-Huejotzingo	8.45	3.97	4.61	7.06	2.40	2.33
Tropical-Huejotzingo-Moxolaua	3.72	3.27	2.03	9.73	4.10	3.21
Niebla-Abolado-Huejotzingo	4.74	2.06	2.08	8.77	3.61	2.89
Niebla-Abolado- Moxolahuac	5.11	2.34	2.65	10.18	4.21	3.36
Niebla-Huejotzingo-Huejotzingo	5.05	2.48	2.76	9.43	3.78	3.11
Niebla-Huejotzingo- Moxolahuac	5.72	2.77	3.12	9.81	3.95	3.24
<i>b) Asociaciones en surcos alternos por especie</i>						
Tropical-Negro-Huejotzingo	8.32	3.24	4.54	11.85	4.62	3.91
Tropical-Negro- Moxolahuac	7.51	3.22	4.10	11.96	4.77	3.94
Tropical-Amarillo-Huejotzingo	10.15	4.05	5.54	9.22	4.06	3.04
Tropical-Amarillo- Moxolahuac	8.11	3.31	4.42	6.15	3.01	2.03
Niebla-Negro-Huejotzingo	5.34	2.46	1.65	9.57	4.05	3.15
Niebla-Negro- Moxolahuac	8.37	3.33	3.51	8.50	3.71	2.89
Niebla-Amarillo-Huejotzingo	8.53	3.36	3.14	11.02	4.47	3.59
Niebla-Amarillo- Moxolahuac	8.25	3.21	3.28	9.60	3.97	3.17
<i>Asociaciones dobles maíz-frijol sin frutales</i>						
Tropical-Negro	4.69	2.32	4.00	5.34	2.64	2.43
Tropical-Amarillo	2.90	1.42	2.27	5.55	2.75	3.03
Niebla-Negro	5.46	2.72	4.27	7.01	3.46	2.92
Niebla-Negro	3.88	1.88	3.04	5.30	2.66	2.96
<i>Monocultivos con línea de frutales intercalados</i>						
Maíz var. Tropical	2.06	0.97	0.97	5.04	1.94	1.06
Maíz var. Niebla	2.83	1.34	1.33	6.37	3.01	1.34
Frijol pob. Abolado	0.09	0.21	0.21	0.17	0.27	0.27
Frijol pob. Huejotzingo	0.17	0.39	0.39	0.21	0.33	0.33
Calabaza pob. Huejotzingo	2.52	0.86	0.86	4.67	1.26	1.26
Calabaza pob. Moxolahuac	1.79	0.61	0.61	4.26	1.15	1.15
<i>Monocultivos sin frutales</i>						
Maíz var. Tropical	1.18	0.56	0.56	3.98	0.84	0.84
Maíz var. Niebla	2.46	1.16	1.16	4.32	0.91	0.91
Frijol pob. Abolado	0.00	0.00	0.00	0.28	0.45	0.47
Frijol pob. Huejotzingo	0.09	0.20	0.20	0.32	0.39	0.51
Calabaza pob. Huejotzingo	3.52	1.19	1.19	4.53	1.22	1.22

<sup>1</sup>Rend. = rendimiento de granos o frutos; <sup>2</sup>RET = razón equivalente de terreno; <sup>3</sup>ICRA = índice comparativo de rendimiento por área.

En la interacción específica entre tratamientos (asociaciones y monocultivos) y localidades de evaluación, los promedios de rendimiento, RET e ICRA, no difirieron dentro ni entre

agrosistemas (Cuadro 2.5). Esto indica inestabilidad de rendimiento y eficiencias productivas de una localidad a otra. Aun cuando en San Lorenzo Chiautzingo se presentaron, en general, mayores rendimientos y valores de índices productivos, estos no interaccionaron con una asociación o monocultivo específico. Es decir, aun cuando son mayores las eficiencias productivas (RET e ICRA) en las asociaciones que los monocultivos, el efecto del ambiente es independientes del tratamiento específico. Consecuentemente, los resultados muestran que, en cada ambiente se deben diseñar las combinaciones o asociaciones de genotipos que repercutan en mayor productividad por unidad de área. No obstante, para un pequeño productor resulta ventajoso obtener mayor cantidad de productos diversos por unidad de área, principalmente cuando sus parcelas son pequeñas. Contrariamente, para el agricultor agrocomercial debe valorarse las asociaciones más pertinentes según su sistema de explotación y manejo de cultivos, porque grandes extensiones ( $> 5$  o  $10$  ha) implicarían un manejo diferente, quizás hacia una agricultura diversificada por zonas o sublotos de producción. En cuanto a la eficiencia productiva de los monocultivos a través de los ambientes, los resultados (Cuadro 2.5) muestran que, en los mejores ambientes se incrementa el rendimiento de las especies, aunque pueden estar expuestos a mayores riesgos o incidencia de otros factores aledaños a la parcela de cultivo. En este experimento, se observó cierta influencia del frutal en la mejora de los rendimientos de los monocultivos comparado con las parcelas de especies donde no se intercalaron frutales. Es decir, el microclima que puede generar el frutal hacia los monocultivos ayuda a mejorar su comportamiento productivo, probablemente por interferencia con irradiaciones solares para evitar mayor evapotranspiración o ser una barrera rompevientos.

En San Andrés Calpan, se determinaron correlaciones significativas ( $r > 0.28$ ), entre rendimiento de frijol, calabaza y rendimiento total, razón equivalente en calabaza, razón equivalente total e ICRA, y rendimiento de los árboles de manzana intercalados. En el caso de San Lorenzo Chiautzingo, se calcularon también correlaciones significativas ( $r > 0.28$ ) entre rendimiento de calabaza, rendimiento total, RET de maíz y RET total, y rendimiento de fruto en los arboles intercalados de durazno (Cuadro 2.6). Las diferentes correlaciones significativas entre rendimiento de frutales y rendimientos e índices de eficiencias de las especies individuales o asociadas, indican que hay cierta influencia del frutal en las especies anuales. Es decir, las correlaciones significativas no son debidas al azar. Por ejemplo, el rendimiento de calabaza, rendimiento de la triple asociación y RET total, presentaron correlaciones significativas en ambos ambientes y con frutales diferentes.

Cuadro 2.6. Correlaciones ( $r$ ) entre rendimientos de frutales intercalados y rendimientos experimentales e índices de eficiencia por localidad de evaluación de triples asociaciones. Primavera-Verano 2013.

Rendimientos e índices de eficiencia productiva	Sn. Andrés Calpan (Rend. manzana)	Sn. Lorenzo Chiautzingo (Rend. durazno)
<i>Rendimientos:</i>		
Rendimiento de maíz <sup>1</sup>	0.13 <sup>NS</sup>	0.24 <sup>NS</sup>
Rendimiento de frijol <sup>1</sup>	0.39**	0.08 <sup>NS</sup>
Rendimiento de calabaza <sup>1</sup>	0.42**	0.39**
Rendimiento total de la triple asociación	0.34**	0.33*
<i>Razón equivalente de terreno:</i>		
Razón equivalente de terreno de maíz (RETM)	0.18 <sup>NS</sup>	0.28*
Razón equivalente de terreno de frijol (RETF)	0.13 <sup>NS</sup>	<0.01 <sup>NS</sup>
Razón equivalente de terreno de calabaza (RETC)	0.38**	0.23 <sup>NS</sup>
Razón equivalente de terreno total (RETT)	0.36**	0.36**
Índice comparativo de rendimiento área (ICRA)	0.29**	0.21 <sup>NS</sup>

<sup>1</sup>contribución del rendimiento individual de cada especie a la triple asociación; <sup>NS</sup>no significativo,  $p > 0.05$ ; \*significativos a  $p < 0.05$ ; \*\*significativos a  $p > 0.05$  (t de Student).

En la Figura 2.1a, se grafican las relaciones entre rendimiento de las asociaciones triples, y rendimiento de manzana en la hilera más cercana de frutales, en San Andrés Calpan. En el comportamiento de asociaciones triples se tienen combinaciones que benefician al frutal favoreciendo su productividad de hasta 20 kg/8 m<sup>2</sup>. En este caso las asociaciones triples que presentaron mayor rendimiento de grano y frutas de manzana fueron: la asociación de las variedades y poblaciones ‘Tropical’, ‘Amarillo’ y ‘Moxolahuac’; asociación ‘Tropical’, ‘Negro’ y ‘Huejotzingo’, y asociación ‘Tropical’, ‘Amarillo’ y ‘Moxolahuac’ de maíz, frijol y calabaza, respectivamente, la que corresponde a siembra en surcos alternos. En estas asociaciones, se observó que el maíz ‘Tropical’ y calabaza ‘Moxolahuac’, fueron los genotipos de mayor contribución al rendimiento total de la asociación, y el frijol ‘Amarillo’ o ‘Negro’ de crecimiento tipo I (determinado) fueron más eficientes que los de crecimiento indeterminado (tipo IV).

En términos de eficiencias de las triples asociaciones y su relación el rendimiento de manzana en San Andrés Calpan, se observó que la mayor proporción de asociaciones presentó una RET > 2 e indica que las especies tienen una alta capacidad de asociación y se constata con el hecho de que todas las asociaciones presentaron valores de ICRA > 1.5. Por lo que las triples asociaciones son más ventajosas, en términos de productividad, que los monocultivos. Es decir, a medida que los índices son mayores a uno indica que las asociaciones son más ventajosas por unidad de área que los monocultivos. En este caso, las asociaciones ‘Tropical’-‘Amarillo’-‘Moxolahuac’, ‘Tropical’-‘Negro’-‘Huejotzingo’, ‘Tropical’-‘Negro’-‘Moxolahuac’ (maíz-frijol-calabaza) fueron las que tuvieron mayores valores de ICRA, RET y mayores rendimientos de fruta en las hilera intercalada de manzana (Figura 2.1b). Esta aportación de fruta (> 10 kg/4 m<sup>2</sup>) a la productividad de los agrosistemas de triple asociación no solo incrementa la productividad por unidad de

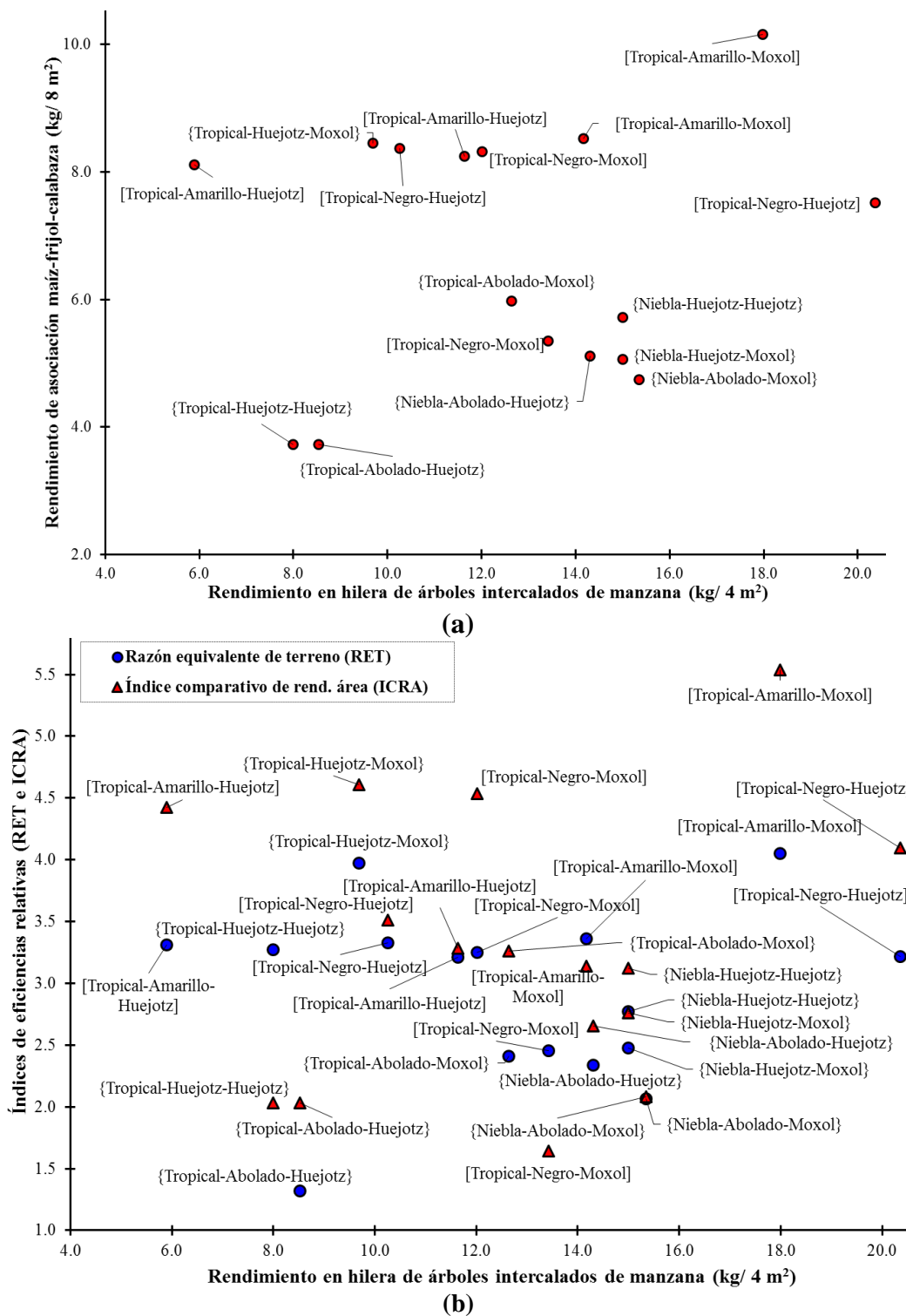
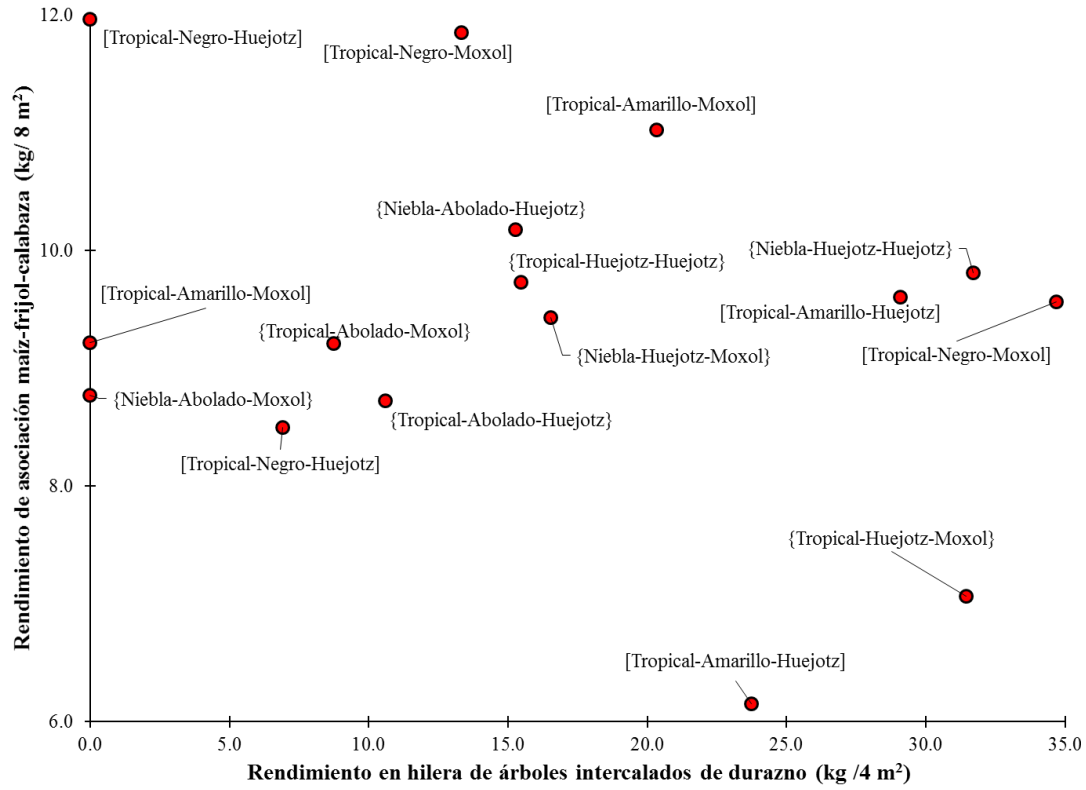


Figura 2.1. Relación entre rendimiento de asociaciones maíz-frijol-calabaza (a), índices de eficiencia productivas (b) y rendimiento de manzana en San Andrés Calpan, Puebla. { } = asociaciones en el mismo surco y [ ] = en surcos intercalados.

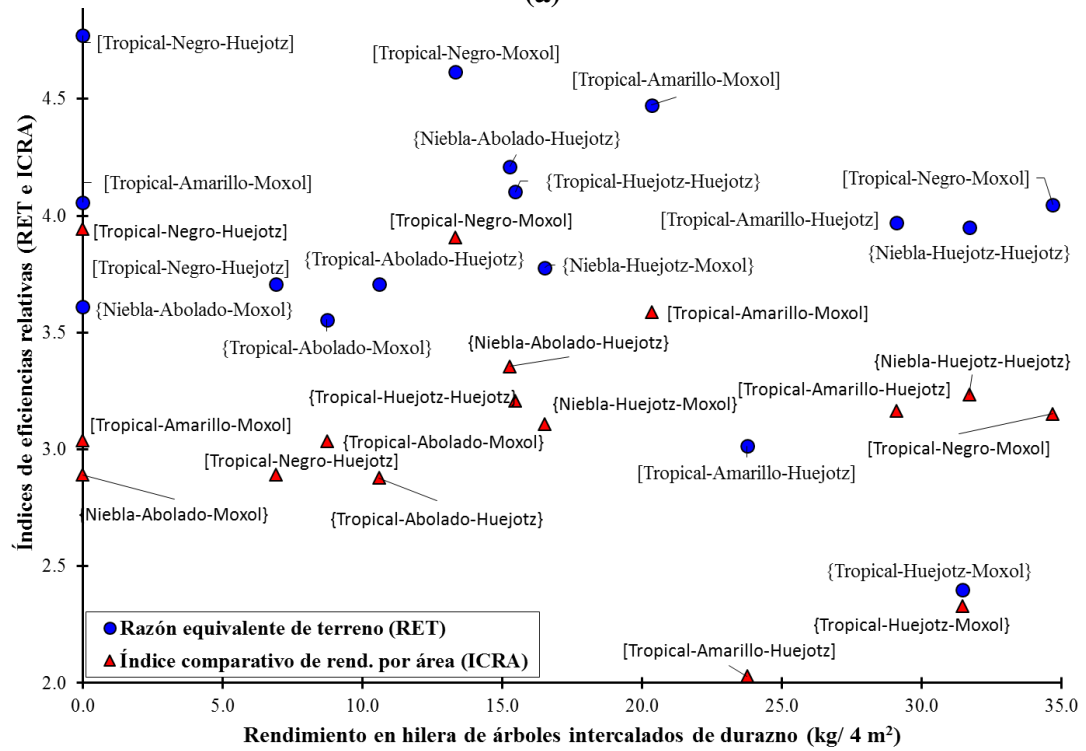


superficie o número de productos sino la agrobiodiversidad en las parcelas de producción, circunstancias que hacen más estable, resiliente y con mayor capacidad de amortiguamiento a los agrosistemas antes los cambios de clima (Altieri *et al.*, 2012; Altieri y Nicholls, 2013; Arnés *et al.*, 2013).

En San Lorenzo Chiautzingo, las asociaciones triples que se relacionaron con hileras de árboles de durazno con mayor rendimiento fueron: ‘Niebla’-‘Huejotzingo’-‘Huejotzingo’, ‘Tropical’-‘Negro’-‘Moxolahuac’, ‘Tropical’-‘Amarillo’-‘Huejotzingo’ y ‘Tropical’-‘Huejotzingo’-‘Moxolahuac’ de variedades o poblaciones de maíz-frijol-calabaza, respectivamente. Las asociaciones más productivas fueron las que se conformaron con surcos alternos de cada especie. En este ambiente nuevamente sobresalió el mayor rendimiento de maíz ‘Tropical’ y calabaza ‘Moxolahuac’. De la misma manera que en la localidad de San Andrés Calpan, el frijol contribuye con muy bajos o nulos rendimientos a la triple asociación (Figura 2.2a). Esto indica, que en estos experimentos el maíz fue el cultivo dominante, después calabaza y en último término, el frijol. También fue evidente que las asociaciones no tan productivas se asociaron con hileras de frutales de mayor rendimiento. Por lo que se corrobora que los agrosistemas de triple asociación e hileras de árboles de durazno presenta ciertas semejanza con los sistemas de agroforestería, en términos de la agrobiodiversidad e interacciones inter e intra-específicas, como lo destacan Bellow *et al.* (2008) y Malézieux *et al.* (2009) al diseñar agroforestería para pequeños agricultores de las regiones subtropicales. Es de remarcar que en este agrosistema de triple asociación fue alta la biomasa producida.



(a)



(b)

Figura 2.2 Relación entre rendimiento de asociaciones maíz-frijol-calabaza (a), índices de eficienciaproductivas (b) y rendimiento de durazno en San Lorenzo Chiantzingo, Puebla. { } = asociaciones en el mismo surco y [ ] = en surcos intercalados.

En términos de las relación de eficiencias productivas y rendimiento de duraznos en San Lorenzo Chiautzingo, se observó que, la razón equivalente de terreno (RET) en todas las asociaciones triples, fue superior a dos e indica que las tres especies interaccionan favorablemente. Así, el índice comparativo rendimiento área (ICRA > 2) reflejó que las asociaciones son ventajosas para el agricultor y particularmente las integradas por las variedades y poblaciones ‘Tropical’-‘Negro’-‘Moxolahuac’, ‘Tropical’-‘Amarillo’-‘Huejotzingo’ y ‘Niebla’-‘Huejotzingo’-‘Huejotzingo’ de maíz-frijol-calabaza, respectivamente. Estas se intercalaron con hileras de frutales que presentaron rendimientos de más de 25 kg/4 m<sup>2</sup>. Cabe destacar también que debido a la heterogeneidad de árboles de durazno en el experimento, en algunos tratamientos de asociaciones, las hileras intercaladas de frutales no presentaron frutos (Figura 2.2b). En estos experimentos, las hileras de árboles frutales se intercalaron cada 10 m y en las hileras de frutales se sembraron los agrosistemas de asociación triple. Por lo que, en términos microambientales se formó un micronicho que no se reflejó de manera directa en los rendimientos de las especies anuales. No obstante, la obtención de un producto más en la misma parcela de cultivo no solo ayudaría a diversificar la producción sino también a la dieta de las familias, como se ha documentado en otros trabajos (Altieri y Trujillo, 1987).

## **2.6 Conclusiones**

En este trabajo se determinó que los agrosistemas de asociaciones triples y dobles, y monocultivos, interaccionan con el ambiente, en relación de rendimientos y razón equivalente de terreno (RET). En estos casos, los agrosistemas de asociaciones triples y dobles difieren significativamente de los sistemas de monocultivos, hasta el punto de duplicar o triplicar los

rendimientos por unidad de área y con mayores eficiencias productivas a favor de las asociaciones. No obstante, la respuesta fue estable a través de localidades de evaluación. Es decir, no hubo diferencias significativas en la interacción localidades-agrosistemas. En el comportamiento de genotipos-agrosistemas, las interacciones triples de maíz ‘Tropical’ o ‘Niebla’, frijol ‘Negro’ o ‘Amarillo’ y calabaza ‘Huejotzingo’ o ‘Moxolahuac’ presentaron los mayores rendimientos y eficiencias productivas. Un patrón constante fue que el maíz es el eje de los agrosistemas porque generalmente aporta el mayor rendimiento, sigue calabaza y por último frijol. La hilera de frutales intercalados aportó un microambiente particular y complementó la productividad del agrosistema porque se asoció de manera significativa y positiva ( $r > 0.3$ ) a las asociaciones triples más eficientes y de mayor eficiencia productiva, tanto en la localidad de San Andrés Calpan con manzana como en San Lorenzo Chiautzingo con durazno. Al intercalar frutales en las asociaciones triples se obtiene un rendimiento extra de fruta para venta y obtención de ingresos. En general, los sistemas de policultivos presentaron mayor eficiencia productiva en comparación a los monocultivos; es decir, los pequeños agricultores pueden hacer mejor uso de su parcela con tres especies juntas intercaladas en surcos e hileras de frutales.

## **2.7 Literatura citada**

Aguilar, J., C. Illsley y C. Marielle. 2007. Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos. In. G. Esteva y C. Marielle (coord.), Sin Maíz No Hay País. Dirección General de Culturas Populares del Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México, D.F. pp: 83-122.

- Altieri, M.A. and J. Trujillo 1987. The agroecology of corn production in Tlaxcala, Mexico. *Human Ecology* 15(2):189-219.
- Altieri, M.A. 1999. Applying agroecology to enhance the productivity of peasant farming systems in Latin America. *Environment, Development and Sustainability* 1:197–217.
- Altieri, M.A. 2002. Agroecology: the science of natural resources management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture and Ecosystem Environment* 93:1-24.
- Altieri, M.A., R. F. Funes-Monzote and P. Petersen. 2012. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. *Agronomy of Sustainable Development* 32:1–13.
- Altieri, M.A. and C.I. Nicholls. 2013. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change* 1-13. DOI 10.1007/s10584-013-0909-y.
- Altieri, M.A., C.I. Nicholls y R. Montalba. 2014. El papel de la biodiversidad en la agricultura campesina en América Latina. *LEISA Revista de Agroecología* 30(1):5-8
- Andersen, M.K., H. Hauggaard-Nielsen, J. Weiner and E. S. Jensen. 2007. Competitive dynamics in two- and three-component intercrops. *Journal of Applied Ecology* 44: 545-551.

- Arnés, E., J. Antonio, E. del Val and M. Astier. 2013. Sustainability and climate variability in low-input peasant maize systems in the central Mexican highlands. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 181:195-205.
- Awal, M.A., H. Koshi and T. Ikeda. 2006. Radiation interception and use by maize/peanut intercrop canopy. *Agricultural and Forest Meteorology* 139:74-83.
- Bedoussac, L. and E. Justes. 2011. A comparison of commodity used indices for evaluating species interactions and intercrop efficiency: application to durum wheat-winter pea intercrops. *Field Crops Research* 124:25-36.
- Bellow, J. G., R.F. Hudson and P.K.R. Nair. 2008. Adoption potential of fruit-tree-based agroforestry on small farms in the subtropical highlands. *Agroforestry Systems* 73:23-36.
- CEPAL, FAO e IICA. 2013. *Perspectivas de la agricultura y del desarrollo rural en las Américas: una mirada hacia América Latina y el Caribe*. CEPAL, FAO e IICA. San José, Costa Rica. 230 p.
- de Wit, C.T. and J.P. van den Bergh. 1965. Competition between herbage plants. *Neth. J. Agric. Sci.* 13:212–221.

- Dolijanovic, Z., D. Kovacevic, S. Oljaca and M. Simic. 2009. Types of interaction in intercropping of maize and soya bean. *Journal of Agricultural Sciences* 54:179-187.
- Ekboir, J., J.A. Espinosa, J.J. Espinoza, G. Moctezuma y A. Tapia. 2003. Análisis del sistema mexicano de investigación agropecuaria. CIMMYT. México, D.F. 34 p.
- Ewansiha, S.U., A.Y. Kamara and J.E. Onyibe. 2014. Performance of cowpea cultivar when grown as an intercrop with maize of contrasting maturities. *Archives of Agronomy and Soil Science* 60:597-608.
- Francis, C.A. 1986. Distribution and importance of multiple cropping. In: C.A Francis (ed.), *Multiple Cropping System*. MacMillan, New York, USA. pp: 1-19. 383 p.
- Fujiyoshi, P.T., S.R. Gliessman and J.H. Langenheim. 2007. Factors in the suppression of weeds by squash intercropped in corn. *Weed Biology and Management* 7:105-114.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Serie Libros No. 6, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. 246 p.
- Gebeyehu, S., B. Simane and R. Kirkby. 2006. Genotype × cropping system interaction in climbing beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown as sole crop and in association with maize (*Zea mays* L.). *European Journal of Agronomy* 24:396-403.

- Gliessman, S.R. 2001. Agroecosystem Sustainability: Developing practical strategies. CRC Press, Boca Ratón, Florida, USA. 224 p.
- Ghanbary, A. and H.C. Lee. 2003. Intercropped field beans (*Vicia faba*) and wheat (*Triticum aestivum*) for whole crop forage: effect of nitrogen on forage yield and quality. The Journal of Agricultural Science 138: 311-315.
- Hayder, G., S.S. Mumtaz, A. Khan and S. Khan. 2003. Corn and soybean intercropping under various levels of soybean seed rates. Asian Journal of Plant Science 2:339-341.
- INEGI. 2000. Descripción de la base de datos del índice de marginación a nivel localidad 2000 de Puebla. INEGI, México, D.F. 39 p.
- Li, L., J. Sun, F. Zhang, X. Li, S. Yang and Z. Rangel. 2001. Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping. 1. Yield advantage and intraspecific interactions on nutrients. Fields Crop Research 71: 123-137.
- Mao, L., L. Zhang, W. Li, W. van der Werf, J. Sun, H. Spiertz and L. Li. 2012. Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop. Field Crops Research 138:11-20.
- Malézieux, E., Y. Crizat, C. Dupraz, M. Laurans, D. Makowski, H. Ozieer-Lafontaine, B. Rapidel, S. de Tourdonnet and M. Vantin-Morison. 2009. Mixing plants species in



- cropping systems: concepts, tools and model. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29:43-62.
- Martin, M.P.L.D. and R. W. Snaydon. 1982. Intercropping barley and beans I. Effects of planting pattern. *Experimental Agriculture* 18: 139:148.
- Mead, R. and R.W. Wiley. 1980. The concept of “land equivalent ratio” and advances in yields from intercropping. *Experimental Agriculture* 16:217-228.
- Mead, R. and J. Riley. 1981. A review of statistical ideas relevant to intercropping research. *Journal Royal Statistical Society* 144:462-509.
- Mousavi, S.R. and H. Eskandari. 2011. A general overview on intercropping and its advantages in sustainable agriculture. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences* 1:482-486.
- Neamatollahi, E., M.R. Jahansuz, D. Mazaheri and M. Bannayan. 2013. Intercropping. In: E. Lichtfouse (ed.), *Sustainable Agriculture Reviews Vol. 12*, Springer Science+Business Media Dordrecht, London. pp: 119-142.
- Norton, R.D. 2004. *Política de Desarrollo Agrícola: Conceptos y Principios*. Material de Capacitación en Políticas Agrícolas y Alimentarias No. 2. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 591p.

- Ogindo, H.O. and S. Walker. 2005. Comparison of measured changes in seasonal oil water content by rainfed maize-bean intercrop and component cropping systems in a semi-arid region of southern Africa. *Physics and Chemistry of the Earth* 30:799-808.
- Piepho, H.P. 1998. Methods for comparing the yield stability of cropping systems. A review. *Journal of Agronomy and Crop Science* 180:193-213.
- Postma, J.A. and J.P. Lynch. 2012. Complementary in root architecture for nutrient uptake in ancient maize/beans and maize/beans/squash polycultures. *Annals of Botany* 110:521-534.
- Rezende, G.D.S.P. and M.A.P. Ramalho. 1994. Competitive ability of maize and common bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars intercropped in different environments. *Journal of Agricultural Science* 123:185-190.
- Santalla, M., A.M. de Ron and P.A. Casquero. 1995. Nutritional and culinary quality of bush bean populations intercropped with maize. *Euphytica* 84:57-65.
- SAS Institute. 1999. *STAT Guide for personal computers*. 8th ed. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 1643 p.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2014. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola 2013. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), México, D.F. En: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/#> (revisado noviembre 26, 2014).

- Trenbath, B.R. 1999. Multispecies cropping systems in India: predictions of their productivity, stability, resilience and ecological sustainability. *Agroforestry Systems* 45:81-107.
- van Ittersum, M.K., F. Ewert, T. Heckelei, J. Wery, J.A. Olsson, E. Andersen, I. Bezlepkina, F. Brouwer, M. Donatelli, G. Flichman, L. Olsson, A.E. Rizzoli, T. van der Wal, J.E. Wien and J. Wolf. 2008. Integrated assessment of agricultural systems- a component-based framework for European Union (SEAMLESS). *Agricultural Systems* 96:150-165.
- Wang, Q., Y. Li and A. Alva. 2010. Cropping systems to improve carbon sequestration for mitigation of climate change. *Journal of Environmental Protection* 1:207-215.
- Webber, H., H. Kahiluoto, R. Rötter and F. Ewert. 2014. Enhancing climate resilience of cropping systems. In: J. Fuhrer and P. Gregory (eds.), *Climate Change Impact and Adaptation in Agricultural Systems*. C.A.B International, CABI Climate Change Series, London, UK. pp: 167-179.
- Williams, A.C. and B.C. McCarthy. 2001. A new index of interspecific competition for replacement and additive designs. *Ecological Research* 16:29-40.
- Zimmermann, M.J.O. 1996. Breeding for yield, in mixtures of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and maize (*Zea mays* L.). *Euphytica* 92:129-134.

## CONCLUSIONES GENERALES

Con base en los resultados expuestos en los capítulos anteriores, en los párrafos siguientes se presentan las conclusiones a las que se llegó en la presente investigación, teniendo como referente para ello las preguntas, objetivos e hipótesis inicialmente formulados. Conviene señalar que dado que la respuesta a la primera pregunta de investigación es el resultado de los elementos aportados por las preguntas subsecuentes, aquélla será la última en contestarse.

Para dar respuesta a la pregunta de si serán equiparables los rendimientos de maíz, frijol y calabaza cuando se manejan en asociación que cuando se cultivan en franjas alternas bajo el sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF), se planteó como objetivo “Evaluar los rendimientos y comportamiento agronómico de maíz, frijol y calabaza en asociación respecto a franjas alternas bajo el sistema MIAF”. Los resultados encontrados fueron los siguientes: Para rendimiento agronómico, los resultados revelaron que para las tres especies, los rendimientos alcanzados por cada una de ellas bajo la modalidad de franjas alternas intercaladas con frutales no difirieron estadísticamente de aquéllos obtenidos en la asociación triple intercalada con frutales. En cuanto al comportamiento de las otras variables de interés agronómico, al comparar los dos agrosistemas antes mencionados, los atributos en los que hubo variación fueron, en maíz, días a floración femenina (mayor precocidad en franjas alternas), en frijol, días a floración media (mayor precocidad en franjas alternas), altura de planta (menor porte en franjas alternas), porcentaje de vainas vanas (mayor en franjas alternas), porcentaje de granos comerciales (menor en franjas alternas) y área foliar (menor en franjas alternas); en calabaza no se detectaron diferencias.

Con base en estos elementos, al valorar la hipótesis planteada (*Tanto el rendimiento como el comportamiento agronómico del maíz, frijol y calabaza se mantendrán sin cambios importantes*), la decisión es aceptarla para el caso de rendimiento, pero no para el comportamiento agronómico, pues en maíz y frijol sí se presentaron cambios importantes en diversos atributos. Lo anterior lleva a concluir que, en términos de rendimiento agronómico, los agrosistemas de triple asociación y de franjas alternas (ambas intercaladas con árboles frutales) no afectaron los niveles productivos de las especies anuales estudiadas, esto es, el empleo de uno u otro agrosistema es indistinto en este aspecto. No obstante, en otros atributos agronómicos habrá cierta variación, particularmente en frijol, aunque ésta será mayormente a favor del sistema de asociación triple (mayor área foliar, menos vainas vanas y mayor porcentaje de granos comerciales), debido al mayor desarrollo que exhiben los materiales de guía empleados para tal agrosistema. Los comportamientos antes descritos se mantendrán a través de ambientes, particularmente en calabaza, y en menor medida en maíz y frijol.

La siguiente pregunta de investigación planteada fue: “En términos de eficiencia productiva, ¿serán comparables la asociación de cultivos y el arreglo de franjas alternas bajo el sistema MIAF?”, para ello se fijó el objetivo de “Comparar los diferentes arreglos de cultivo con base en los índices de eficiencia productiva razón equivalente de terreno (RET) e índice comparativo rendimiento área (ICRA)”. Lo encontrado fue lo siguiente: Al contrastar los agrosistemas de asociaciones triples (que involucraron a maíz, frijol y calabaza e incluyeron tanto a los arreglos de asociación como de franjas alternas) intercaladas con árboles frutales con los de asociaciones dobles (maíz-frijol) sin frutales y los monocultivos, se notó que en rendimiento de grano y la razón equivalente de terreno hubo un ordenamiento de agrosistemas en función de su

complejidad: mayores valores para el agrosistema de asociaciones triples, seguido por el de asociaciones dobles y finalmente por el de monocultivos. Utilizando el ICRA se encontró que las dos asociaciones (triples y dobles) superaron al monocultivo. Analizando con más detalle los tratamientos anidados en el agrosistema de asociaciones triples se observó que la modalidad de siembra en franjas alternas presentó mayores valores que la de asociación en cuanto a rendimiento de grano (considerando conjuntamente los tres cultivos anuales), razón equivalente de terreno e índice comparativo rendimiento área.

Los elementos anteriores llevan a rechazar la hipótesis propuesta (*Los sistemas de asociación de cultivos y de franjas alternas bajo el sistema MIAF presentarán eficiencias productivas similares*), ya que hubo cierta superioridad del arreglo en franjas alternas en las tres características consideradas (rendimiento de grano de las tres especies, RET e ICRA). No obstante lo anterior, es de resaltar el hecho de que, en su conjunto, el empleo de agrosistemas de asociaciones triples intercaladas con frutales resultó mejor que el de monocultivos, intercalados o no con frutales.

La tercera pregunta de investigación en ser analizada fue la siguiente: ¿Se afectará de manera importante el comportamiento agronómico de cada especie (maíz, frijol, calabaza) al pasar del monocultivo sin intercalar a un sistema de policultivo intercalado? Para contestarla, se formuló un objetivo en términos de comparar los rendimientos y el comportamiento agronómico de maíz, frijol y calabaza en monocultivo sin intercalar respecto al policultivo bajo el sistema MIAF. Los resultados encontrados se condensan a continuación:

El comportamiento de los cultivos anuales dependió de los agroecosistemas en los cuales fueron establecidos. Así, en el caso de maíz, hubo diferencias en el 90 % de las variables evaluadas, en frijol en el 85 % y en calabaza, en 17 %. Al revisar los resultados obtenidos para cada especie se encontró que en maíz, el monocultivo sin intercalar mostró un comportamiento estadísticamente inferior en 60 % de las variables (rendimiento de mazorca entre ellas) con respecto a la asociación triple y franjas alternas intercaladas. En frijol de guía se encontró que el monocultivo tuvo un comportamiento similar a la asociación triple en 57 % de las variables, inferior en una (altura de planta) y superior en otra (área foliar). En rendimiento de grano, los tres agrosistemas (monocultivo sin intercalar, asociación triple y franjas alternas intercaladas) estadísticamente produjeron lo mismo. La calabaza por su parte, en las características evaluadas, no se vio afectada por los agrosistemas en los que se cultivó, salvo para el caso de rendimiento de fruto, el cual fue significativamente menor en el monocultivo.

Consecuentemente, la hipótesis planteada (*Los agrosistemas de asociación de asociación y franjas alternas intercalados presentarán un mejor comportamiento agronómico que los monocultivos sin intercalar*) sólo puede ser aceptada parcialmente, pues fue válida en cierta medida para el maíz, no se cumplió para calabaza y en frijol hubo respuestas variables. No obstante lo anterior, debe resaltarse el hecho de que los rendimientos alcanzados por cada especie participante (maíz, frijol y calabaza) en cualquier sistema de policultivo igualaron o incluso superaron los obtenidos bajo monocultivo. Así, se concluye que aun cuando las respuestas observadas en diversas características de interés agronómico al pasar del monocultivo sin intercalar a los policultivo intercalados dependieron de la especie bajo consideración, en la variable de mayor interés antropocéntrico (rendimiento), los agrosistemas de asociación y franjas

alternas son una opción al monocultivo, con la ventaja adicional de que se tendrá una producción más diversificada la cual, será igual o mejor que la que se hubiera obtenido al producir cada cultivo por separado.

Con los elementos antes expuestos ahora sí es factible analizar la pregunta central de esta investigación: ¿La asociación de cultivos podrá representar una alternativa viable al sistema de franjas alternas en el esquema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF)? La respuesta y conclusión es afirmativa, esto es, el empleo del sistema de asociación de cultivos (maíz, frijol, calabaza) tradicional (mejor conocido como milpa), constituye una alternativa viable al arreglo de franjas alternas en el esquema MIAF, con la ventaja de que representa una técnica de cultivo conocida y aún empleada por una fracción importante de agricultores, particularmente de los minifundistas. Consecuentemente, se acepta la hipótesis inicialmente propuesta.